



En studie av mekanismene bak telehiving.

Åshild Hinna

Bygg- og miljøteknikk

Innlevert: Juni 2012

Hovedveileder: Inge Hoff, BAT

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



Oppgavens tittel: En studie av mekanismene bak telehiving	Dato: 11.06.2012 Antall sider (inkl. vedlegg): 138			
	Masteroppgave	X	Prosjektoppgave	
Navn: Stud.techn. Åshild Hinna				
Faglærer/veileder: Professor Inge Hoff, NTNU				
Eventuelle eksterne faglige kontakter/veiledere:				

<p>Ekstrakt:</p> <p>Senest i fjor vinter ble flere nye norske motorveger ødelagt av telehiv. Noe som medfører store økonomiske kostnader som burde vært unngått. Denne oppgaven ser nærmere på telehivproblemet. Teorien bak problemet er belyst i første del av oppgaven.</p> <p>Frostmengder brukes til dimensjonering av frostsikring av veier. Ved beregning av frostmengder er det noe ulik praksis. Man kan enten bruke døgnmiddelverdier eller månedsmiddelverdier for lufttemperaturen i beregningen. På bakgrunn av dette er det utført beregninger av frostmengde F_5 og F_{10} for ti ulike målestasjoner i Norge både ved bruk av måneds- og døgn-temperaturer. Det ble funnet en forskjell i frostmengde mellom de to metodene på cirka 2000 h°C mindre frostmengde ved bruk av månedstemperatur enn ved døgn-temperaturer.</p> <p>Malvikvegen, Fv950, har tidligere hatt noe ujevnheter grunnet telehiv. Strekningen er derfor nærmere undersøkt i denne oppgaven. For å studere telehiv direkte i felt er det utført høydemålinger med nivellement gjennom vinteren på to steder på strekningen. Forholdene i grunnen på denne strekningen er kartlagt med georadar.</p> <p>Selbuvegen, Fv963, er en annen strekning der det er store problemer med telehiv, både i form av ujevnheter og sprekke-dannelser på overflaten. Det er derfor utført oppgraving og uttak av materialprøver på denne strekningen. Prøvene er undersøkt i laboratoriet med blant annet direkte telehivtest.</p> <p>Oppgraving av materialprøver er også utført på Malvikvegen. Ved oppgraving er grunnforholdene analysert og materialprøver tatt i ulike dybder for videre analyse i laboratoriet. Materialets telefare er vurdert på bakgrunn av de ulike laboratorieforsøkene.</p>
--

Stikkord:

1. Telehiv
2. Frostmengder
3. Oppgraving av materialprøver Malvik- og Selbuvegen
4. Direkte telehivtesting

(sign.)

Forord

Denne rapporten er et resultat av mitt masteroppgavearbeid ved Institutt for bygg, anlegg og transport, faggruppe Veg og transport, ved NTNU, våren 2012. Masteroppgaven utgjør det 10. semesteret i sivilingeniørutdanningen i «Bygg- og miljøteknikk» ved NTNU. Oppgavens omfang er på 30 studiepoeng som tilsvarer 768 arbeidstimer.

Bakgrunn for valget av problemstilling er min interesse for vegteknologi, og ønsket om å studere et område der norske veger har hatt problemer de siste årene.

En stor takk til veilederen min Inge Hoff, professor ved NTNU, for gode råd og alltid konstruktive tilbakemeldinger. Jeg vil også takke Anne Lalagüe, forsker ved SINTEF/ PhD-kandidat NTNU, for hjelp til utføring av georadarmålinger og hjelp til tolkning av radargrammene fra målingene i etterkant. Takk også til Haris Brcic, ingeniør ved SINTEF, for hjelp med georadarmålingene.

Takk til Mesta Drift AS avd. Trondheim/Malvik for hjelp med oppgravingsarbeidene på Malvikvegen og Selbuvegen. Takk også til Lisbeth Johansen, seniortekniker ved Vegteknologisk laboratorium NTNU/SINTEF, for hjelp med ulike laboratorieforsøk og for å løse problemene under siktingen av materialet. Takk til Lars Lund, masterstudent NTNU, for hjelp med nivellering og for å fikse frostvæskekabelen når telehivforsøket holdt på å bli ødelagt.

NTNU Trondheim, 11.juni 2012



Åshild Hinna

Sammendrag

Telehivskader er et stort problem på norske veger. Senest i fjor vinter ble flere nye norske motorveger ødelagt av telehiv. Siden hele vegkroppen må graves opp og bygges på ny for å få bukt med telehivskadene, medfører dette store økonomiske kostnader som burde vært unngått.

Denne oppgaven ser nærmere på telehivproblemet. Teorien bak problemet er belyst i første del av oppgaven. Den inkluderer de tre forutsetningene for at telehiv skapes: vann, frost og telefarlige materialer. Det er sett på forhold ved topografi og drenering som kan skape problemer, hva som skjer i frysefronten, den termiske prosessen som foregår der, samt hvordan dannelsen av islinser foregår.

Frostmengder brukes til å dimensjonere frostsikring av veger. Ved beregning av frostmengder er det ulik praksis i estimeringen av frostmengder. Man kan enten bruke døgnmiddelverdier eller månedsmiddelverdier for lufttemperaturen i beregningen. På bakgrunn av dette er det utført beregninger av frostmengde F_5 og F_{10} for ti ulike målestasjoner i Norge både ved bruk av måneds- og døgn temperaturer. Det ble funnet en forskjell i frostmengde mellom de to metodene på cirka 2000 h°C mindre frostmengde ved bruk av månedstemperatur enn ved døgn temperaturer. Dermed vil dimensjonering etter døgn temperatur gi et dypere frostsikringslag enn dimensjonering etter månedstemperatur.

Malvikvegen, fylkesveg 950, har tidligere hatt noe ujevnheter grunnet telehiv. Strekningen er derfor nærmere undersøkt i denne oppgaven. For å studere telehiv direkte i felt er det utført høydemålinger med nivellement gjennom vinteren på to steder på strekningen. På denne måten kan eventuelle hevelser i grunnen som følge av telehiv og tilbaketrekning av telehivet i teleløsningen registreres. Forholdene i grunnen på denne strekningen er kartlagt med georadar for å få oversikt over eventuelle islinser, telefronten og en grov materialkarakteristikk.

Selbuvegen, fylkesveg 963, er en annen strekning der det er store problemer med telehiv, både i form av ujevnheter og sprekkedannelser på overflaten. Det er derfor utført oppgraving og uttak av materialprøver i ulike dybder for å undersøke denne strekningen. Prøvene er undersøkt i laboratoriet med blant annet direkte telehivforsøk.

Oppgraving av materialprøver er også utført på Malvikvegen. Ved oppgraving er grunnforholdene analysert og materialprøver tatt i ulike dybder for videre analyse i laboratoriet. I laboratoriet er det utført sikteanalyse, direkte telehivforsøk og glødetapstest på materialet. Det er også utført Coulteranalyse for å finne finstoffgraderingen til materialene. Materialets telefare er vurdert på bakgrunn av de ulike forsøkene og ulike klassifiseringssystem. Telehivforsøk viste teleskytende evne middels for alle de fire prøvene, selv om maks-døgn med telehiv og vannopptak viste store forskjeller. Prøvene fra Selbuvegen er de som har høyest maks-døgn med telehiv og høyest vannopptak. Dette samsvarer med observasjoner i felt, da denne vegen har mest telehivskader av de to vegene.

Abstract

Damages caused by frost heave are a major problem on Norwegian roads. Recently built Norwegian highways suffer from frost heave related damages. The road construction needs to be rebuilt to repair frost heave damages. This creates large economic costs that could have been avoided.

This thesis takes a closer look at the frost heave problem. The theory behind frost heave is illustrated in the first part of the thesis, included the three basic conditions required for frost heave to occur: water available, sufficiently amounts of frost in the soil and frost-susceptible soils. Topography and drainage that may increase the risk of frost heave are considered. Physical phenomena at the freezing front, the thermal process in the ground and how ice lenses are created, are reviewed.

Frost amounts are used as a design parameter in frost protection sizing for Norwegian roads. There are different practices in estimating the frost amounts. One can either use the daily mean values or the monthly mean values of the air temperature. Frost amount F_5 and F_{10} from ten different measurement stations in Norway have been calculated. A difference of approximately 2000 h°C smaller frost amount by using monthly temperatures than by using daily temperatures is shown. Thus design by daily temperature gives a deeper frost protection layer than design by monthly temperature.

Malvikvegen, Fv950, has had some unevenness due to frost heave. The road section is further investigated in this Msc thesis. Field measurements have been conducted in order to examine the frost heave. This is done by height measurements by leveling during the winter at two different locations on the road. Thus any height increase due to frost heave and decrease during the thaw weakening in the spring are detected. Measurement by ground penetrating radar has been conducted, in order to detect any ice lenses, the location of the frost line and give a rough characteristic of the materials in the ground.

Selbuvegen, Fv963, is another road where frost heave, unevenness and cracks in the surface have been observed. Excavation and extractions of soil samples in the road construction have been conducted here. The samples are analyzed in the laboratory.

Excavation is also done at Malvikvegen. During the excavation the soil conditions are studied and also here extractions of soil samples are collected for further analyses. Sieve analysis, laboratory frost heave testing and loss on ignition test. Coulter analysis is done to determine the gradation of fines in the materials. The frost susceptibility is classified based on the laboratory tests and different classification systems. The classification is compared to frost heave measured in the field. All the soil samples were classified as medium frost susceptible, though large difference in water uptake and max frost heave in 24 hour were observed. Samples from Selbuvegen have the largest water uptake and max frost heave in 24 hours. Field observations showed most frost heave related damages on Selbuvegen compared to Malvikvegen.

Innhold

Forord	i
Sammendrag	iii
Abstract	v
Figurliste	x
Tabelliste	xiii
1 Bakgrunn	1
2 Hvorfor blir det telehiv?	3
2.1 Telehiv.....	3
2.2 Vann.....	4
2.3 Telefarlige materialer	7
2.4 Frost.....	16
2.5 Feltforhold	17
3 Hva skjer i frysefronten?	19
3.1 Varmeskapelse og varmetransport	19
3.2 Fryseseonen.....	22
4 Frostmengder	23
4.1 Generelt.....	23
4.1.1 Korreksjon av temperaturen ved høydeforskjell	24
4.1.2 Lokalkunnskap om temperaturer.....	24
4.2 Døgn- og månedstemperaturer til beregning av frostmengder	24
4.2.1 Frostmengder i Håndbok 018.....	25
4.2.2 Frostmengder i Byggdetaljblad 451.021	25
4.3 Sammenligning av døgn- og månedsberegninger.....	25
4.4 Frostmengde – et fornuftig mål for dimensjonering av frostsikringslag?.....	27
4.5 Statens vegvesen vurderer endringer av frostsikringsreglene.....	28
5 Teori om Malvikvegen og Selbuvegen	31
5.1 Geografisk plassering.....	31
5.2 Topografi og grunnforhold	34
5.3 Frostmengde for Malvikvegen og Selbuvegen	37
5.3.1 Frostmengde Malvikvegen	37
5.3.2 Frostmengde Selbuvegen.....	38

6	Målinger av telehiv i felt.....	39
6.1	Målinger av telehiv over tid.....	39
6.1.1	Om målingene	39
6.1.2	Resultater fra nivellering.....	42
6.2	Måling med georadar	46
6.2.1	Om georadarmålinger	46
6.2.2	Resultater fra georadarmålinger	47
7	Oppgravinger.....	51
7.1	Malvikvegen.....	51
7.1.1	Bilder fra oppgraving.....	51
7.1.2	Temperaturprofil.....	55
7.1.3	Dybder for prøveuttak.....	55
7.2	Selbuvegen.....	56
7.2.1	Bilder fra oppgraving.....	56
7.2.2	Temperaturprofil.....	60
7.2.3	Dybder for prøveuttak.....	60
8	Laboratorieforsøk.....	61
8.1	Vanninnhold	61
8.2	Organisk materiale.....	62
8.3	Telehivforsøk i laboratoriet	63
8.3.1	Om forsøket.....	63
8.3.2	Bakgrunn for valg av materialprøver til forsøk	65
8.3.3	Modifikasjoner i fremgangsmåten	65
8.3.4	Resultater fra telehivforsøk.....	68
8.4	Kornfordeling.....	78
8.4.1	Om forsøkene	78
8.4.2	Resultater kornfordeling	79
8.5	Samlet vurdering av resultater fra laboratorieforsøkene	84
9	Konklusjon/Oppsummering	85
10	Litteraturliste.....	87
	Vedlegg.....	91
	Vedlegg 1 - Oppgavetekst.....	92

Vedlegg 2 -	Frostmengdeberegninger	95
Vedlegg 3 -	Måledata fra måling med nivellement	98
Vedlegg 4 -	Bilder og data fra glødetapsforsøk	100
Vedlegg 5 -	Måling av telehiv, metodebeskrivelse	102
Vedlegg 6 -	Bilder fra preparering av telehivforsøk	104
Vedlegg 7 -	Temperaturprofil og telehiv fra telehivforsøk.....	109
Vedlegg 8 -	Avleste verdier måleur og etterfylling vann under forsøk	111
Vedlegg 9 -	Verdier sikting.....	113
Vedlegg 10 -	Resultater fra Coulteranalyse	115

Figurliste

Figur 1 Oppslag i media om nye E18 i Østfold ødelagt av telehiv (Aftenposten, 2011).	1
Figur 2 Oppslag i media etter ekspertgruppens konklusjon (Teknisk Ukeblad, 2011).	2
Figur 3 Tverrprofil: Skisse av hvordan vanntransport fører til dannelse av islinser som igjen danner telehiv på veggen.....	3
Figur 4 Telehiv i prøve a) uten tilgang til ekstra vann, b) med tilgang til ekstra vann og c) med tilgang til ekstra vann, men med et lag grus mellom vannkilde og frostfront (Andersland og Ladanyi, 2004, s. 14).....	4
Figur 5 Kapillær stige høyde i glassrør.	5
Figur 6 Beskows resultat fra testing av kapillærsug i materialer med ulike gjennomsnittlig kornstørrelse, <i>enhet på y-akse ikke angitt</i> (Henry, 2000, s.9).....	8
Figur 7 Eksempler på telefarlighetsklassifiseringer fra Håndbok 018. Sorte ringer er krav fra Tabell 1 (Statens vegvesen, 2011, s. 207).	9
Figur 8 Store fraksjoner kan skape telehiv (Aftenposten, 2012).	11
Figur 9 Stein løftes gjennom frostperioden i telefarlig jord (Viklander, 1998, s. 146).	12
Figur 10 Løftet stein på asfaltert parkeringsplass, Luleå (Viklander og Eigenbrod, 2000, s. 152).....	12
Figur 11 Mineralkriteriet fra Østerrike, <i>etter: (Kugler m.fl, 2005)</i>	13
Figur 12 Forskjell på ikke frostsikret og frostsikret veg (NTNF og Statens vegvesen, 1976, s. 160).....	14
Figur 13 Tykkelser på overbygning inkludert frostsikring, med frostsikringslag av sand, grus eller steinmaterialer fra Håndbok 018 (Statens vegvesen, 2011, s. 455).....	16
Figur 14 Skjev telehiv i skrått terreng (Nordal, 1996, s. 4).....	17
Figur 15 Lagdeling i Selbuvegen, <i>foto Åshild Hinna</i>	18
Figur 16 Frigjort energi fra fryseprosessen må være lik varmemestrøm til overflaten for at frysefronten skal stå i ro.....	21
Figur 17 Skisse over hvor islinser dannes. I prøve ved telehivforsøk, <i>ikke riktig skala, etter: (Konrad og Duquennoi, 1993)</i>	22
Figur 18 Dimensjoneringsgrunnlag for frostsikring fra HB018 (Statens vegvesen, 2011, s. 223).....	23
Figur 19 Korreksjon per 100 meter høydeforskjell i ulike strøk i Sør-Norge, årlig snitt til høyre i tabellen (NTNF og Statens vegvesen, 1976, s. 43).	24
Figur 20 Døgnmiddeltemperatur og månedmiddeltemperatur (Hoff, 2011, s. 4).	24
Figur 21 Graf for frostmengde F5 og F10 beregnet av døgn- og månedstemp.	27
Figur 22 Øverst: De to stedene der telehivdannelsen er overvåket på Fv950 Malvikvegen, måleplass 1 og 2 (røde punkter). Utgraving er utført ved måleplass 2. Vegens plassering i forhold til Trondheim nederst, <i>kartgrunnlag fra Google (2012)</i>	32
Figur 23 Utgravingssted på Fv963 Selbuvegen (markert med rødt punkt). Vegens plassering i forhold til Trondheim øverst, <i>kartgrunnlag fra Google (2012)</i>	33
Figur 24 Område sør for måleplass 1.	34
Figur 25 Område sør for måleplass 2.	34

Figur 26 Svært dårlig drenering ved start snøsmelting februar 2012, ved måleplas 2.....	34
Figur 27 Dårlig drenering også senere i smelteperioden, mars 2012, ved måleplass 2.	34
Figur 28 Dårlig drenering slutten av februar ved måleplass 1.	35
Figur 29 Dårlig drenering på jordet ved vegen slutten av mars ved måleplass 1.....	35
Figur 30 Snødekte, horisontale, myrområder ved siden av vegen på oppgravingssted.....	35
Figur 31 Snødekte, horisontale, myrområder ved siden av vegen på oppgravingssted, motsatt side veg av Figur 30.	35
Figur 32 Område langs oppgravingssted består vekselvis av torv/myr og tynn morene (NGU, 2012).....	36
Figur 33 Måleplass 1: Høyder målt i punkt B, C og D, samt i A for referansemål. Måleplass 2 er tilsvarende, men med 10 m mellom B og C, og mellom C og D.	39
Figur 34 Måleplass 1, tilsvarende med måleplass 2.....	40
Figur 35 Reasfaltert område etter utbedring av stikkrenne, Måleplass 2.	40
Figur 36 Nivellement ved Malvikvegen.	41
Figur 37 Telehivutvikling gjennom vinter/vår 2012 i punkt B1.....	44
Figur 38 Høydeutvikling gjennom vinter/vår 2012 i punkt C1.	44
Figur 39 Telehivutvikling gjennom vinter/vår 2012 i punkt D1.	44
Figur 40 Telehivutvikling gjennom vinter/vår 2012 i punkt B2.....	45
Figur 41 Høydeutvikling gjennom vinter/vår 2012 i punkt C2.	45
Figur 42 Telehivutvikling gjennom vinter/vår 2012 i punkt D2.	45
Figur 43 Bilde av georadar ved Malvikvegen.	46
Figur 44 Forklaring over hvor overflate og underkant asfalt, frostømfintlig jord og grøft fylt med pukk er (Lalagüe, 2012).	47
Figur 45 Radargram fra måling vinter 2012 ved måleplass 1, synlig telelinje.	49
Figur 46 Radargram fra måling vinter 2011 ved måleplass 1, synlig telelinje.	49
Figur 47 Radargram fra måling sommer 2010 ved måleplass 1, ingen telelinje.....	49
Figur 48 Radargram fra måling vinter 2012 ved måleplass 2, telelinje ikke synlig.....	50
Figur 49 Radargram fra måling vinter 2010-11 ved måleplass 2, telelinje synlig.	50
Figur 50 Radargram fra måling sommer 2010 ved måleplass 2, ingen telelinje.....	50
Figur 51 Markering av oppgravingsområdet (røde linjer), rundt målepunkt B2.	51
Figur 52 Asfalten sages opp for å kunne fjernes med gravemaskin.	52
Figur 53 Bilde fra start oppgraving, asfalt fjernes.	52
Figur 54 Lagvis fjerning av materiale.....	53
Figur 55 Materialet går over i et mer siltig/leirig utseende.	53
Figur 56 Lagdelingen nedover i gropa.	54
Figur 57 Bunnen av oppgravingsgrop.....	54
Figur 58 Temperaturutvikling nedover i grop viser at teleperioden er over.	55
Figur 59 Dybder prøveuttak Malvikvegen.....	55
Figur 60 Tydelige telehivskader på vegen (Google, 2012).	56
Figur 61 Markering av oppgravingsområdet.....	56
Figur 62 Tydelige telehivskader på vegoverflaten.	57

Figur 63 Oppgraving skjer lagvis slik at prøver kan tas fra ulike dybder.....	57
Figur 64 Temperaturmåling.....	58
Figur 65 Tydelig lagdelt struktur i grunnen som kan øke telefare.	58
Figur 66 Islinsedannelser.....	59
Figur 67 Organisk materiale i bunn av grop.	59
Figur 68 Temperaturutvikling nedover i grop.	60
Figur 69 Dybder prøveuttak Selbuvegen.....	60
Figur 70 Vanninnhold i prøver fra Malvikvegen og Selbuvegen.	61
Figur 71 Skisse av telehivforsøk (Nordal, 1997, s. 7).....	63
Figur 72 Redusert kapillær sug, tension, ved økt vanninnhold (Saxton og Rawls, 2005, s. 1572).....	66
Figur 73 Resultater fra telehivforsøk i Gjenbruksprosjektet (Aurstad og Hoff, 2006, s. 37). ..	68
Figur 74 Telehiv og vannopptak i prøve M2.....	70
Figur 75 Telehiv og vannopptak i prøve M3.....	70
Figur 76 Telehiv og vannopptak i prøve S2.	71
Figur 77 Telehiv og vannopptak i prøve S4.	71
Figur 78 Sammenheng mellom vannopptak og totalt telehiv.	73
Figur 79 Prøve M2, viser tydelig telehivdannelse.	74
Figur 80 Nærbilde av prøve M2 viser islinsedannelse i form av mange små islins.	74
Figur 81 Prøve M3, viser tydelig telehivdannelse.	75
Figur 82 Nærbilde av islinsedannelse i prøve M3.	75
Figur 83 Prøve S2, viser svært tydelig telehivdannelse.....	76
Figur 84 Nærbilde av islins i prøve S2.	76
Figur 85 Prøve S4, viser svært tydelig telehivdannelse.....	77
Figur 86 Nærbilde av prøve S4, også her var det tydelige islins (utydelige på bildet pga smeltevann).....	77
Figur 87 Morter med sammenklistret materiale.	79
Figur 88 Kornfordeling av M2 materiale før og etter telehivtest.	79
Figur 89 Kornfordeling av M3 materiale før og etter telehivtest.	80
Figur 90 Kornfordeling av S2 materiale før og etter telehivtest.	80
Figur 91 Kornfordeling av S4 materiale før og etter telehivtest.	81
Figur 92 Temperatur og telehiv gjennom forsøksperiode, M2.....	109
Figur 93 Temperatur og telehiv gjennom forsøksperiode, M3.....	109
Figur 94 Temperatur og telehiv gjennom forsøksperiode, S2.	110
Figur 95 Temperatur og telehiv gjennom forsøksperiode, S4.	110
Figur 96 Verdier for prøve M2.....	111
Figur 97 Verdier for prøve M3.....	111
Figur 98 Verdier for prøve S2.	112
Figur 99 Verdier for prøve S4.	112

Tabelliste

Tabell 1 Statens vegvesens telefarlighetskriterium, etter Nordal (Statens vegvesen, 2011, s. 207):.....	8
Tabell 2 Casagrandes telekriterium:.....	9
Tabell 3 Beskows telefarlighetskriterium med forenklet klassifisering til venstre, etter: (NTNF og Statens vegvesen, 1976):.....	10
Tabell 4 USCS telefarlighetskriterium:	10
Tabell 5 Variasjoner i sammensetning og varmeledningsevne for ulike materialer (NTNF og Statens vegvesen, 1976, s. 73):	20
Tabell 6 Frostmengde F5 beregnet fra døgn- og månedsmiddeltemperaturer:	26
Tabell 7 Frostmengde F10 beregnet fra døgn- og månedsmiddeltemperaturer:	26
Tabell 8 Undersøkt område Malvikvegen:	31
Tabell 9 Undersøkt område Selbuvegen:	31
Tabell 10 Kommentarer til målinger med nivellement	42
Tabell 11 Kommentarer til georadarmålinger:	48
Tabell 12 Resultat fra glødetapstest:	62
Tabell 13 Sammenligning av CRREL-telehivforsøk og telehivforsøk utført i denne oppgave: .	64
Tabell 14 Telefarlighetskriterium for telehivforsøk i lab (Chamberlain, 1981):.....	64
Tabell 15 Direkte vurdering etter CRREL:.....	68
Tabell 16 Telehivdannelse i prøvene:.....	69
Tabell 17 Vannopptak i prøvene:	69
Tabell 18 Vurdering av teleskytende evne for prøver fra Malvikvegen:.....	70
Tabell 19 Vurdering av teleskytende evne for prøver fra Selbuvegen:	71
Tabell 20 Oppsummering teleskytende evne etter telehivforsøk:	72
Tabell 21 Temperaturgradient for den delen av forsøket der temperaturen er stabilisert: ...	72
Tabell 22 Hvilken kornfordelingsanalyse som er utført på de ulike materialprøver:	78
Tabell 23 Telefarlighetsklassifisering etter Nordals kriterium:	81
Tabell 24 Telefarlighetsklassifisering etter Casagrandes kriterium:	81
Tabell 25 Telefarlighetsklassifisering etter USCS kriterium:	82
Tabell 26 Samlet resultat fra de ulike telefarlighetsklassifiseringene:	82
Tabell 27 Samlet vurdering av materialene:	84
Tabell 28 Data fra glødetapforsøk:	101

1 Bakgrunn

Fjorårets vinter (2010-2011) førte til store telehivskader på flere nye motorveger i Norge, blant annet strekningen Krosby-Knapstad på E18, Figur 1. Andre eksempler på nye veger med telehivskader er strekningen Wøyen-Bjørnum på E16 og Kløfta-Nybakk på Rv2. Slike skader kan føre til trafikkfarlige situasjoner og skader på kjøretøy. Veger der det har oppstått telehiv kan dessuten få store problemer under teeløsningsperioden om våren. Dersom tining av vegen skjer hurtig vil vegen være mettet med vann, og siden vann har mindre styrke enn steinmaterialet vil bæreevnen reduseres i denne perioden. Ytterligere skader på vegen kan derfor oppstå når lasten av tungtrafikk blir for stor til at vegkroppen kan bære den.



Figur 1 Oppslag i media om nye E18 i Østfold ødelagt av telehiv (Aftenposten, 2011).

Telehivskader kan ikke utbedres ved å fylle asfalt i skadestedene eller reasfaltere på overflaten til vegen, fordi årsaken til skadene ligger lenger nede i vegkroppen og skadene vil derfor oppstå på ny neste vinter det er tilstrekkelig frost. For å utbedre telehivskader må derfor hele vegkroppen graves opp og bygges på ny for å forhindre at ujevnheter og sprekkedannelsene oppstår på nytt. Dette arbeidet medfører store utgifter, som burde vært unngått (Hoff, 2011).

Eldre motorveger bygd fra 1960- til 1980-tallet tålte frostpåkjenningene i fjor vinter bedre enn de nye motorvegene (Vegdirektoratet, 2011). Nyere veger skal ha frostsikringslag dimensjonert etter Håndbok 018, som har strengere krav til frostsikringslag nå enn tidligere. (Statens vegvesen, 2011) De nye vegene skulle derfor tålt telepåkjenningene minst like bra som de eldre vegene. Kunnskapsnivået om hva som skaper telehiv og dermed hvordan man kan unngå telehiv burde vært høyere blant aktørene innen vegbyggingsfeltet var konklusjonen etter en ekspertgruppe, nedsatt av Vegdirektoratet, undersøkte tre teleskadede nybygde veger i høst. Medieoppslag om ekspertgruppens konklusjon i Figur 2.



Figur 2 Oppslag i media etter ekspertgruppens konklusjon (Teknisk Ukeblad, 2011).

På bakgrunn av dette er det i denne oppgaven sett på hva som må til for at telehiv skal kunne dannes, hva som skjer når telehiv dannes og hva som kan gjøres for å unngå telehivskader. Oppgavens rammer og utforming er vedlagt i Vedlegg 1.

2 Hvorfor blir det telehiv?

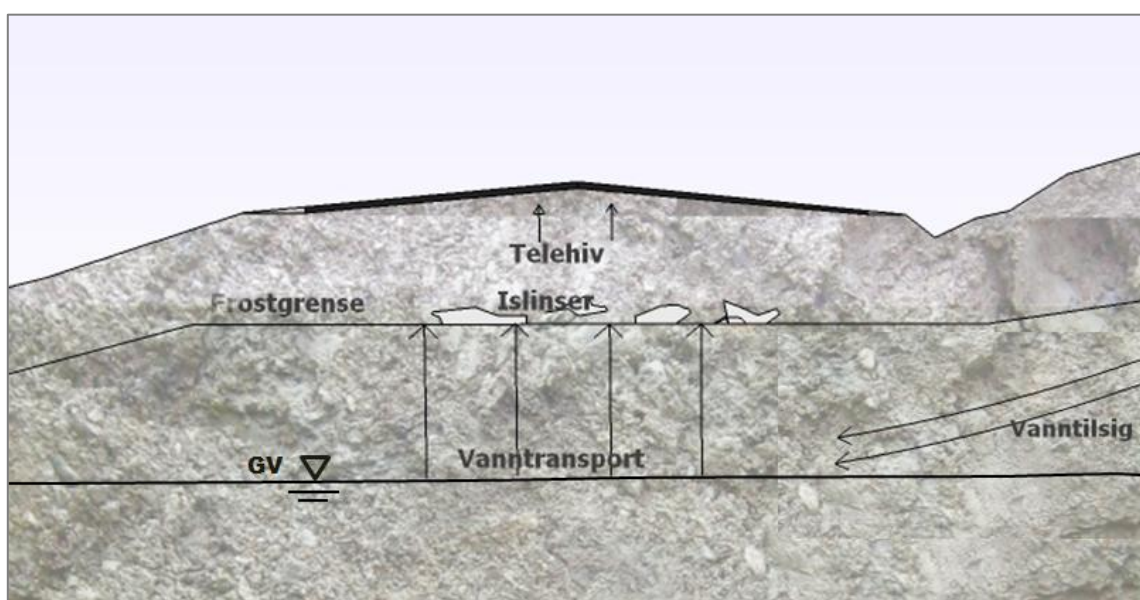
I dette kapittelet er det forklart hva telehiv er, samt om de tre forutsetningene som må være tilstede for at telehiv skal kunne dannes: *vann, telefarlig materiale og frost*.

2.1 Telehiv

Telehiv er forskyvningen av jordoverflaten som følge av at tilstrømmende vann i grunnen fryser og utvides når det kommer til frysefronten. Siden det ikke er plass til denne utvidelsen i grunnen oppstår forskyvningen av overflaten. I løpet av en sesong er det ikke uvanlig at vegoverflaten forflyttes 150-200 mm vertikalt som følge av telehiv (Andersland og Ladanyi, 2004).

Telehiv oppstår også mange andre steder i naturen, men det er når fenomenet oppstår i tilknytning til konstruksjoner som vegger og bygninger at det kan oppstå skader (Andersland og Ladanyi, 2004).

Om vinteren fryser øverste del av vegkroppen. Lenger nede i grunnen er det derimot ikke frosset, slik at vannet i grunnen fremdeles er i flytende form, som vist i Figur 3. Vann som strømmer opp til frysefronten vil fryse og danne islinser. Frosset vann har 9 % større volum enn flytende vann, og dannelsen av islinser fører dermed til plassproblemer for vannet i vegkroppen (NTNF og Statens vegvesen, 1976). Dermed heves vegen som ligger over islinjene. Dannelse av islinser er avhengig av tilgang på vann lenger nede i grunnen. Steder der vanntilsiget og vanntransporten er stor vil det dannes større islinser enn der det er mindre vanntilsig og vanntransport. Dette fører til at hevelsen av overflaten vil være ujevn og vegen vil bli humpete.



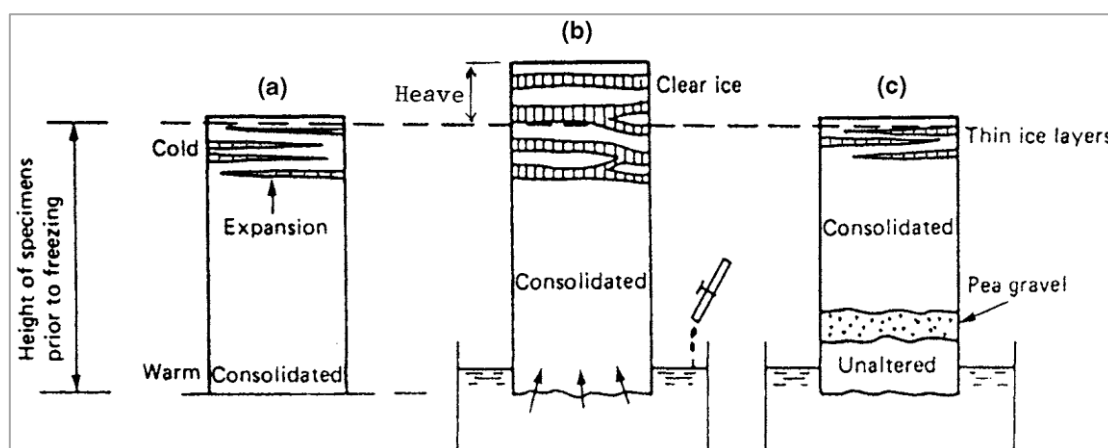
Figur 3 Tverrprofil: Skisse av hvordan vanntransport fører til dannelse av islinser som igjen danner telehiv på vegen.

For at dannelsen av islinser og dermed telehiv skal oppstå er det tre betingelser som må være tilstede, tilgang på vann, materiale som har passelig store porer til at vanntransport

oppstår, *telefarlig materiale*, samt tilstrekkelig med frost (Nordal, 1996). De tre faktorene som spiller inn på dannelsen av telehiv er forklart nærmere i avsnitt 2.2 til 2.4.

2.2 Vann

Vann som fryser til is utvides 9 % i volum, noe som kan skape problemer for en veg, om mengden vann i vegen blir for stor. Vann vil alltid være til stede i vegkroppen i mindre til moderate mengder. Når dette vannet fryser vil volumutvidelsen imidlertid ikke skape særlige problemer for vegen, da hulrommene har plass til mesteparten av denne utvidelsen. Kun ubetydelige forskyvelser av overflaten oppstår av denne fryseprosessen. Dette kan sees på illustrasjonen til Andersland og Ladanyi (2004) i Figur 4, se prøve a). Når det derimot strømmer ekstra vann til vegkroppen og opp til frysefronten oppstår problemene, prøve b). Frysingen av det tilførte vannet er det ikke nok rom for i steinmaterialet og vegoverflaten heves vertikalt, telehiv dannes, for å få plass til islinsedannelsen. Dersom det er tilgang på vann, men vannet ikke kommer i kontakt med frysefronten, på grunn av en materialstørrelse som ikke danner vanntransport til frysefronten, vil det heller ikke dannes merkbart telehiv, prøve c).



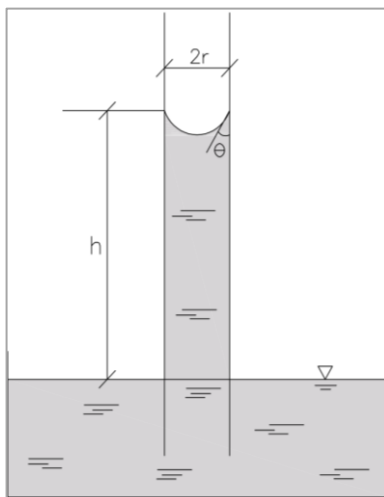
Figur 4 Telehiv i prøve a) uten tilgang til ekstra vann, b) med tilgang til ekstra vann og c) med tilgang til ekstra vann, men med et lag grus mellom vannkilde og frostfront (Andersland og Ladanyi, 2004, s. 14).

Oppadstrømmende vanntransport til frysefronten skjer som følge av tre ulike mekanismer. Kapillært poresug som oftest står for mesteparten av vanntransporten, samt osmose og damptrykk som kan bidra til ytterligere vanntransport.

Kapillært poresug¹: Mekanismen oppstår på grunn av kapillærkreftene som oppstår når vann befinner seg i trange porekanaler/rør. Adhesjon, som er kraften som virker mellom steinmineralene og vannmolekylene, kombinert med kohesjon, som er kraften som virker mellom vannmolekylene, utgjør til sammen kraften som løfter vannmolekylene motsatt retning av tyngdekraften.

¹ Kapillært poresug er sug som dannes i hulrommene i materialet. Siden hulrom oftest omtales som porerom i teorier om kapillært poresug er hulrom omtalt som porerom i dette avsnittet.

Kapillær sugeevne kan illustreres ved å sette et glassrør ned i vann. Vannet vil på grunn av adhesjonskrefter som virker mellom vannet og glassveggene i røret stige oppover. Vannet stiger lenger oppover i rør med liten diameter enn i rør med stor diameter. Dette skjer på grunn av at overflatearealet til vannet er større i forhold til vannets vekt i rør med liten diameter enn i rør med større diameter.



Figur 5 Kapillær stighøyde i glassrør.

For å finne stighøyden for vann i et sylindrisk rør, h , Figur 5, brukes kraftlikevekt (Dingman, 2002). Nedadrettet kraft, F_d , kommer som følge av vekten til vannet:

$$F_d = \rho g \pi r^2 h \quad (1)$$

Oppadrettet kraft, F_u , er vertikalkomponenten av overflatespenningen mellom luft og vann multiplisert med omkretsen til røret, $2\pi r$, som er lengden kraften virker på:

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

Kraftlikevekt gir:

$$F_d = F_u \quad (3)$$

$$\rho g \pi r^2 h = \sigma \cos\theta 2\pi r \quad (4)$$

Stighøyden, h , er dermed gitt ved:

$$h = \frac{2\sigma \cos\theta}{\rho g r} \quad [m] \quad (5)$$

Der:

σ = overflatespenning mellom luft/vann, temperaturavhengig avtar ved økende temperatur, ved 0°C er $\sigma = 0,0756 \text{ N/m}$, ved 5°C er $\sigma = 0,0749 \text{ N/m}$. Verdien vil variere mellom temperatur lavt i grunnen, der sug starter fra, til frossen tilstand øverst der sug slutter,

0°C. Ved 5°C som snittemperatur der sug starter vil overflatespenning være $\sigma = (0,0756+0,0749)/2 \text{ N/m} = 0,0753 \text{ N/m}$.

θ = fuktvinkel

r = kapillarradius, m

ρ = densitet vann, $\text{kg/m}^3 = 999,87 \text{ kg/m}^3$

g = tyngdekraft, m/s^2

Fuktvinkelen θ kan variere mellom 0 og 180° , dvs. mellom 0 og π . For kapillær stighøyde i jordarter² som tidligere har vært fuktet, tilnærmes $\cos \theta$ til $\cos 0$ som tilsvarer verdien 1 (Berntsen, 1993):

$$h = \frac{2\sigma}{\rho g r} \text{ [m]} \quad (6)$$

Ved økt radius vil altså stighøyden minke, da ingen av de andre leddene i formelen endres ved å endre rørdiameteren. Innsatte verdier ved $\sigma = 0,0753 \text{ N/m}$ gir:

$$h = \frac{0,000015}{r \text{ [m]}} \text{ [m]} \quad (7)$$

Siden radiusen i porekanaler er små, endres benevnningen på radien til millimeter, noe som forenkler uttrykket til:

$$h = \frac{0,015}{r \text{ [mm]}} \text{ [m]} \quad (8)$$

Kapillært poresug er altså avhengig av kornfordelingen i steinmaterialet, til nå uttrykt ved kapillær radius i porekanaler/rør. Siden denne radiusen er varierende gjennom steinmaterialet, er kapillær radius ofte omgjort til effektiv porediameter i jordarten (Holtz og Kovacs, 1981):

$$h = \frac{0,03}{d \text{ [mm]}} \text{ [m]} \quad (9)$$

Der:

d = effektiv porediameter, definert som 20 % av den effektive kornstørrelsen d_{10} (d_{10} = er den siktåpning som 10 % av materialet passerer ved sikteanalyse).

En annen tilnærmet formel for stighøyden er gitt ved (Rørvik, 1982):

$$h = \frac{C}{e d_{10}} \text{ [cm]} \quad (10)$$

Der:

² Jordart kan bestå enten av mineralsk materiale, organisk materiale eller en blanding av disse. Begrepet brukes om både naturlig og bearbeidet grunn. Bearbeidet grunn kan for eksempel være grunn der naturlig materiale er erstattet med knust stein (Norsk Geoteknisk Forening, 1982).

e = poretallet

d_{10} = den siktåpning som 10 % av materialet passerer ved sikteanalyse [cm]

C = 0,1 til 0,5 cm², avhengig av kornformen

Felles for begge formlene: (9) og (10), er at kornfordelingen, i form av størrelsen på hulrom, avgjør hvor høyt vannet stiger.

Osmose: En annen mekanisme som transporterer vann til frysefronten er osmose. Mekanismen oppstår på grunn av forskjell i ionekonsentrasjon i vannet i jorda som følge av salt i vannet. Når vann med salt i fryser til is, vil saltkornene i vannet flytte seg til tilstøtende områder der vannet fremdeles er flytende. På denne måten skapes et område med høyere ionekonsentrasjon og lavere frysepunkt i området like under islinjene som dannes. For å utjevne ionekonsentrasjonen i dette området migrerer vann fra lavere områder til dette området. Det migrerte vannet fryser og øker islinsemengden (Lay, 2005). Effekten av salt på telehiv studeres i en annen masteroppgave ved NTNU våren 2012 av Lars Lund. I oppgaven studeres telehivdannelse i materialprøver med ulike mengde saltkonsentrasjon ved bruk av direkte telehivtesting.

Damptrykk: Damptrykket er høyere dess høyere temperaturen er. Damptrykket er dermed høyere lenger ned i grunnen, der det er varmere, enn høyt oppe i grunnen. Dampen forsøker alltid å utligne trykket og vil derfor bevege seg fra høyere mot lavere trykk. Damp transporteres derfor oppover i vegkroppen. Når dampen kommer opp til frysefronten blir den nedkjølt og kondenserer til vann og fryses deretter til islinser (Lay, 2005).

2.3 Telefarlige materialer

Materialer som er telefarlige er materialer som har evne til å danne vanntransport opp til frysefronten (Statens vegvesen, 2011). For at vanntransporten skal kunne oppstå må materialet ha den «rette» kornfordelingen.

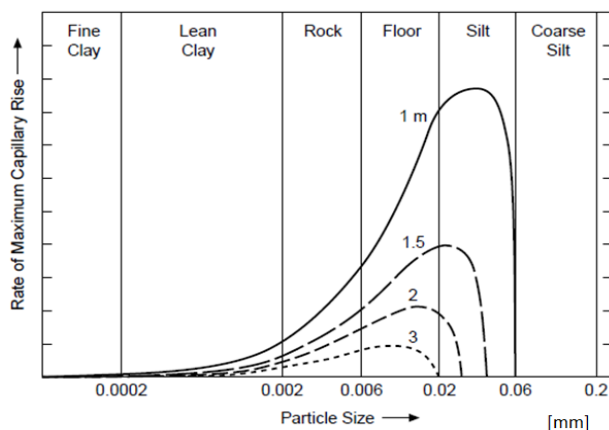
Materialer med høy andel av større kornstørrelser, som grus og stein, har så store hulrom mellom kornene at det ikke er mulig for vannet å stige oppover i materialet. Materialer med høy andel av svært små kornstørrelser, i leir-fraksjonen³, har derimot så små porer at permeabiliteten blir lav og derfor klarer ikke vannet å stige opp til frysefronten. Materialer med høy andel av silt-fraksjonen⁴ derimot har korn som er store nok til å gi god permeabilitet, men likevel såpass små hulrom at kapillært poresug er mulig. Andel finstoff i materialet bestemmer hvor telefarlig et materiale er, se avsnitt om telekriterium på neste side.

Sammenhengen mellom kornstørrelse og kapillærsug ble blant annet påvist i forsøk av Gunnar Beskow i 1935, der kapillær sugsevne i materialer med ulik gjennomsnittlig kornstørrelse ble testet. Beskow fant at silt var den kornstørrelsen som ga størst poresug,

³ Leirfraksjonen: diameter < 2 µm (Norsk Geoteknisk Forening, 1982).

⁴ Siltfaksjonen: diameter 2 µm-60 µm (Norsk Geoteknisk Forening, 1982).

vist i Figur 6. Hver kurve i figuren illustrerer ulike avstander fra testet materiale ned til grunnvannstanden (Henry, 2000). Materialer som inneholder en viss mengde silt er derfor telefarlige materialer. Kombinasjon av silt og høy andel fin sand øker telefaren i et materiale ytterligere, se inndelingen i telefareklasser i Nordals kriterium nedenfor.



Figur 6 Beskows resultat fra testing av kapillærsug i materialer med ulike gjennomsnittlig kornstørrelse, *enhet på y-akse ikke angitt*(Henry, 2000, s.9).

Telekriterium

Det er utarbeidet flere ulike klassifiseringer for å avgjøre om et materiale er telefarlig ut fra kornfordelingen. Metodene er utarbeidet fra 1930- til 1960-tallet, og brukes for å få et kvalitativt uttrykk for telefarligheten. I dette avsnittet er noen av metodene forklart. Statens vegvesen benytter Nordals kriterium.

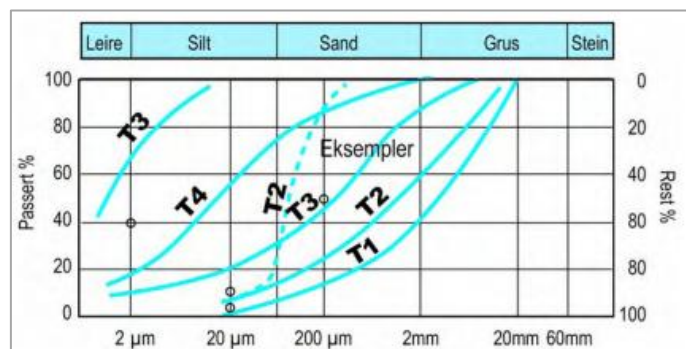
Nordals telekriterium: Rasmus Nordal laget i 1960 en telefarlighetsklassifisering avhengig av kornfordelingen til materiale med diameter <20 mm (Nordal, 1997). Dette er samme klassifiseringssystem som Statens vegvesen bruker. Statens vegvesen har diameter <22,4 mm som maksgrense for materialet som inngår i telefarlighetsklassifiseringen, ellers er klassifiseringen identisk. Klassifiseringen inndeles etter masseprosentvis andel av materiale mindre enn 200 µm, 20 µm og 2 µm. Klassifiseringen er delt i fire klasser fra ikke telefarlig, T1, til meget telefarlig, T4. Fraksjonen <2 µm tilsvarer leire, <20 µm tilsvarer silt og <200 µm tilsvarer silt til fin sand. Ser at meget telefarlige fordelinger, T4, har minimumskrav til siltmengde og maksimumskrav til leirmengde. Dersom mengde leirfraksjon blir for stor, synker som nevnt permeabiliteten og derfor synker telefarligheten til T3.

Tabell 1 Statens vegvesens telefarlighetskriterium, etter Nordal (Statens vegvesen, 2011, s. 207):

Telefarlighetsklassifisering		Av materiale < 22,4 mm		
Telefarlighetsgruppe		Masse-%		
		< 2 µm	< 20 µm	< 200 µm
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 µm regnes som middels telefarlig T3.

Eksempler på ulike telefarlighetsklassifiseringer, fra Håndbok 018, er vist i kornfordelingsdiagrammet i Figur 7. De ulike kravene i Tabell 1 er markert med sorte små ringer i diagrammet.



Figur 7 Eksempler på telefarlighetsklassifiseringer fra Håndbok 018. Sorte ringer er krav fra Tabell 1 (Statens vegvesen, 2011, s. 207).

Casagrandes telekriterium: Arthur Casagrande utarbeidet i 1931 en metode for å angi om et materiale var telefarlig eller ikke (Chamberlain, 1981). Metoden ser på andel materiale mindre enn 20 µm, kombinert med graderingstallet, $C_u = d_{60}/d_{10}$, Tabell 2. Kriteriet sier at ensgraderte materialer, $C_u < 5$, er telefarlige dersom de har mer enn 10 % materiale mindre enn 20 µm. Velgraderte materialer, $C_u > 15$, er telefarlige allerede ved mer enn 3 % materiale mindre enn 20 µm. Casagrande har ikke angitt minimumsgrense for hvor høy andel materiale <20 µm som gjør materialet telefarlig dersom materialet er middels gradert, $C_u = 5-15$. Dette er en svakhet ved Casagrandes kriterium.

Tabell 2 Casagrandes telekriterium:

Graderingstall, C_u	Masse- % materiale < 20µm	Klassifisering
<5	<10 %	Ikke telefarlig
<5	>10 %	Telefarlig
>15	<3 %	Ikke telefarlig
>15	>3 %	Telefarlig

Beskows telekriterium: Kriteriet til Gunnar Beskow fra 1935 ser på andel materiale mindre enn 62 µm og 125 µm, samt på kapillariteten til materialet, Tabell 3. Klassifiseringen kan virke noe uoversiktlig. Hovedsakelig kan den deles inn i kategoriene *ikke telefarlig*, *delvis telefarlig* og *telefarlig* (Nordal, 1997), forenklingen er listet til venstre i Tabell 3. Ved bruk av disse kategoriene blir telekriteriet noe enklere å sammenligne med andre telekriterier.

Et problem dersom man skal bruke Beskows kriterium er at klassifiseringene deles inn i naturlige avsetningsmaterialer. Beskow deler i avsetningsmaterialene sediment og morene (Beskow, 1935). Knuste materialer er derfor vanskelig å klassifisere etter Beskows kriterier. Et annet problem er at bruk av klassifiseringen krever måling av kapillariteten til materialet, noe som gjør det noe arbeidsomt å kunne bruke kriteriet.

Tabell 3 Beskows telefarlighetskriterium med forenklet klassifisering til venstre, etter: (NTNF og Statens vegvesen, 1976):

Forenklet klassifisering av telefaregrad:	Klassifisering	$C_u > 20$: morene $C_u < 20$: sediment	Midlere kornstør. d_{50} mm	Andel vekt% av materiale < 2 mm mindre enn		Kapillari- tet K m
				0.062 mm	0.125 mm	
Ikke telefarlig	Ikke telefarlig	Sediment Morene	0.1 –	< 30 < 15	< 55 < 22	1
Delvis telefarlig	Telefarlig ved ugunstige forhold høyt grunnvannspeil langsom frostned-trengning	Sediment Morene Sediment Morene	0.1–0.07 – 0.08–0.05 –	} 30–50 } 15–25	– 22–36	} 1–1.75 } 1.25–2.5
Telefarlig	Normalt telefarlig ved grunnvannsdypde 1.5 m (morene 1.0 m) (danner islag)	Sediment Morene	> 0.05		> 50 > 25	
Delvis telefarlig	Telefarlig leire (danner ikke islag)	Sediment	–	–	–	ca. 20
Delvis telefarlig	Ikke telefarlig leire	Sediment				

Unified Soil Classification System: U.S. Army Corps of Engineers sitt teleklassifiseringssystem fra 1948 er kalt Unified Soil Classification System, USCS (NTNF og Statens vegvesen, 1976). USCS-systemet bygger på Casagrandes kriterium, og Casagrande var med på å utvikle systemet. Telefarligheten deles inn i fem klasser, der materiale med mindre enn 3 % $< 20\mu\text{m}$ anses som ikke telefarlig. Deretter deles materialet inn i telefarlighetsklasse F1 til F4, som vist i Tabell 4. Lagdelte finkornede materialer, klassifiseres som mest telefarlig, F4, da lagdelt grunn er mer telefarlig enn homogen grunn (NTNF og Statens vegvesen, 1976). Telefaren går ned ved økt plastisitetsindeks, I_p^5 , for leire. Årsaken til dette er trolig at plastiske materialer sveller ved oppfuktning, noe som reduserer permeabiliteten og dermed telefaren (Berntsen, 1993).

Tabell 4 USCS telefarlighetskriterium:

Masse- % $< 20\mu\text{m}$	Jordart	Klassifisering
0-3	-	Ikke telefarlig
3-20	Grusige materialer	Ikke til litt telefarlig – F1
3-15	Sand	Litt telefarlig – F2
> 20	Grusige materialer	Middels telefarlig – F3
> 15	Sand med unntak av svært fin siltig sand Leire $I_p > 12$	
> 15	Silt og sandig silt Svært fin siltig sand Leire $I_p < 12$ Lagdelt leire og andre fingraderte lagdelte avleiringer	Meget telefarlig – F4

⁵ Plastisitetsindeks, I_p : Numerisk forskjell mellom flytegrense, w_l , og plastisitetsgrense, w_p , for finstoffholdige jordarter, $I_p = w_l - w_p$ (Norsk Geoteknisk Forening, 1982, s. 9).

Store fraksjoner

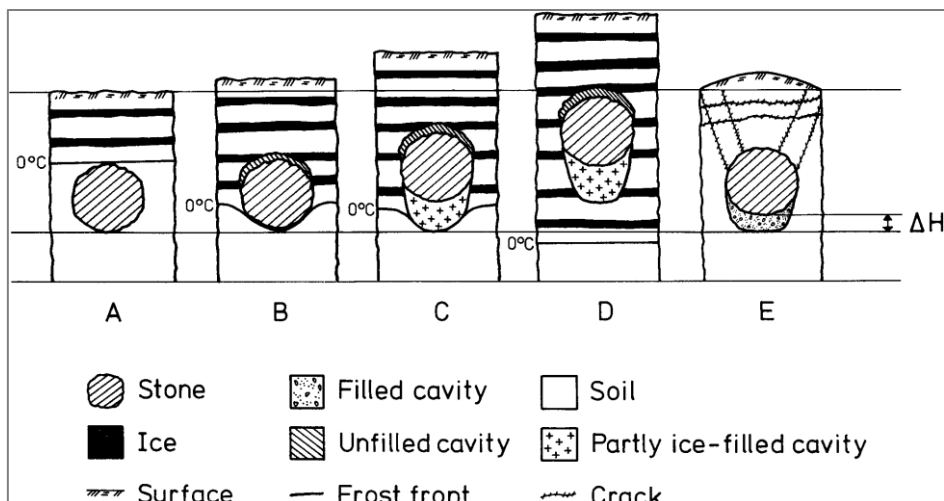
Store fraksjoner kan skape problemer med tanke på telehiv. Dette ble av Statens vegvesen funnet som en av årsakene til telehiv ved kontrollgravinger etter telehivskadene på nye E18 i Østfold, Figur 8. Maksimal tillatt korndiameter i forsterkningslaget er, i henhold til Håndbok 018, korndiameter lik $2/3$ av lagets totale tykkelse⁶. Dersom grunnen består av bæreevnegruppe 4 eller dårligere er maks diameterstørrelse halvparten av lagets tykkelse (Statens vegvesen, 2011, s. 263).



Figur 8 Store fraksjoner kan skape telehiv (Aftenposten, 2012).

Overflateskader som har oppstått på grunn av store fraksjoner som ligger i telefarlig jord, kan i følge Viklander (1998) forklares med følgende forløp gjennom vinteren: A) Først beveger frysefronten seg nedover mot steinen, se Figur 9. B) Når det dannes islinser i høyde med overkanten på steinen, dannes et hulrom over steinen som følge av at islinserne på siden av steinen løfter den frosne jorda over steinen. C) Steinen blir liggende i sin opprinnelige posisjon til kreftene som holder den nede, steinens egenvekt og kohesjonskrefter mellom ufrosne jord og steinen, er lavere enn kreftene som løfter steinen opp, som kommer av sammenfrysning mellom den frosne jorda og steinen. Så snart de løftende kreftene er størst vil steinen løftes oppover. D) Steinen vil også løftes dersom det dannes islinser under den. Når steinen løftes vil det dannes et hulrom under den. Hulrommet vil fylles med oppadstrømmende vann, som fryser når frysefronten trenger ned under steinen. På dette tidspunktet er frysefronten kommet dypere enn hele steinen, og den har derfor sluttet å stige. E) I teleløsningen vil tining starte fra toppen av veggen og deretter gå nedover i grunnen. Siden steinen har høyere varmeledningsevne enn jorden rundt, vil denne bli frostfri før resten av jorda. Dette medfører at også vannet under steinen vil tine og forsvinne nedover i grunnen, mens steinen fremdeles holdes oppe av den frosne jorda på sidene. Under tineprosessen vil finkornet jord som smelter finne veggen nedover til hulrommet under steinen. Dermed vil ikke steinen kunne returnere til sin opprinnelige høyde, men ender opp ΔH høyere.

⁶ Ved sand, grus og samfengt pukke er det satt øvre maksimumsgrense til korndiameter uavhengig av lagtykkelse på $D_{maks}=150$ mm. Ved pukke/kult er denne grensen $D_{maks}=250$ mm.



Figur 9 Stein løftes gjennom frostperioden i telefarlig jord (Viklander, 1998, s. 146).

Bilde av hevet stein etter mange vintrer på asfaltert parkeringsplass, Luleå i Sverige, Figur 10.



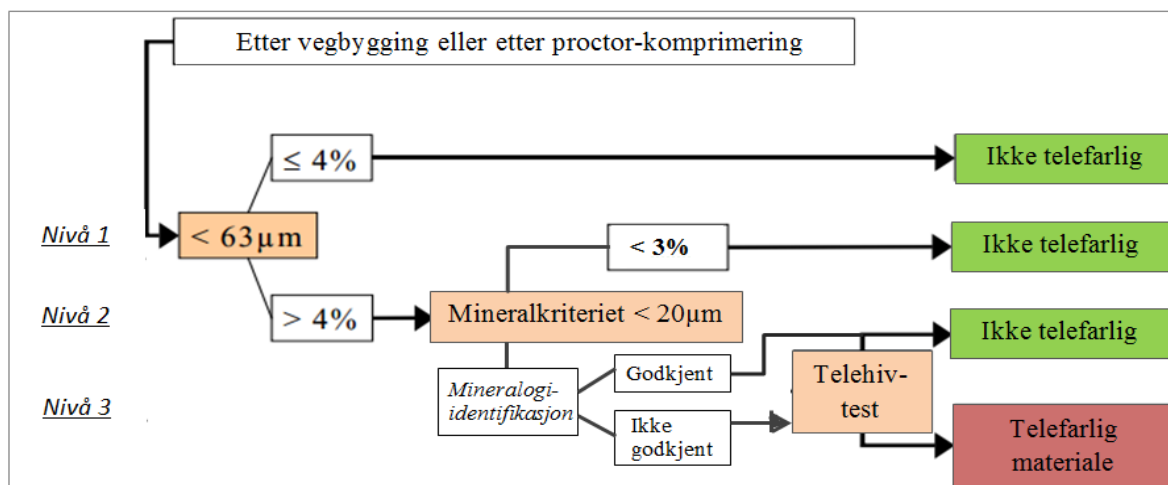
Figur 10 Løftet stein på asfaltert parkeringsplass, Luleå (Viklander og Eigenbrod, 2000, s. 152).

Mineralogi

Innhold av aktive mineraler (fyllosilikater) i finstoffraksjonen til steinmaterialet fører til høyere vanninnhold på grunn av vannfølsomheten til denne mineraltypen (Arm m.fl, 2004). Aktive mineraler er for eksempel fyllosilikatene kaolin, kloritt, glimmer, smektitt og vermikulitt.

I Østerrike er det i tillegg til krav til kornfordeling også krav til undersøkelse av mineralogiinnhold i finstoffandelen til materialet (Kugler m.fl, 2005). Mineralkriteriet er som følger: Dersom materialet inneholder mer enn 4 % materiale <63 μm etter komprimering (nivå 1, Figur 11), må mineralkriteriet undersøkes (nivå 2). Dersom mengde materiale <20 μm er mer enn 3 %, trengs ikke mineralogidentifikasjon. Ellers må mineralogien undersøkes. Mineralogien kan undersøkes ved røntgendiffraksjon - XRD, forklart side 14, eller tilsvarende metode. Dersom materialet inneholder for høye mengder aktive mineraler etter prosentvise krav avhengig av hvilke mineraler som avdekkes må direkte telehivtesting utføres for å avgjøre eventuell telefare hos materialet (nivå 3). Ved bruk av kriteriet unngås tidkrevende

telehivtesting, selv om finstoffandelen er høy, dersom mineralogien ikke tilsier telefarlig materiale.



Figur 11 Mineralkriteriet fra Østerrike, etter: (Kugler m.fl, 2005).

Felles for aktive mineraler er at de er spesielt vannfølsomme. De aktive mineralene må være frie, altså ikke bundne til andre materialer, samt inngå i finstoffraksjonen for at de skal være telefarlige (Kondelchuk, 2008). Selmer-Olsen (1971) fant at dersom mineralet glimmer (aktivt mineral), inngår i større fraksjoner i vegkroppen, vil disse mineralene være med på å redusere kapillærsuget i stedet for å øke det. Det er altså kun i finfraksjonen aktive mineraler har den egenskapen at de øker vannopptaket.

Undersøkelser av vannopptak i materialer med ulik glimmerandel i finstoffraksjonen, er blant annet utført av Kondelchuk (2008). Han fant 20-30 % høyere vanninnhold i prøver med høyt glimmerinnhold enn i prøver med lavt glimmerinnhold. Dersom frysefronten ligger over denne typen materialer vil det derfor være større tilgang til vann og økt telefare.

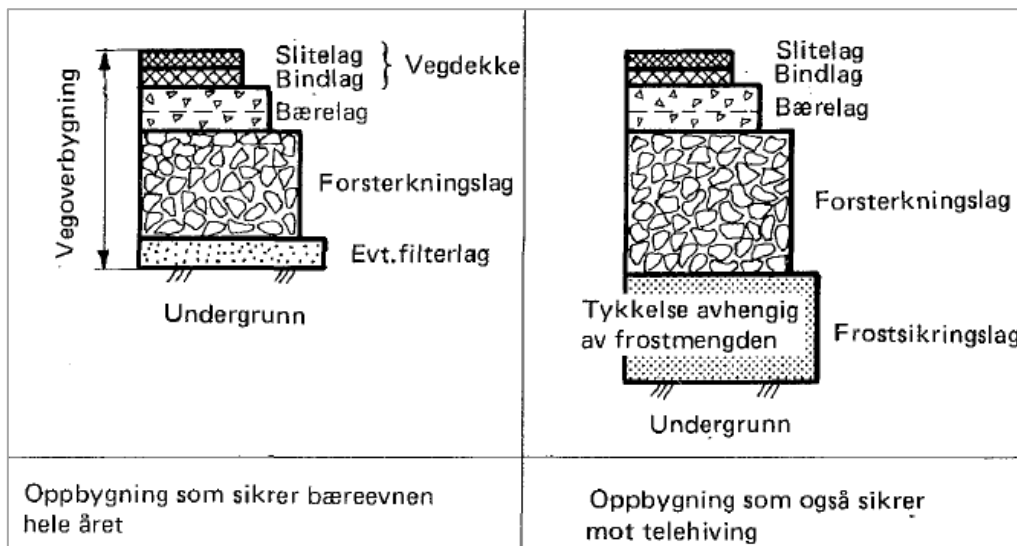
Direkte telehivtesting av materialer med lik finstoffgradering, men med ulik mineralogi (ulik andel aktive mineral) viste seg å danne ulik mengde telehiv i forsøk utført i Lillian Uthus (2007) sitt doktorgradsarbeid ved NTNU. Tre gneis-materialer ble testet. Materialet som inneholdt mye aktive mineraler, dvs. cirka 1/3 glimmer, var mer telefarlig enn de to materialene med ingen/lav andel av aktive mineraler.

Mineralkriteriet viste seg ved undersøkelser av Kugler, Ottner m.fl. (2005) å ha for strenge krav, fordi materialer som overskred grenseverdiene i kriteriet likevel ikke var telefarlige, hvilke grenser som bør settes for mengde aktive mineral kan derfor diskuteres. Det er imidlertid utenfor denne oppgaven.

Røntgendiffraksjon (XRD) brukes til identifisering av mineralogisk sammensetning i uorganiske materialer. Røntgenstråler med varierende innfallsvinkel sendes mot prøvematerialet, bølgene avbøyes og treffer en detektor. Ved å sende mange bølger mot prøven dannes et diffraktogram (diffraktogram=utskrift av et mønster over strålers bøyingsvinkel og intensitet når strålene har blitt reflektert fra en gitterstruktur). Diffraktogrammet sammenlignes med kjente diffraktogram fra andre kjente mineraler. Hvert mineral har et unikt mønster i gitterstrukturen, vist i diffraktogrammet, slik at man ved sammenligning med kjente mineral kan finne hvilke mineral det er i undersøkt prøve (SINTEF, 2005) (NGU, 2005). 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 andre korn har ikke samme vannopptaksevnen som frie mineral, og andel aktive mineral kan bli høyere enn det som angår telefaren.

Frostsikring – for å unngå telehiv

Når en overbygning frostsikres økes tykkelsen på forsterkningslaget utover det som trengs for å sikre bæreevnen, som vist i Figur 12. Dette gjøres slik at frosten ikke kan nå ned til underliggende telefarlige materialer og på denne måten eliminere muligheten for dannelse av islinser (NTNF og Statens vegvesen, 1976).



Figur 12 Forskjell på ikke frostsikret og frostsikret veg (NTNF og Statens vegvesen, 1976, s. 160).

Frostsikringslaget skal bestå av såkalte frostsikre materialer. Det vil si materialer som ikke har evnen til å danne vannstrømmer opp til frysefronten. Frostsikringslaget kan bestå av materialer av sand, grus og steinfraksjonen eller av materialer med spesielt lav varmeledningsevne, isolasjonsmaterialer (lenger nede i avsnittet).

Kravet til finstoff i frostsikringslaget er per i dag mildere enn kravet til finstoff i forsterkningslaget. Frostsikringslaget kan ha opptil 15 % materiale mindre enn 63 μm . Noe som betyr at litt telefarlige materialer, T2, kan benyttes. Kravet til forsterkningslaget er ikke telefarlige materialer, T1. Statens vegvesen vurderer å skjerpe inn kravet til T1 også for frostsikringsmaterialer. Endringene som vurderes, er forklart i avsnitt 4.5.

Frostsikringslaget dimensjoneres slik at frosten ikke når dypere enn laget i 9 av 10 vintre eventuelt 4 av 5 vintre. Den siste vinteren vil frosten nå lenger ned i grunnen enn det frostsikre laget, men det skal ikke skape så stor telehiv at det er til vesentlig hinder for trafikantene. Om frostsikring skal dimensjoneres for 5-års eller 10-årsvinter avhenger av ÅDT^7 og grunnforhold på strekningen, samt av hvilket frostsikringsmateriale som benyttes. Høytrafikkerte veger med $\text{ÅDT} > 5000$ skal alltid frostsikres, selv ved homogene grunnforhold der kun mindre telehiv er ventet (Statens vegvesen, 2011).

På grunn av økonomiske hensyn er det satt øvre grenser til hvor tykk overbygning inkludert frostsikringslag kan være. Maksimal overbygningstykkelse er enten 1,2, 1,5 eller 1,8 meter avhengig av ÅDT og grunnforhold. Reglene for maksimal tykkelse vurderes også endret av Statens vegvesen, se avsnitt 4.5.

Isolasjonsmaterialer: For å oppnå frostsikring kan det i tillegg til bruk av sand, grus og stein også benyttes materialer med spesielt lav varmeledningsevne (isolasjonsmaterialer). For eksempel granulat av lettklinker og skumglass eller plater av ekstrudert polystyren (XPS). Fordi disse materialene leder mindre varme fra grunnen, vil ikke frosten trenge langt nok ned til at den når de telefarlige materialene, selv med langt mindre lagtykkelser enn ved bruk av sand, grus og stein til frostsikring.

Lettklinker lages ved at kalkfattig leire tørkes og brennes i en roterovn. Ovnens rotasjoner under brenning gjør at leiren formes til små kuler i varierende størrelser (vanligvis 0-32 mm) (NTNF og Statens vegvesen, 1976). Lettklinker er svakere enn stein og derfor må materialet ikke utsettes for høye spenninger. Dette gjelder spesielt i anleggsperioden. Dersom nedknusing skjer reduseres styrken og dermed øker faren for spordannelse (Hoff, 2011).

Skumglass granulat lages ved at resirkulert glass varmes opp og tilføres luft slik at det blir et porøst og lett materiale. Ved avkjøling sprekker materialet slik at det dannes kubiske partikler. Overflaten til materialet er ru, noe som gjør at kornene griper godt inn i hverandre (Øiseth m.fl, 2007).

Ekstrudert polystyren (XPS) er laget ved at plastmaterialet polystyren ekstruderes i lag med ekspansjonsgass. Produktet er ferdige plater til utlegging. Platene er mer arbeidsomme å legge enn granulat av skumglass og lettklinker, og dersom de overbelastes i anleggsfasen mister de noe av funksjonen sin. På grunn av dette er bruken av XPS gått ned (Statens vegvesen, 2005a).

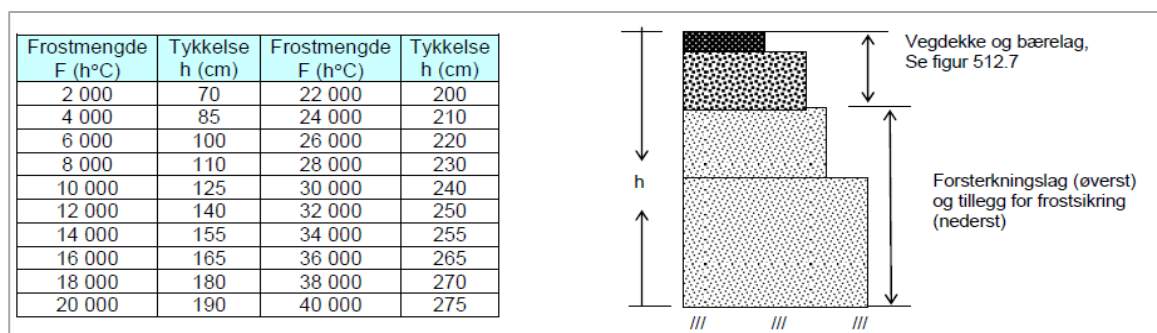
⁷ Årsdøgntrafikk.

OBS! Ekspandert polystyren (EPS) brukes av og til i fyllinger i vegbygging, men fungerer dårlig som frostsikring på grunn av høyt fuktopptak. Høyt fuktopptak gjør at isoleringsevnen synker på grunn av økt varmeledningsevne i vann (Refsdal og Myhre, 2005). Materialet har også lavere trykkfasthet enn XPS (Nordal, 1996). EPS er derfor ikke egnet til bruk i frostsikringslag.

Bruk av isolasjonsmaterialer kan gi problemer med riming på vegene, spesielt på kalde, klare dager om høsten. Dersom riming skjer på en isolert strekning kan det komme svært overraskende på trafikantene og skape farlige situasjoner og ulykker. Årsaken til riming er at varmestrømmen fra områder lenger nede i grunnen blir redusert av isolasjonslaget slik at dekketemperaturen blir lavere. For å unngå riming er det viktig at det er nok varme lagret i området over isolasjonen, og isolasjonsmaterialer må derfor ikke legges for nærme overflaten (Hoff, 2011).

2.4 Frost

Tredje og siste kriterium for dannelse av telehiv, er at det må være tilstrekkelig lange perioder med frost i grunnen. Mengde frost måles i frostmengde som er definert som tidsintegralet av lufttemperatur lavere enn 0°C gjennom vinterhalvåret (NTNF og Statens vegvesen, 1976), den angis i timegrader [h°C]. Frostmengde brukes til å bestemme tykkelse på overbygning inkludert frostsikringslag ved bruk av tabeller i Håndbok 018 sitt «Vedlegg 1 – Frostsikring av veger. Lagtykkelser». Tabell over tykkelser ved bruk av sand, grus eller steinmaterialer i frostsikringslaget er vist i Figur 13. Frostmengder er studert nærmere i kapittel 4.



Figur 13 Tykkelser på overbygning inkludert frostsikring, med frostsikringslag av sand, grus eller steinmaterialer fra Håndbok 018 (Statens vegvesen, 2011, s. 455).

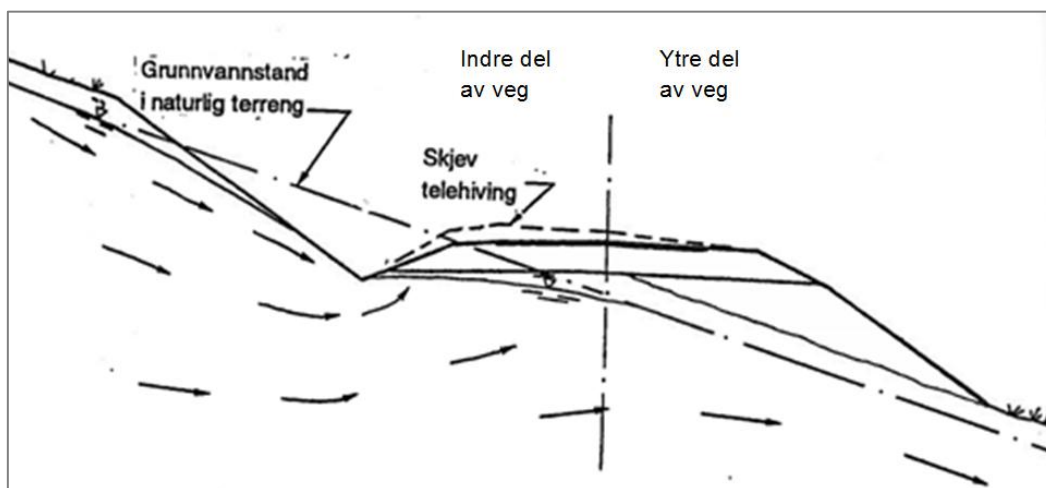
Lufttemperaturen må være negativ lengre enn i noen få dager for at islinsdannelse skal oppstå (Holtz og Kovacs, 1981). Dette fordi vanntransporten til frysefronten er en tidkrevende prosess. Uten tilstrekkelig frost skjer det ingen islinsdannelse og dermed ingen telehiv. Sakte nedtrengning av frost i grunnen gir større islinsdannelse enn hurtig nedtrengning av frosten. Når frysefronten står helt stille dannes de tykkeste islagene fordi mye vann rekker å bli transportert til frysefronten (NTNF og Statens vegvesen, 1976). Dersom frysefronten når ned til telefarlige materialer tidlig på vinteren, vil kapillærsug oppstå gjennom hele vinteren, og danner derfor den mest ugunstige situasjonen med tanke på telehiv.

2.5 Feltforhold

Topografi: Hvor stor vannstrømning som oppstår i vegkroppen er avhengig av mengden tilgjengelig vann nede i vegkroppen. Dette bestemmes av topografien i vegens nærområde, dreneringsforhold og grunnvannstanden. Dersom terrenget heller ned mot vegen vil det komme mer vann til vegen enn ved en høytliggende veg med lavere sideområder. Grunnforholdene i vegens sideareal er også viktig. Dersom det er jordarealer ved siden av vegen vil vannet strømme ned til vegen via grunnen. Dersom det er fast fjell ved siden av vegen vil vannet strømme på overflaten til grøfter og dermed kommer det mindre vann ned i grunnen (Nordal, 1996).

Grunnvannstand: Grunnvannstanden er med å avgjøre mengde telehiv. Dess høyere grunnvannstanden er dess mer telehiv dannes på grunn av bedre tilgang på vann. Dette fant blant andre Hermansson og Guthrie (2005) ved laboratorieforsøk med direkte telehivtesting av frostsensitive materialer med ulik grunnvannstand. For å minke telehivdannelsen er det derfor viktig med drenering.

Avskjæring av grunnvannstanden i skrått terreng, kan gi telehiv på indre del av vegen (Nordal, 1996). Mens ytre del av vegen er godt drenert har indre del overskudd av vann på grunn av at den naturlige grunnvannstanden er høyere enn overbygningen, Figur 14. Den høye vanntilførselen til fryseseonen i vegen er dermed «ideell» for telehivdannelser. Problemet kan løses ved å legge en drenggrøft på innsiden av vegen, slik at tilgangen på vann til frysefronten reduseres.



Figur 14 Skjev telehiv i skrått terreng (Nordal, 1996, s. 4).

Økt vanninnhold i grunnen medfører at frosten ikke går like dypt. Dette er på grunn av at den frigjorte energien fra faseovergangen vann til is bremser frostnedtrengningen (Nordal, 1996). Drenering kan derfor medføre økte telehivsproblem dersom telefarlige materialer lenger nede i grunnen får større tilgang på frost, og dermed muligheten til å danne islinser. Det er derfor nødvendig med kartlegging av eventuelle telefarlige materialer i undergrunnen for å unngå at dette.

Organisk materiale: Organisk materiale har evne til å holde på store mengder vann, opptil 80-90 % av egenvekten sin (Funderburg, 2001). Steinmaterialer som inneholder selv små mengder organisk materiale holder på mer vann enn materialer uten organisk innhold. Hudson (1994) fant at ved økt mengde organisk materiale (0,5-3,0 %) i steinmaterialer mer enn dobles evnen til å holde på vann.

Det er krav til maks 1 % humusinnhold⁸ i forsterkningslaget til veggen (Statens vegvesen, 2011). I selve vegkroppen skal humus derfor ikke være noe problem. Dersom vegens grunn og sidearealer består av organiske materialer vil høyere vanninnhold i disse områdene bidra til større vanntilsig til vegkroppen.

Prøver kan undersøkes for mengde organisk materiale ved hjelp av glødetapstest. Prinsippet ved testen er at en litenmengde av finstoffet(10 gram) i materialet (først tørket for vann) varmes i en ovn på 450°C i et døgn. Humus gløder bort ved såpass høye temperaturer mens steinmaterialet forblir ubrent. Veiing av prøve før og etter oppvarming angir andel materiale som har glødet bort. Detaljer ved utførelse av testen finnes i HB014 «14.445 Humusinnhold ved gløding» (Statens vegvesen, 2005b).

Lagdelt grunn: Horisontal lagdeling i grunnen medfører økt telefare fordi ising ofte skjer i overgangen mellom et materiale til det neste, Figur 15. Dersom materialene i de ulike lagene er telefarlige i seg selv, forventes større telehiv enn dersom oppbygningen består av samme telefarlige materiale (NTNF og Statens vegvesen, 1976).



Figur 15 Lagdeling i Selbuvegen, foto Åshild Hinna.

⁸Humus er en fellesbetegnelse på organisk materiale i jordmaterialer (Norsk Geoteknisk Forening, 1982).

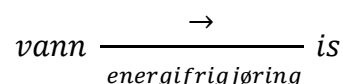
3 Hva skjer i frysefronten?

I dette kapittelet er det sett nærmere på hvordan den termiske prosessen foregår når islinser dannes og hvor islinsene dannes i forhold til der temperaturen er 0°C.

3.1 Varmeskapelse og varmetransport

Hastigheten av varmefrigjørelse og varmetransport er med på å avgjøre mengde og tykkelse på islinser og dermed telehiv. Frostnedtrengningen påvirkes av overliggende materialer, topografien, samt av ulike klimatiske parametere (Holtz og Kovacs, 1981). De viktigste materialparametere som påvirker frostnedtrengningen er vanninnholdet, varmeledningsevnen, varmekapasiteten og densiteten. De viktigste klimatiske parametere som påvirker frostdybden i grunnen er lufttemperatur, stråling fra sola, vind og nedbør (Øiseth m.fl, 2007).

Faseoverganger hos materialer fører til at energi enten absorberes eller frigjøres. Når vannet som strømmer opp til frysefronten fryses frigjøres energi som følge av faseovergangen:



For per kubikk vann som fryses til is frigjøres 93 kWh (Statens vegvesen, 2010). Energifrigjøringen medfører at frosten vil trenge langsommere nedover i områder med høyt vanninnhold, enn områder med lavt vanninnhold, dersom de klimatiske forhold ellers er like. Siden leire holder på mer vann enn mer grovkornede materialer, vil frosten trenge grunnere ned i leire. Grove, tørre, materialer gir størst frostnedtrengning (Statens vegvesen, 2010).

Siden det er kaldere høyere i jorda enn lavere nede, vil varmetransport skje i oppadstigende retning. Varmetransport i jord skjer i hovedsak i form av varmeledning, *konduksjon*. Varmeledningsevnen, λ , forteller hvilken varmemengde (W/mK) som kan overføres gjennom et materiale med tykkelse 1 m og temperaturgradient 1 grad. Varmeledningsevnen i grunnen påvirkes av metningsgrad, mineralogi, porøsitet, tørr densitet, kornfordeling og temperatur i luften og nedover i grunnen (NTNF og Statens vegvesen, 1976).

Verdier for varmeledningsevnen kun basert på korngraderingen til materialet vil gi svært stor usikkerhet, da det er mange andre faktorer som spiller inn på varmeledningsevnen. I «Frost i Jord»-arbeidet⁹ ble det funnet verdier for varmeledningsevnen basert på korngraderingen, varierende tørr romvekt, vektprosent vann og metningsgrad i materialene (NTNF og Statens vegvesen, 1976), se Tabell 5. Verdiene for varmeledningsevnen ligger innenfor til dels store intervaller, og verdier for materialer i vegkroppen vil ofte avvike fra disse verdiene på grunn

⁹ «Frost i Jord»-arbeidet på 1970-tallet var et stort forsknings- og utviklingsprosjekt, finansiert av Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Forskningsråd og Vegdirektoratet. «Formålet var å opparbeide viten om klima, materialer og byggemetoder slik at kostnadene til nødvendig sikringsarbeider mot teleskader blir minst mulig» (NTNF og Statens vegvesen, 1976, side 17). Arbeidet har lagt grunnlaget for dagens frostsikringsregler.

av mer gradert materiale og annet vanninnhold. Verdiene i tabellen kan likevel gi en pekepinn på hvilke kornstørrelser som gir høy og hvilke som gir lav varmeledningsevne i jordarter.

Tabell 5 Variasjoner i sammensetning og varmeledningsevne for ulike materialer (NTNF og Statens vegvesen, 1976, s. 73):

Materiale	Sammensetning			Ledningsevne W/mK	
	Tørr romvekt ρ_d kg/m ³	Vektprosent vann, w%	Metningsgrad S_r %	Frosset λ_f	Ufrosset λ_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

Lavere varmeledningsevne er årsaken til at frostsikring kan oppnås med tynnere lagtykkelse ved bruk av isolasjonsmaterialer enn ved bruk av tradisjonell sand, grus og stein. Isolasjonsmaterialer har varmeledningsevne helt ned mot 0,02 W/mK, mens tradisjonell sand, grus og stein, har varmeledningsevne kun ned mot 0,5 W/mK (NTNF og Statens vegvesen, 1976).

Mengde varme, Q , som strømmer fra varmt til kaldt område (oppover i jorda), er i tillegg til varmeledningsevnen også avhengig av temperaturforskjellen mellom varmt og kaldt område, Δt , noe som kan sees av varmeformelen (NTNF og Statens vegvesen, 1976, side 77):

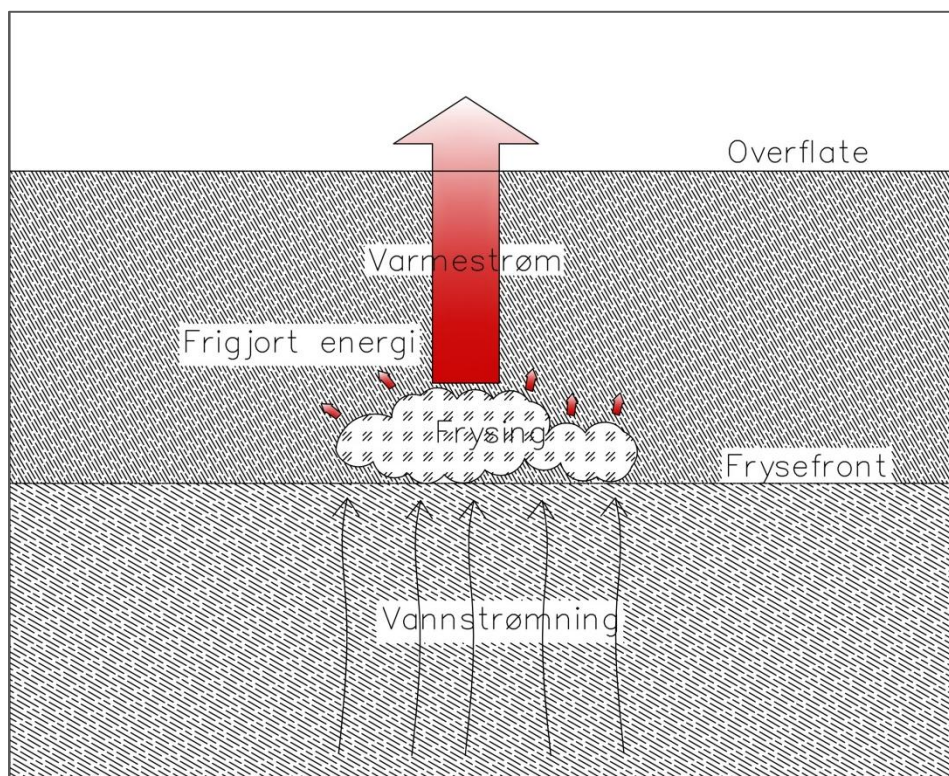
$$Q = \lambda * A * \frac{\Delta t}{l} [W]$$

A = tvernsnittsareal [m²]

l = lengde varmen forflyttes [m]

Større mengder varme vil altså ledes til overflaten dersom overflatetemperaturen er lavere. For at frysefronten skal stå i ro må mengde varme som blir ført bort fra frysefronten tilsvare mengde varme frigjort ved frysing av is, se skisse i Figur 16:

$$\text{Varme frigjort}_{\text{Istlinsedannelse}} = \text{Varme ledet til overflate}$$



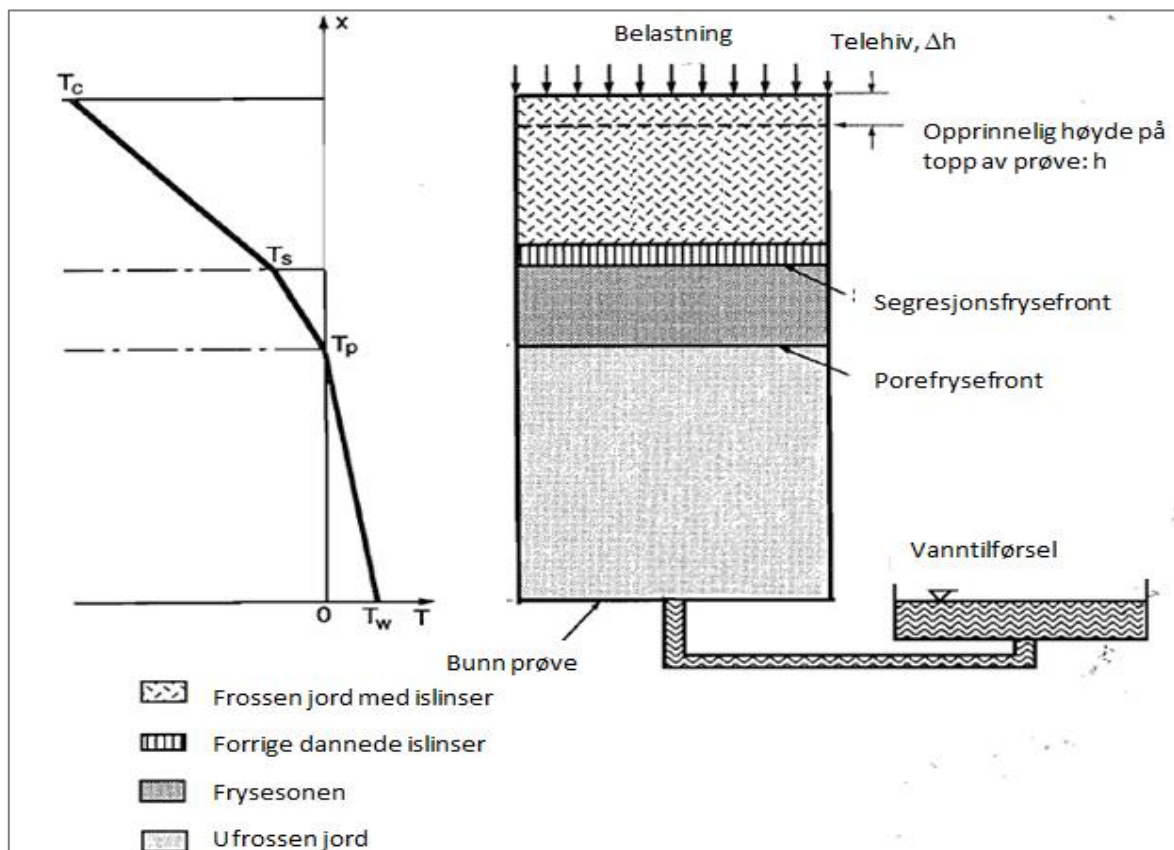
Figur 16 Frigjort energi fra fryseprosessen må være lik varmemstrøm til overflaten for at frysefronten skal stå i ro.

Synkende frysefront oppstår når både varme fra frysing av porevann og varme fra frysing av oppadstrømmende vann ledes bort (NTNF og Statens vegvesen, 1976). Når lufttemperaturen stiger til plussgrader vil varmemstrømmen gå i motsatt retning, altså fra overflaten og nedover i grunnen. Dermed tines den frosne jorda og islinsene smelter (teleløsning).

En klimatisk faktor som har stor påvirkning på frostdybden er snø. Snø virker isolerende på overflaten og reduserer varmemstrømmen til overflaten. Siden veggen brøytes vil ikke snøen virke isolerende på størstedelen av vegkroppen. Derimot kan mye snø på siden av veggen som følge av brøytekanter, føre til økt isolering som påvirker et område cirka en halv meter inn i vegens tverrprofil fra hver side (Hoff, 2012). Frysefronten vil da stå grunnere på vegens ytterkanter enn ellers. Dette kan føre til ujevn telehiv på tvers av veggen.

3.2 Frysesonen

Ikke alt vannet i finkornede jordarter fryser ved 0°C , noe som medfører at islinsedannelsen ikke skjer der porefrysefronten står (ved $T_p=0^{\circ}\text{C}$), men i stedet i et område et lite stykke over dette (ved $T<0^{\circ}\text{C}$), Figur 17 (Konrad og Duquenois, 1993). Fritt vann fryser der porefrysefronten står, mens adsorptivt bundet vann¹⁰ fremdeles er i væskeform. Det finnes altså en viss mengde vann i væskeform i dette området med ellers frossen jord. Området kalles «frozen fringe» eller frysesonen. Vannet i dette området har lavt trykk, og dess mindre mengde ufrosset vann dess lavere blir trykket (Konrad, 1994). Adsorptivt bundet vann beveger seg i kanalene av ufrossent område, siden vannet vil bevege seg fra område med høyere trykk til område med lavere trykk stiger vannet og danner tilslutt en islinse der det blir tilstrekkelig kaldt til at også dette vannet fryses. Området der alt adsorptivt bundet vann fryses kalles segresjonsfrysefronten, se skissen i Figur 17. Til venstre på figuren vises temperatur i forhold til 0°C . Temperaturen alt det adsorptivt bundne vannet er frosset ved, T_s , er avhengig av ulike faktorer, blant annet mineralkornenes størrelse, overflateareal og porefordeling, samt hulromsfordelingen i materialet. Materialer med ulik kornstørrelser har svært ulik segresjonsfrysetemperatur: Leire har ofte rundt 20 % ufrosset vann selv ved -10°C , mens for silt fryser mesteparten av adsorptivt bundet vannet like under 0°C (Konrad, 1994).



Figur 17 Skisse over hvor islinser dannes. I prøve ved telehivforsøk, ikke riktig skala, etter: (Konrad og Duquenois, 1993).

¹⁰ Adsorptivt bundet vann er vann som er bundet til mineralkorn som følge av adhesjonskrefter mellom vann og mineral, dvs. de elektriske ladninger på mineraloverflaten tiltrekker seg vannet på grunn av dets dipolegenskaper (Noss, 1978).

4 Frostmengder

I dette kapittelet er det sett nærmere på frostmengdebegrepet, og det er utført beregninger for å se om frostmengde beregnet fra døgn- og fra månedsmiddeltemperaturer fører til nevneverdig forskjell på frostmengdestørrelsen. Avslutningsvis er det sett på svakheter med frostmengder som dimensjoneringsparameter og endringer i dimensjoneringen av frostsikringslaget som vurderes innført av Statens vegvesen.

4.1 Generelt

Frostmengde er definert som tidsintegralet av lufttemperatur lavere enn 0°C gjennom vintersesongen¹¹ og angis i timegrader [h°C] (NTNF og Statens vegvesen, 1976). Frostmengde brukes til å finne nødvendig tykkelse på overbygning inkludert frostsikringslag i tabellverk i Håndbok 018. For å finne frostmengde ved dimensjonering kan man beregne frostmengde fra temperaturmålinger, eller måle frosten direkte i området. Direkte målinger er tidkrevende da de må utføres over flere år for å få tilstrekkelig med målinger. Derfor blir temperaturstatistikker oftest brukt til dimensjoneringsformål.

Dimensjonering baseres på frostmengde F_5 , som er frostmengden som statistisk sett overskrides 1 gang i løpet av en 5-års periode eller frostmengde F_{10} , som tilsvarende er frostmengden som statistisk sett overskrides 1 gang i løpet av en 10-års periode. Dimensjonerende tykkelse på frostsikker overbygning baseres på en av disse to mengdene avhengig av grunnforhold, ÅDT og hvilket frostsikringsmateriale som benyttes, Figur 18.

ÅDT	Grunnforhold *)	Frostsikring		
		Sand, grus, stein	Lettklinker og skumglass	Isolasjonsplater (XPS)
1500 - 5 000	3	h_5 (maks. 1,5 m)	h_5	h_{10}
≥ 5 000	1	h_5 (maks. 1,2 m)	h_{10}	h_{10}
	2	h_5 (maks. 1,5 m)	h_{10}	h_{10}
	3	h_{10} (maks. 1,8 m)	h_{10}	h_{10}

*) Grunnforhold, variasjonsklasser:
 1 = homogene grunnforhold hvor bare små ujevne telehiv er ventet. Ensartede grunnforhold med leire, sand eller grus og med generelt stabile fuktforhold. Grunnforholdene skal bekreftes gjennom grunnundersøkelser (se pkt. 510.2).
 2 = noe varierende, en del ujevne telehiv er ventet
 3 = sterkt varierende, store, ujevne telehiv er ventet. Særlig utsatte områder
 - med (typisk) leirig silt, siltige masser, eller sandig silt og med store variasjoner
 - med vannførende lag i slike masser som kan gi opphav til iskjøving og ujevnheter langt utover det normale.
 - der det er usikkerhet om grunnundersøkelsene (se pkt. 510.2) har fanget opp lokale variasjoner.

Forklaringer:
 Ved frostsikring med sand, grus og stein er h_5 og h_{10} total tykkelse av overbygningen ved en 5 års og 10 års vinter (dimensjonerende frostmengde F_5 og F_{10}). Ved frostsikring med lettklinker/skumglass eller isolasjonsplater av XPS er h_5 og h_{10} tykkelse av frostsikringslaget ved en 5 års vinter evt. 10 års vinter. Verdiene for h beregnes som vist i vedlegg 1. Frostmengder og årsmiddeltemperatur er vist i vedlegg 2.

Figur 18 Dimensjoneringsgrunnlag for frostsikring fra HB018 (Statens vegvesen, 2011, s. 223).

¹¹Ved beregning av frostmengde for en vintersesong summeres frosten for perioden 1.juli-30.juni.

4.1.1 Korreksjon av temperaturen ved høydeforskjell

Det kan være behov for å korrigere temperaturen for høydeforskjeller dersom vegen har en annen høyde målestasjonen som er benyttet. Kyststrøk er de områder der temperaturen avtar mest med høyden (NTNF og Statens vegvesen, 1976), og midlere lufttemperaturer kan da korrigeres med vertikal temperaturgradient for kyststrøk. Denne korreksjonen utgjør $-0,7^{\circ}\text{C}$ per 100 meter stigning. Korreksjon gjøres også for andre områdetyper, se Figur 19.

Normal vertikal lufttemperatur i Sør-Norge, $^{\circ}\text{C}/100$ m stigning													
Område	jan	feb	mars	apr	mai	juni	juli	aug	sept	okt	nov	des	år
Brattlendte kyststrøk, alle høydeforskjeller	-0.7	-0.7	-0.7	-0.7	-0.7	-0.7	-0.7	-0.7	-0.7	-0.7	-0.7	-0.7	-0.70
Frittliggende indre strøk, alle høydeforskjeller	-0.4	-0.4	-0.5	-0.7	-0.7	-0.7	-0.7	-0.7	-0.6	-0.6	-0.5	-0.4	-0.60
Trange daler i innlandet, små høydeforskjeller	+0.2	-0.1	-0.3	-0.6	-0.6	-0.6	-0.5	-0.4	-0.4	-0.3	-0.1	+0.2	-0.30
Åpne daler i innlandet, små høydeforskjeller	+0.6	+0.3	-0.1	-0.5	-0.6	-0.6	-0.5	-0.4	-0.3	-0.2	+0.1	+0.5	-0.14

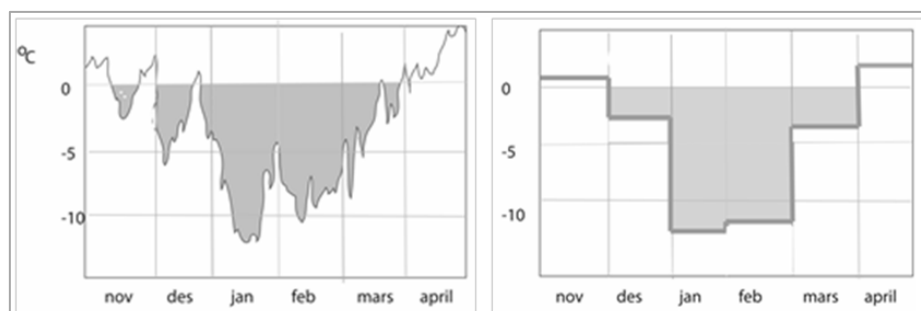
Figur 19 Korreksjon per 100 meter høydeforskjell i ulike strøk i Sør-Norge, årlig snitt til høyre i tabellen (NTNF og Statens vegvesen, 1976, s. 43).

4.1.2 Lokalkunnskap om temperaturer

Selv om man kan bruke korreksjonen for stigning kan det også være store lokale forskjeller i temperaturen som kan utgjøre stor forskjell på frostmengden. For å fange opp dette kan lokalkunnskap fra personer som er kjent med temperaturen i området være til stor nytte. Eksempelvis dersom temperaturen normalt ligger 4-5 grader lavere innerst i en fjord enn lengst ute, der målestasjonen befinner seg, er dette noe lokalkjente kan brukes til å få kunnskap om. Frostmengden kan dermed bli svært forskjellig på de to plassene og bruk av temperaturdata fra målestasjon til å beregne frostmengden kan i verste fall føre til underdimensjonering av frostsikringslaget.

4.2 Døgn- og månedstemperaturer til beregning av frostmengder

Frostmengde kan beregnes ut fra måneder med negativ middeltemperatur, eller ut fra døgn med negativ middeltemperatur, skraverte arealer i Figur 20. For å få med frosten også i måneder med positiv middeltemperatur (vår og høst) må frostmengden beregnes ut fra døgnmiddeltemperaturer. Siden begge deler er benyttet i ulike tabellverk er det i denne oppgaven undersøkt om bruk av månedsverdier gir store avvik i forhold til døgnverdier.



Figur 20 Døgnmiddeltemperatur og månedsmiddeltemperatur (Hoff, 2011, s. 4).

4.2.1 Frostmengder i Håndbok 018

Frostmengdene for alle kommunesentre er listet i Håndbok 018 sitt «Vedlegg 2 – Årsmiddeltemperatur og frostmengder», og er opprinnelig fra «Frost i Jord» (NTNF og Statens vegvesen, 1976). Disse frostmengdene er beregnet ved bruk av månedstemperaturer. Frostmengdetabellen er basert på målinger fra 1931-1960. I Skandinavia har det vært en gjennomsnittlig temperaturøkning på 1°C de siste 30 år, (Statens vegvesen, 2005a). Siden målingene er såpass gamle er det derfor grunn til å tro at det har skjedd endringer i frostmengdene siden den tid. En annen svakhet ved bruk av tabellene er at det ved bruk av kommunesenterverdier kan gi ukorrekte estimat på frostmengden på grunn av at det ofte forekommer store lokale temperaturforskjeller innad i en kommune (NTNF og Statens vegvesen, 1976).

4.2.2 Frostmengder i Byggdetaljblad 451.021

Nyere data for frostmengder er tilgjengelig i Byggforskseriens Byggdetaljblad 451.021 «Klimadata for termisk dimensjonering og frostsikring» (Byggforsk, 2009). Her er frostmengder for kommunesentrene basert på temperaturmålinger fra perioden 1971-2000. Frostmengdene er her beregnet ved bruk av døgnmiddeltemperaturer i stedet for tidligere brukte månedsmiddeltemperaturer. Disse tabellene vil også kunne gi ukorrekte estimat på frostmengden ved bruk av kommunesenterverdier, på grunn av at det ofte forekommer store lokale temperaturforskjeller.

4.3 Sammenligning av døgn- og månedsberegninger

For å kontrollere om bruk av månedsmiddeltemperaturer til frostmengdeberegning gir store forskjeller i frostmengde i forhold til bruk av døgnmiddeltemperatur er det i denne oppgaven beregnet 5- og 10-års frostmengde for ti ulike målestasjoner i Norge. De ti stasjonene er spredd på ulike steder i Norge med varierende frostmengde. 5- og 10-års frostmengde er valgt siden det er disse som brukes ved dimensjonering av norske vegger (Statens vegvesen, 2011). Frostmengdeberegningen er utført ved bruk av statistisk Gumbel-fordeling, metode i Vedlegg 2. Gumbel-fordeling er valgt fordi den anses å være egnet for frostmengdeberegninger for mange klimaer, (Standard Norge, 2001). Temperaturdata benyttet i beregningene er fra 30-årsperioden fra vinteren 1981-1982 til vinteren 2010-2011. Temperaturdataene er hentet fra databasen eKlima, som inneholder vær- og klimadata levert av Meteorologisk institutt (Meteorologisk Institutt, 2012).

Forskjell i frostmengde F_5 og F_{10} ved beregning basert på døgnstemperaturer og basert på månedstemperaturer er vist i Tabell 6 og Tabell 7. Samtlige frostmengder blir lavere ved bruk av månedstemperaturer, og dess lavere total frostmengde dess større andel frost mangler ved bruk av månedstemperaturer. Uavhengig av frostmengde er det cirka 2000 h°C mindre frostmengde beregnet med på månedstemperaturer enn med døgnstemperaturer.

Kapittel 4 - Frostmengder

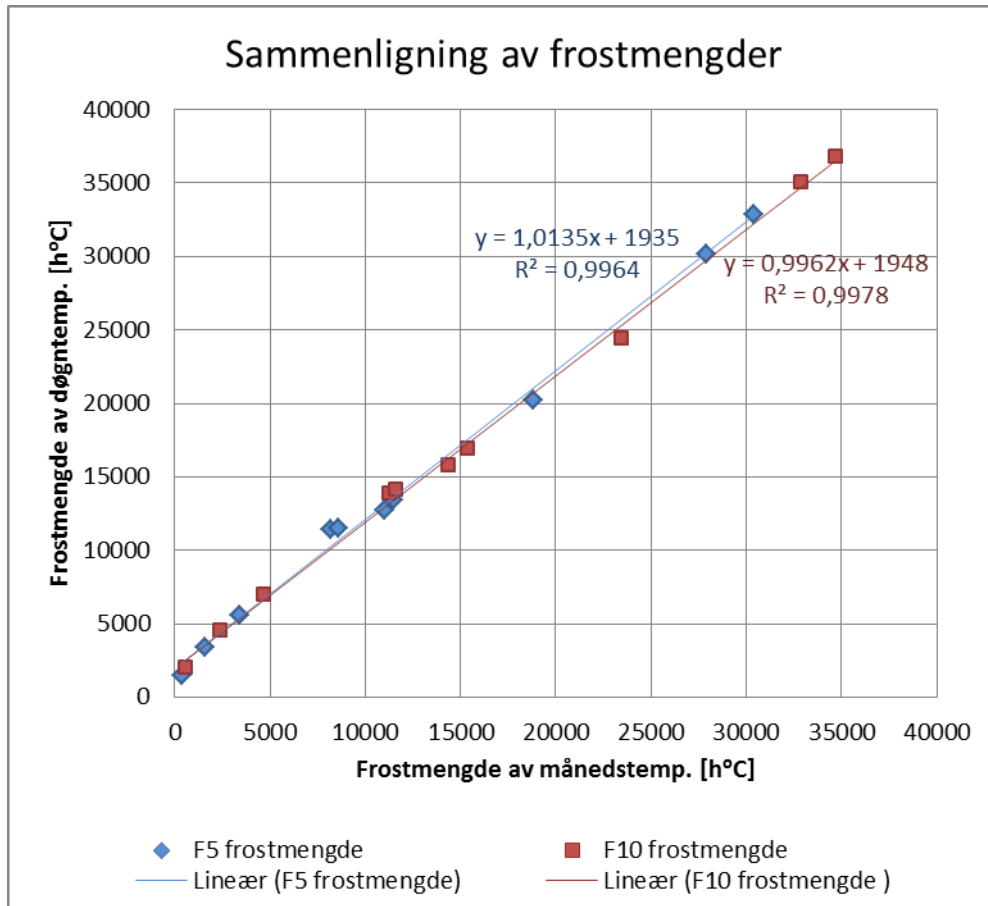
Tabell 6 Frostmengde F5 beregnet fra døgn- og månedsmiddeltemperaturer:

F₅-frostmengde				
Sted	Døgn [h°C]	Måned [h°C]	Forskjell [h°C]	Forskjell [%]
1 Bardufoss (Troms)	32900	30400	2500	8 %
2 Rena (Hedmark)	30200	27900	2300	8 %
3 Gardermoen (Akershus)	20200	18800	1400	7 %
4 Rygge (Østfold)	13400	11500	1900	14 %
5 Blindern (Oslo)	12700	11000	1700	13 %
6 Kvithamar (Nord-Trøndelag)	11400	8200	3200	28 %
7 Værnes (Nord-Trøndelag)	11500	8600	2900	25 %
8 Ørland (Sør-Trøndelag)	5600	3400	2200	39 %
9 Sklinna Fyr (Nord-Trøndelag)	3400	1600	1800	53 %
10 Vigra (Møre og Romsdal)	1500	400	1100	73 %
Gjennomsnittlig forskjell:			2100	

Tabell 7 Frostmengde F10 beregnet fra døgn- og månedsmiddeltemperaturer:

F₁₀-frostmengde				
Sted	Døgn [h°C]	Måned [h°C]	Forskjell [h°C]	Forskjell [%]
1 Bardufoss (Troms)	36800	34700	2100	6 %
2 Rena (Hedmark)	35000	32900	2100	6 %
3 Gardermoen (Akershus)	24400	23500	900	4 %
4 Rygge (Østfold)	16900	15400	1500	9 %
5 Blindern (Oslo)	15800	14400	1400	9 %
6 Kvithamar (Nord-Trøndelag)	13900	11300	2600	19 %
7 Værnes (Nord-Trøndelag)	14100	11600	2500	18 %
8 Ørland (Sør-Trøndelag)	7000	4700	2300	33 %
9 Sklinna Fyr (Nord-Trøndelag)	4500	2400	2100	47 %
10 Vigra (Møre og Romsdal)	2000	600	1400	70 %
Gjennomsnittlig forskjell:			1890	

Grafisk fremstilling av de beregnede verdiene er vist i Figur 21. Sammenhengen mellom månedsfrost og døgnfrost er gitt ved de to ligningene i Figur 21. Blå ligning for F₅ og rød for F₁₀. Sammenhengen mellom månedsverdier (x-akse) og døgnverdier (y-akse) er svært høy da R²=0,99 for begge to, svært nærme R²=1 som tilsier perfekt sammenheng.



Figur 21 Graf for frostmengde F5 og F10 beregnet av døgn- og månedstemp.

Gjennomsnittlig er forskjellen altså cirka 2000 h⁰C mindre ved bruk av månedsmiddeltemperaturer enn ved bruk av døgnmiddeltemperaturer til beregning. Forskjellen er ikke avhengig av om total frostmengde er høy eller lav.

Siden forskjellen er såpass stor må man passe på å benytte frostmengder beregnet fra månedstemperaturer der tabeller for tykkelse på overbygning inkludert frostsikring er dimensjonert etter dette og døgntemperaturer ved motsatt tilfelle. Ellers kan det føre til feil tykkelse, eksempelvis vil dette utgjøre 5-15 cm feil i dimensjoneringstykkelsen ved bruk av sand, grus eller steinmaterialer til frostsikringslag, se tabell i Figur 13.

4.4 Frostmengde – et fornuftig mål for dimensjonering av frostsikringslag?

Frostmengde angir mengde minusgrader gjennom vinteren. Dess høyere frostmengde dess tykkere frostsikringslag, se Figur 13. Som nevnt tidligere gir sakte nedtrengning av frost i grunnen større islinsedannelse enn hurtig nedtrengning av frosten. De tykkeste islagene dannes når frysefronten står helt stille fordi mye vann rekker å bli transportert til frysefronten. Minus 10⁰C i tjue dager, eller minus 20⁰C i ti dager vil gi samme frostmengde, men ikke samme hurtighet på frostnedtrengningen. Dette fanges ikke opp av frostmengdebegrepet.

Frostmengde tar heller ikke hensyn til hvordan frosten fordeler seg gjennom vinteren. Dersom det oppstår en mildværsperiode på vinteren vises ikke dette i frostmengdeverdien, men vil påvirke telehivutviklingen (Berntsen, 1993). Det kan i slike tilfeller være mer nyttig å se på frostmengder beregnet over den sammenhengende frostsyklusen og ikke over hele vinterperioden.

Frostmengde som mål på frostdybde tar heller ikke hensyn til om det er snø på vegens sidearealer eller ei. I områder der det er mye snø vil dette, som nevnt, skape en ulik frostnedtrengning i vegens tverrprofil.

Kort oppsummert er det flere faktorer frostmengdebegrepet ikke tar hensyn til. Ytterligere undersøkelser av faktisk telehiv i felt sammenlignet med hvor raskt frosten trenger ned i grunnen, fordeling av frostmengder over vinteren og virkning av snø på vegskulderen vil kunne gi bedre indikasjoner på hvilke og i hvilken grad de ulike faktorene bør være med i dimensjoneringen av frostsikringslag. Slike undersøkelser kan gi svar på om, eventuelt hvordan, disse tre faktorene bør inkluderes i dimensjoneringen.

4.5 Statens vegvesen vurderer endringer av frostsikringsreglene

For å forsøke å forhindre telehivproblemene vil Statens vegvesen endre kravene til frostsikring i Håndbok 018. Bakgrunnen er telehivproblemene på nye vegger etter vinteren 2009-2010 og vinteren 2010-2011 (Vegdirektoratet, 2011). En ekspertgruppe på telehiv nedsatt av Vegdirektoratet utredet telehivsproblemene og kom med anbefaling om at kravene til frostsikring i Håndbok 018 bør innskjerpes og forenkles.

Statens vegvesen har i forbindelse med etatsprogrammet «Varige vegger» kommet med tre foreløpige forslag til endringer i kravene. Endringene går ut på å forenkle valget av dimensjonerende frostmengde som fastsetter tykkelsen på frostsikringslaget, fjerne begrepet maksimal overbygningstykkelse samt å ikke tillate så mye som 15 % finstoff < 63 µm, dvs. litt telefarlige materialer T2, i frostsikringslaget (Aksnes, 2011). De tre forslagene til endring er:

Grunnforhold: En utfordring med dimensjonering av frostsikringslaget slik reglene fremstår i dag, er å velge riktig dimensjonerende frostmengde på bakgrunn av variasjon i grunnforholdene, Figur 18. Det er ofte vanskelig å fastsette variasjonsklasse for grunnforholdene, da informasjonen om grunnforholdene som oftest er begrenset. Dette kan medføre utilstrekkelig frostsikring der grunnforholdene er dårligere enn antatt. På bakgrunn av dette ønsker Statens vegvesen å forbedre reglene. Forslag til forbedring går ut på å gå bort fra inndeling av grunnforhold i variasjonsklasser, og heller la valg av dimensjonerende frostmengde basere seg på følgende:

- $\text{ÅDT} < 12000$ frostsikres for frostmengde F_{10} .
- $\text{ÅDT} \geq 12000$ frostsikres for frostmengde F_{100} .

Fravik fra dette kravet vil da kreve dokumentasjon om at grunnen består av ikke telefarlige masser, T1.

Maksimal overbygningstykkelse: Maksimal overbygningstykkelse vurderes økt fordi frosten enkelte steder viser seg å gå dypere enn maksimumsgrensene, gitt i Figur 18, og på den måten medføre telehiv. Forslag til endring her er å fjerne maksimumsgrensene for å unngå dette problemet. På vegger med store dimensjonerende frostmengder kan nedre del av frostsikringslaget erstattes med isolasjonsmaterialer for å redusere totaltykkelsen på overbygningen.

Materialkrav: Det tillates i dag 15 % finstoff < 63 μm av materiale mindre enn 22,4 mm for sand, grus eller stein til frostsikringslag, dette innebærer at frostsikringslag kan være litt telefarlig, T2. Kravet er gitt i avsnitt «524.1 Sand, grus- og steinmateriale. Materialkvaliteter» s. 291 i Håndbok 018. Kravet foreslås endret til at frostsikringslaget skal kun bestå av ikke telefarlige materialer, T1. Slik dagens krav til forsterkningslaget er.

Grunnen til at vegger med lav ÅDT ikke frostsikres er høye kostnader, og derav manglende lønnsomhet. Beregninger utført av Geir Refsdal (sjefingeniør, SVV) viser derimot at ut i fra samfunnsøkonomiske perspektiv er frostsikring lønnsomt for vegger med ÅDT ned til godt under ÅDT=2000 (Vegdirektoratet, 2011). Her vil kostnadene ved å frostsikre være lavere enn kostnadene ved redusert dekkelevetid, økte driftskostnader og trafikantkostnader dersom frostsikring ikke utføres. Refsdal har ikke tatt med økte drivstoffkostnader og tidskostnader ved kjøring på ujevn veg, men hevder at dersom disse kostnadene blir inkludert kan frostsikring helt ned til ÅDT=1000 være lønnsomt. Statens vegvesens sitt forslag om å frostsikre alle vegger, med unntak av når det er dokumentert ingen telefare, kan derfor forsvares lønnsomhetsmessig for langt flere vegger enn det som frostsikres i dag.

5 Teori om Malvikvegen og Selbuvegen

Det er undersøkt for telehiv på to steder på Malvikvegen, samt utført oppgraving av materiale som er undersøkt videre på et av disse stedene. Materialprøver fra Malvikvegen og Selbuvegen er gravd opp i samarbeid med Mesta Drift AS Trondheim/Malvik våren 2012. I dette kapitlet er områdene undersøkt med tanke på topografi, grunnforhold og frostmengder. Dette vil danne grunnlaget for å vurdere om områdene øker telefaren på vegene.

5.1 Geografisk plassering

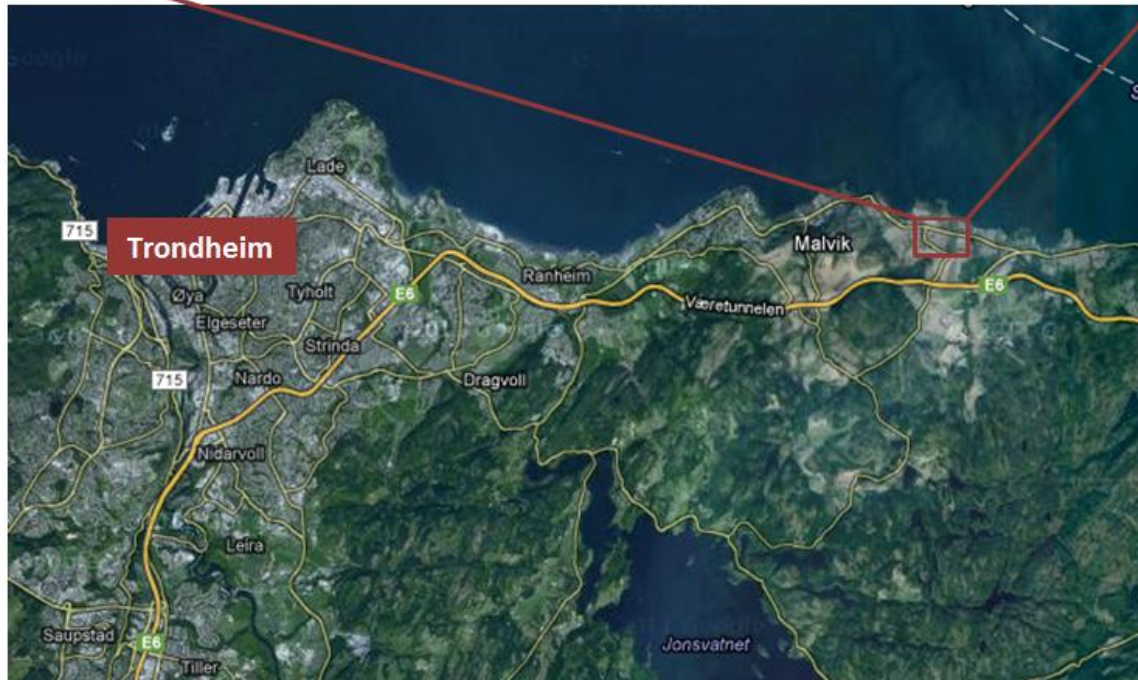
Geografisk plassering av de undersøkte områdene er vist i Figur 22 og Figur 23. Vegnummer, Hp og (omtrentlig) kilometer er gitt i Tabell 8 og Tabell 9. For enkelhetsskyld er de to stedene som er undersøkt på Malvikvegen kalt måleclass 1 og måleclass 2.

Tabell 8 Undersøkt område Malvikvegen:

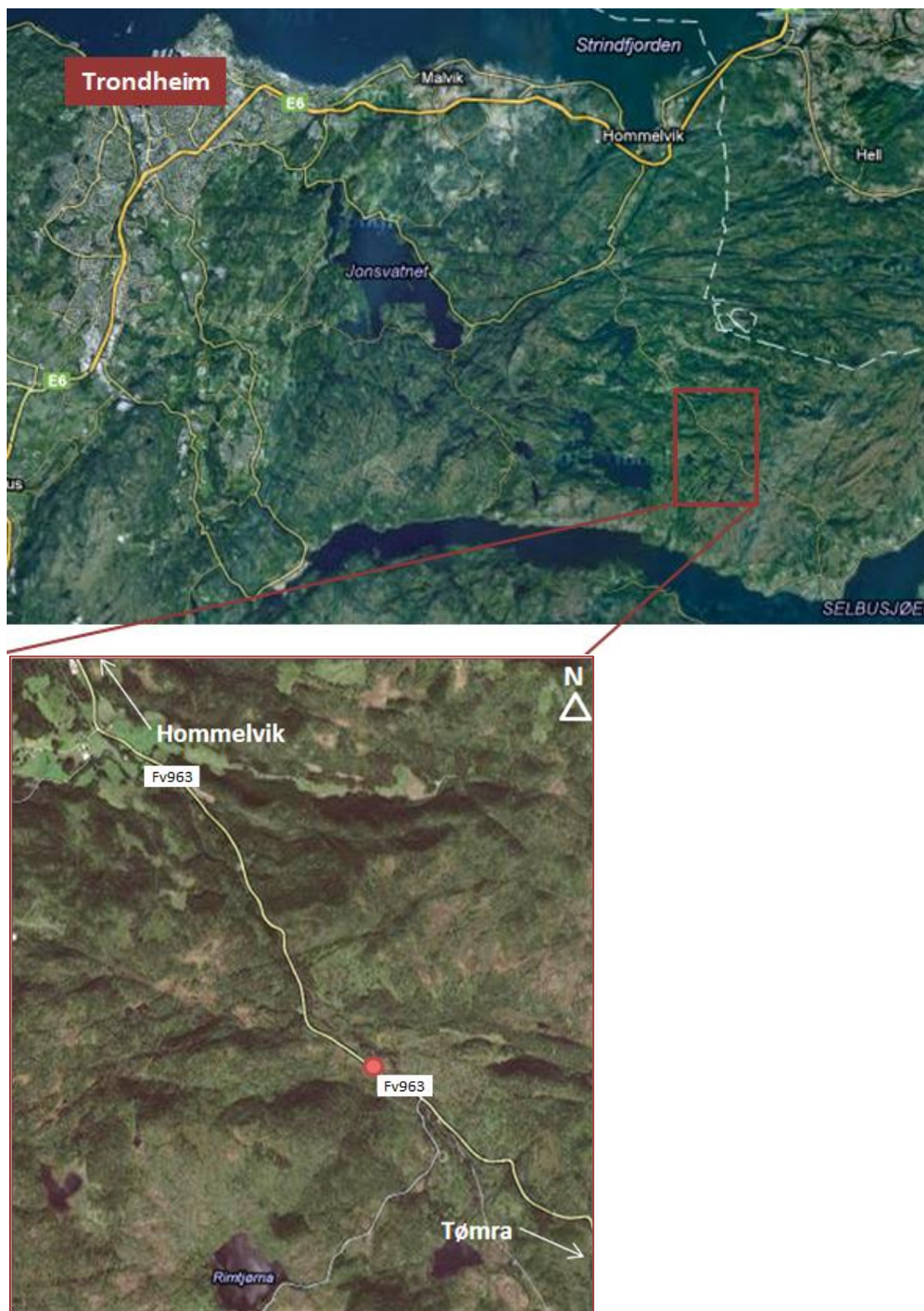
Vegnummer	Hp	Km (cirka)	Navn i oppgave
Fv950	02	5,600	Måleclass 1
Fv950	02	5,850	Måleclass 2

Tabell 9 Undersøkt område Selbuvegen:

Vegnummer	Hp	Km (cirka)
Fv963	01	15,950



Figur 22 Øverst: De to stedene der telehivdannelsen er overvåket på Fv950 Malvikvegen, måleplass 1 og 2 (røde punkter). Utgraving er utført ved måleplass 2. Vegens plassering i forhold til Trondheim nederst, kartgrunnlag fra Google (2012).



Figur 23 Utgravingssted på Fv963 Selbuvegen (markert med rødt punkt). Vegens plassering i forhold til Trondheim øverst, kartgrunnlag fra Google (2012).

5.2 Topografi og grunnforhold

Malvikvegen: Begge de observerte stedene på Malvikvegen har sideliggende områder som skaper mye vanntilslig til vegkroppen. Områdene består av landbruksareal på begge sider av vegen. Området over vegen er vist i Figur 24 og Figur 25. Landbruksareal kan antas å inneholde høyt innhold av organisk materiale og kan derfor bli svært vannrikt. Terrenget heller heller skrått nedover mot vegen (sørside veg), og er tilnærmet horisontalt på siden mot fjorden (nordside veg).



Figur 24 Område sør for måleclass 1.



Figur 25 Område sør for måleclass 2.

Befaring gjennom våren avdekker svært dårlig drenering på vegens sørlige del ved måleclass 2, Figur 26 og Figur 27.



Figur 26 Svært dårlig drenering ved start snøsmelting februar 2012, ved måleplas 2.



Figur 27 Dårlig drenering også senere i smelteperioden, mars 2012, ved måleclass 2.

Området rundt vegen ved måleclass 1 bærer også preg av dårlig drenering på begge sider av vegen, Figur 28 og Figur 29. Det kan derfor antas at vann er tilgjengelig slik at telehiv kan oppstå ved begge måleclassene.



Figur 28 Dårlig drenering slutten av februar ved måleplass 1.



Figur 29 Dårlig drenering på jordet ved vegen slutten av mars ved måleplass 1.

Løsmassekart kan brukes for å kartlegge type løsmasse på sidearealene til vegen. Dette kan si noe om mengden vanntilsig til vegen. Oversikt over type løsmasse i området kan finnes på løsmassekart fra NGU (2012). Kart over området langs undersøkt strekning på Malvikvegen viser at område består av marine strandavsetninger, mens ved befaring ser man at området består av landbruksarealer. Det er derfor trolig at det ligger marine strandavsetninger¹² under landbruksarealene, noe som kan ha påvirkning på vannstrømningen til vegkroppen.

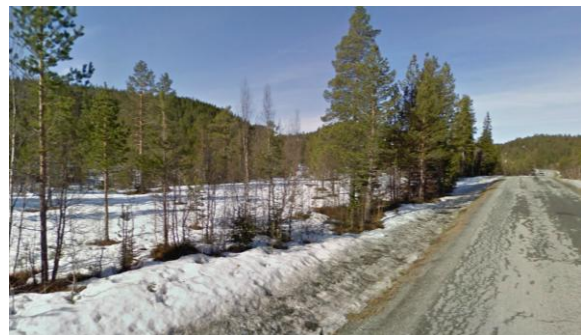
Topografi og grunnforhold oppsummert:

- *Skrått terreng som heller ned mot veg på sørside veg, tilnærmet horisontalt terreng på nordside veg.*
- *Jordbruksareal på begge sider av vegen.*

Selbuvegen: Oppgravingsstedet på Selbuvegen ligger på en horisontal strekning, med horisontalt sideterreng, Figur 30 og Figur 31.



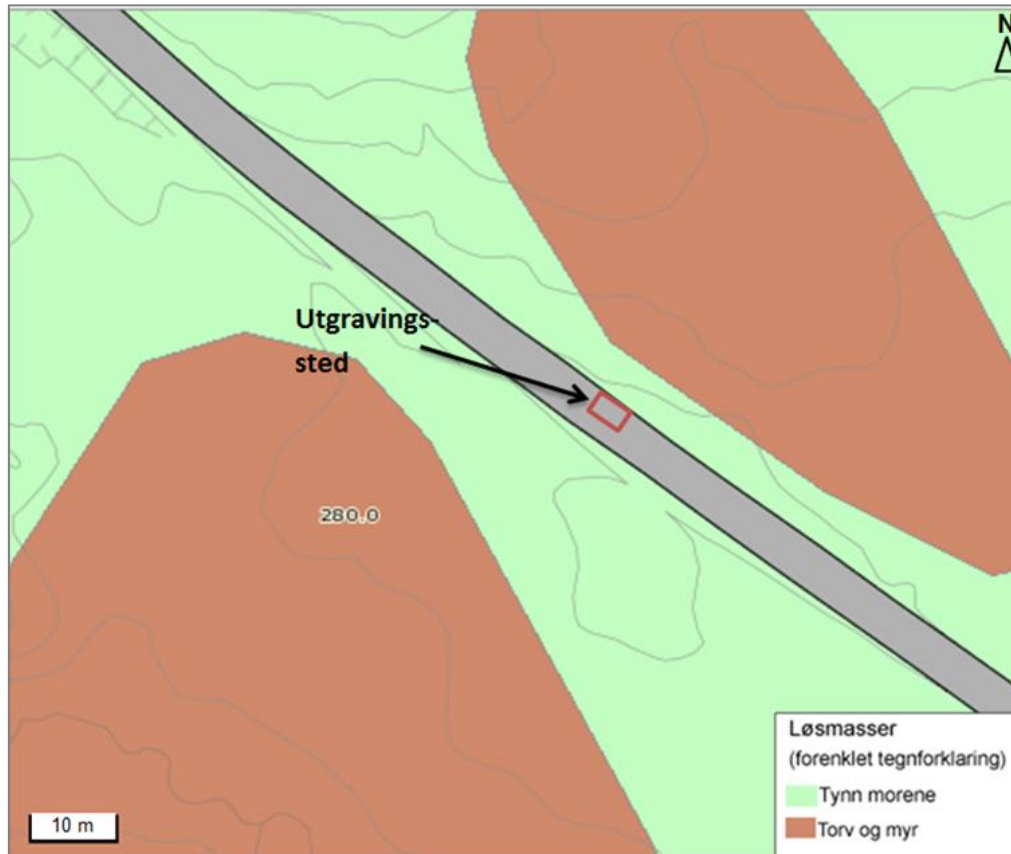
Figur 30 Snødekte, horisontale, myrområder ved siden av vegen på oppgravingssted.



Figur 31 Snødekte, horisontale, myrområder ved siden av vegen på oppgravingssted, motsatt side veg av Figur 30.

¹² Marine strandavsetninger består oftest av sand og grusfraksjonen. Materialet er ofte godt sortert. Strandavsetninger ligger som et forholdsvis tynt dekke over berggrunnen eller over andre avsetninger (NGU, 2012).

Løsmassekart (NGU, 2012) over området rundt oppgravingsstedet på Selbuvegen, Figur 32, viser at området består av noe torv og myr, og noe tynn morene. Torv og myr består av organiske materialer som har lav vanngjennomstrømning og dermed høy grunnvannstand (UiO Biologisk Institutt, 2011). Løsmassekartet stemmer med observasjoner i felt. Både topografi og løsmasseform i området indikerer vannrike områder langs veien.



Figur 32 Område langs oppgravingssted består vekselvis av torv/myr og tynn morene (NGU, 2012).

Topografi og grunnforhold oppsummert:

- Horisontalt terreng, lav avrenning.
- Torv/myr og noe tynn morene i området.

5.3 Frostmengde for Malvikvegen og Selbuvegen

Beregning av frostmengde utføres ved bruk av temperaturdata for siste 30 års periode. Statistisk Gumbel-fordeling benyttes for å beregne frostmengde F_5 og frostmengde F_{10} ¹³.

For å beregne frostmengde på Malvikvegen er døgnmiddeltemperaturer fra målestasjonene Værnes og Kvithamar benyttet. For området på Selbuvegen er døgnmiddeltemperaturer fra målestasjonen Selbu Stubbe benyttet. Temperaturdata er hentet i databasen eKlima (Meteorologisk Institutt, 2012).

5.3.1 Frostmengde Malvikvegen

For beregning av frostmengden på Malvikvegen benyttes altså de to nærmeste målestasjonene i området, Kvithamar og Værnes. Begge disse stasjonene ligger omtrent like langt fra undersøkt område på Malvikvegen, og temperaturen på de to målestasjonene er omtrent like. For å få et bedre estimat ved beregning er likevel data fra begge stasjonene benyttet.

For Værnes er frostmengdeberegningene utført for de siste 30 år, dvs. perioden 1982-2011. Målestasjonen på Kvithamar har kun tilgjengelig fullstendige døgnntemperaturmålinger fra 1996, for denne stasjonen er frostmengdeberegningen derfor basert på de siste 15 års målinger, perioden 1996-2011.

Korreksjon av temperatur på grunn av høydeforskjeller er ikke nødvendig siden Malvikvegen, Værnes og Kvithamar ligger cirka like høyt over havet hhv. 25, 12 og 40 m.o.h. (Meteorologisk Institutt, 2012). Korreksjon for høydeforskjell er, som nevnt i avsnitt 4.1, kun nødvendig når høydeforskjellen er i størrelsesorden hundre meters forskjell eller mer (NTNF og Statens vegvesen, 1976).

Dimensjonerende frostmengde, dersom vegen skulle blitt bygd i dag, er enten frostmengde F_5 eller F_{10} . Dette på bakgrunn av ÅDT=5000 (NVDB, 2012), og på bakgrunn av at grunnforholdene ved utført oppgraving avdekket siltige materialer. Siden det ikke er utført mer enn en oppgraving er det vanskelig å fastslå variasjonsklasse, mellom variasjonsklassene 2 og 3. I denne oppgaven er derfor både F_5 og F_{10} beregnet, for å få et inntrykk av nødvendig tykkelse på overbygningen.

Værnes målestasjon gir frostmengde $F_5=11500$ h°C og $F_{10}=14200$ h°C og Kvithamar målestasjon gir $F_5=11400$ h°C og $F_{10}=13900$ h°C. Frostmengde F_5 og F_{10} på Malvikvegen kan derfor antas å ligge i området $F_5=11400-11500$ h°C og $F_{10}=13900-14200$ h°C. Dette tilsier en overbygningstykkelse på 135 cm ved F_5 og 155 cm ved F_{10} etter Håndbok 018. Tykkelsene gjelder ved bruk av frostsikringslag av sand, grus eller steinmaterialer, Figur 13.

¹³ Utrekningene av frostmengdene er vedlagt i oppgaven, Vedlegg 2.

Frostmengde for området gjennom årets vinter var på bare 4300 h⁰C (vinteren 2011-2012). Fjorårets vinter var derimot frostmengden på hele 14900h⁰C (vinteren 2010-2011), dvs. over F₁₀-frostmengde. Verdiene er beregnet av data fra Kvithamar målestasjon.

5.3.2 Frostmengde Selbuvegen

Ved beregning av frostmengde på Selbuvegen benyttes nærmeste målestasjon, Selbu Stubbe. Denne stasjonen ble opprettet i september 1979 og nedlagt november 2006. Stasjonen Selbu II har vært i drift siden dette, og er den eneste av stasjonene som har temperaturdata fra november 2006 og frem til i dag. Siden Selbu II kun har måledata for de fire siste årene, og de to stasjonene ikke ligger på samme sted vurderes frostmengdene til å bli mer nøyaktig ved å basere beregningene på data kun fra Selbu Stubbe frem til vinteren 2005-2006. Beregningen er dermed basert på en 25 års periode i stedet for en 30 års periode.

Utgravningsområde på Selbuvegen ligger 280 m.o.h. (Mesta Drift, 2012), og målestasjonen Selbu Stubbe ligger 242 m.o.h. (Meterologisk Institutt, 2012). Heller ikke her er det snakk om hundremeters forskjeller i høyde, og det er dermed ikke nødvendig med korreksjon for høyden her heller.

Selbuvegen har ÅDT=300 (NVDB, 2012). Da ÅDT<1500 har vegen ingen krav til frostsikring per dags dato.

Selv om vegen ikke krever frostsikring etter dagens krav er likevel frostmengde F₅ og F₁₀ beregnet for å få et inntrykk av hvor dypt det må frostsikres for å få bukt med telehivproblemene på strekningen. Frostmengder fra stasjonen Selbu Stubbe er beregnet til F₅= 13500 h⁰C og F₁₀= 16200 h⁰C. Dette tilsier en overbygningstykkelse på 150 cm eller 165 cm, avhengig av dimensjoneringsvalg F₅ eller F₁₀. Tykkelsene gjelder ved bruk av frostsikringslag av sand, grus eller steinmaterialer, Figur 13.

Til sammenligning var frostmengden for årets vinter 6900 h⁰C (vinteren 2011-2012), mens fjorårets frostmengde var 20700 h⁰C (vinteren 2010-2011). Dvs. langt over F₁₀-frostmengden. Verdiene er beregnet av data fra målestasjonen Selbu II.

6 Målinger av telehiv i felt

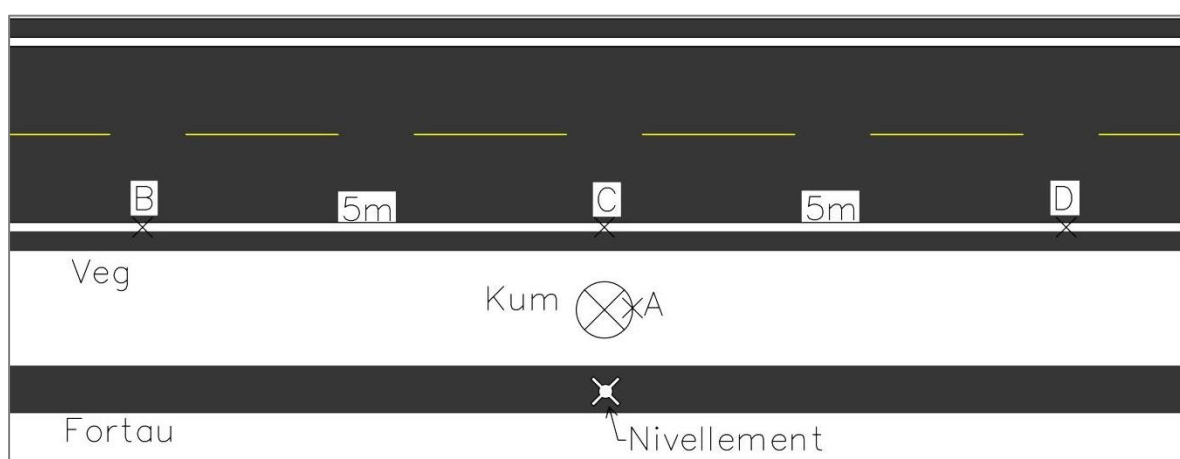
For å måle hvor mye telehiv som skapes i vegen gjennom vinteren er det på Malvikvegen brukt et nivellement (forklart side 41) til å måle høydeendringene. Dette er gjort på to ulike steder der det i forkant var forventet telehiv. Punktene plassering er vist i Figur 22. Telehiv var forventet basert på tidligere års erfaringer fra stedet (Hoff, 2012) (Statens vegvesen, 2012). De to måleplassene er også undersøkt med georadar for å kartlegge eventuelle islinser, telefronten og for å få en oversikt over hvilke materialer som befinner seg under de to måleplassene.

6.1 Målinger av telehiv over tid

I dette avsnittet er nivellementmålingene forklart og resultatene tolket.

6.1.1 Om målingene

Målinger er utført i perioden mellom 8.februar og 7.mai. Masteroppgavestart var ikke før slutten av januar, så første halvdel av vinteren ble ikke registrert i målingene. Skisse over hvordan målepunktene ligger på de to måleplassene er vist i Figur 33 og Figur 34, punktene ligger tilsvarende i forhold til hverandre på de to måleplassene. Høyder er målt i punkt A, B, C og D. Det er forventet telehiv i punkt B og D. Det er ikke forventet telehiv i punkt C, fordi det ligger et annet ikke-telefarlig pukkmateriale i grunnen her. Materialet ble etterfylt ved plassering av stikkrenne under vegen. Dette gjelder for begge målestedene og kan sees på radargram fra georadarmåling, Figur 45 til Figur 50. Når man kjører over området vinterstid kan det merkes et lite søkk i vegen ved punkt C, fordi «manglende» telehiv gjør at vegen er lavere her enn resten av vegstrekningen. Kumlokket, punkt A, er valgt som fastpunkt ved målingene, og antas å ha konstant høyde gjennom vinteren. Alle punkter ble markert med maling for å sikre at målingene ble utført på samme sted hver gang. Målingene er utført cirka hver tiende dag for å kontrollere telehivutviklingen over tid.



Figur 33 Måleplass 1: Høyder målt i punkt B, C og D, samt i A for referansemål. Måleplass 2 er tilsvarende, men med 10 m mellom B og C, og mellom C og D.



Figur 34 Måleclass 1, tilsvarende med måleclass 2.

En masseutskifting i forbindelse med en stikkrenne høsten 2011 (punkt C, måleclass 2), se Figur 35, er grunnen til at målepunkt B og D er 10 meter fra punkt C. Avstanden skal sikre at punkt B og D måles over telefarlige masser, mens punkt C måles over ikke telefarlige masser. Ved måleclass 1 er masseutskiftingene mindre, og det antas derfor at 5 meter fra målepunkt B og D til punkt C er tilstrekkelig.



Figur 35 Reasfaltert område etter utbedring av stikkrenne, Måleclass 2.

Fordelen med målemetoden er at den er enkel å utføre, sammenlignet med for eksempel målinger av telehiv med georadar. Georadar krever mer opplæring både i bruk av utstyr og i

tolkning av resultater. Svakheten ved nivellement er at siden målingene går ut på å registrere såpass små endringer, kan feil som at det ligger et gruskorn under målestaven eller at målestaven holdes litt skeivt slå ut på resultatene. Endringer på rundt 1 cm kan derfor være vanskelig å få med ved nivellementmåling. Nøyaktigheten til georadaren avhenger av materialene som undersøkes. Nøyaktigheten ligger vanligvis mellom 90-98 % (Lalagüe og Hoff, 2010).

Nivellement er en kikkert som kan stilles i vater horisontalt og på denne måten brukes til å måle relativ høydeavstand mellom ulike punkter, se bilde i Figur 36. Dette gjøres ved å lese av høyden til et punkt ved å se i nivellementet på en målestav som står på undersøkelsespunktet. Ved at man har et fast punkt som ikke beveger seg, for eksempel fast fjell, kumlokk, eller lignende, kan man undersøke høydeendring ved å gjøre målinger over tid av høyden til det faste punktet og et «bevegelig punkt», f.eks. på veg med telehiv (History of Geodesy, 2011). Endringen i høyde mellom de to punktene utgjør høydeendring i det bevegelige punktet.



Figur 36 Nivellement ved Malvikvegen.

6.1.2 Resultater fra nivellering

Registreringen av endring i høyde for målepunktene er illustrert i grafene i Figur 37 til Figur 42. Høydeendringen er plottet sammen med døgnmiddeltemperaturer fra Kvithamar i den aktuelle perioden. Rådataene er gjengitt i Vedlegg 3. Totalt sett er det mer telehiv i punktene på måleplass 2, enn måleplass 1. Kommentarer til de ulike målingene er gitt i Tabell 10.

Tabell 10 Kommentarer til målinger med nivellement

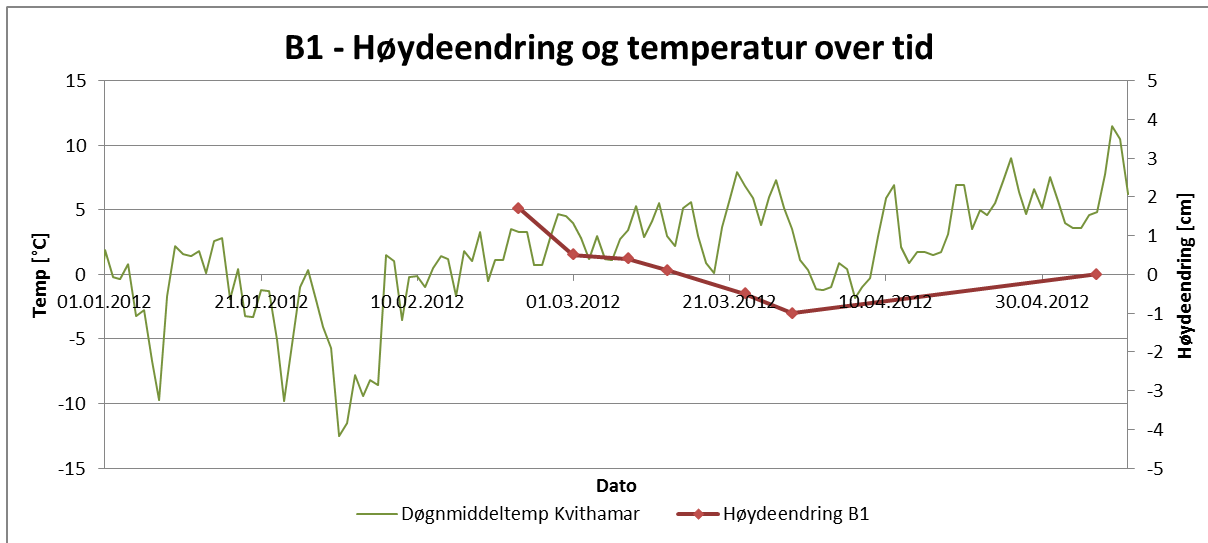
Målinger med nivellement	
Målepunkt	Kommentar
Måleplass 1	
B1	I følge grafen var det cirka 2 cm telehiv under punkt B1 ved starten av målingene, Figur 37. Telehivet startet å gå tilbake etter første måling eller eventuelt litt før målingene startet. All telehiv var borte i slutten av mars. Dette kan stemme bra med temperaturutviklingen, da middeltemperaturen gikk over til plussgrader i perioden før telehivet forsvant. Siden lufttemperaturen stiger før temperaturen i jorda begynner å stige går det litt tid fra frosten i lufta forsvinner til telehivet synker tilbake. I følge målingene har telehivet steget igjen før siste måling i starten av mai, dette er lite trolig da det ikke har vært nevneverdig frost i denne perioden. Forklaringen kan være usikkerheten i målemetoden.
C1	Under punkt C1 forventes ikke telehiv på grunn av at materialet i grunnen er erstattet med pukk i dette området i forbindelse med nedgravning av stikkrenne under vegen. Dette kan også sees i radargram fra georadarmålingene på stedet, se avsnitt 6.2. Vinteren 2011 var det hiv i området rundt dette punktet, mens området selv ble liggende i ro. Det er ikke store høydeforskjellene i dette punktet, Figur 38, de små variasjonene som er der kommer mest trolig som følge av usikkerheten i målemetoden.
D1	Punktet D1 viser omtrent samme utvikling som punkt B1, Figur 39. <i>Måling fra 8.mars er fjernet fra denne grafen grunnet trolig målefeil.</i>
Måleplass 2	
B2	I følge grafen har det vært telehiv i punkt B2 i starten av måleperioden, Figur 40. Det er mer telehiv her enn for de to målepunktene B1 og D1. At punktet ender under 0 cm på grafen kommer trolig av at man ikke fikk målt nullpunktet før telehiv startet på høsten. Punktet er der oppgraving ble utført 13. mars, se kap.7. Det ble derfor kun registret målinger frem til oppgravingsdato på dette punktet.
C2	Under punkt C2 forventes det heller ikke telehiv, på grunn av pukkmateriale i grunnen, se radargram for området Figur 48. Grafen til dette punktet, Figur 41, viser ikke telehiv. Punktet ser ut til å ha sunket i underkant at to centimeter for så å stige igjen og bli liggende i ro. Denne endringen er vanskelig å forklare, og det mest nærliggende å tro at det skyldes usikkerhet

i målemetoden.

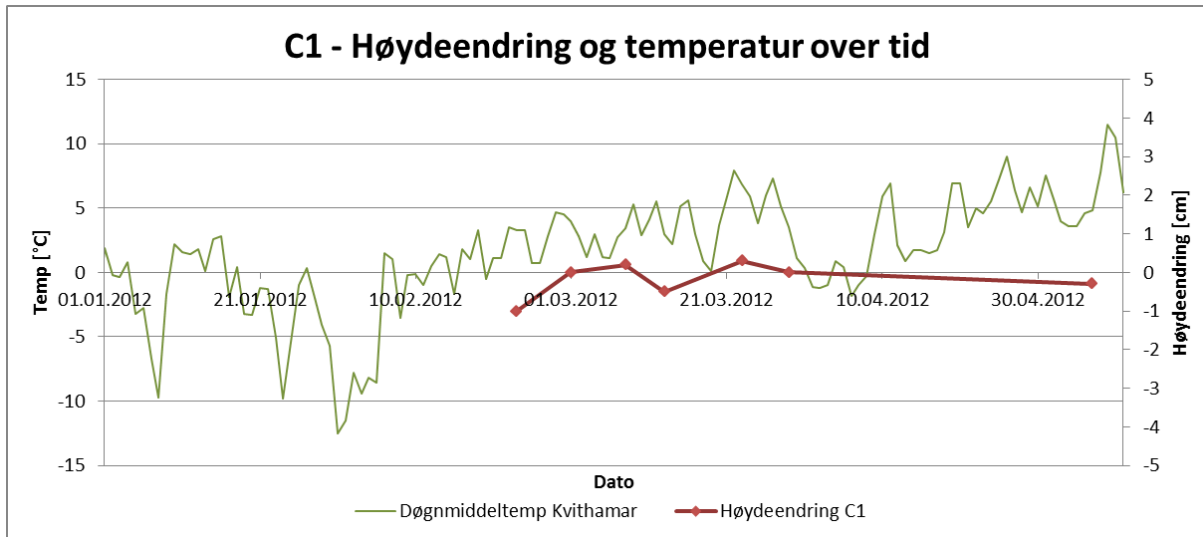
Måling fra 1.mars er fjernet fra denne grafen grunnet trolig målefeil.

D2 Punkt D2 er punktet med mest telehiv blant de undersøkte, Figur 42. Omtrent 5 cm i starten av måleperioden. Telehivet forsvinner i samme periode som den forsvinner i de andre punktene med telehiv. Hvorfor det er mer telehiv ved måleplass 2 enn ved måleplass 1 er vanskelig å svare på uten utføring av oppgraving på begge de to stedene. Kun måleplass 2 er oppgravd i denne oppgaven.

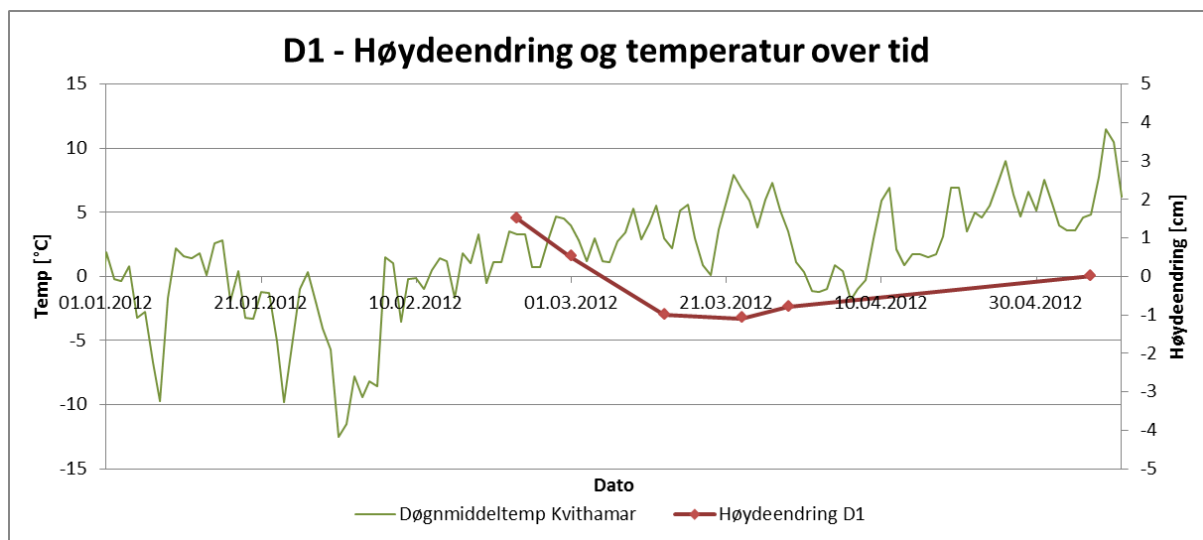
Måleclass 1



Figur 37 Telehivutvikling gjennom vinter/vår 2012 i punkt B1

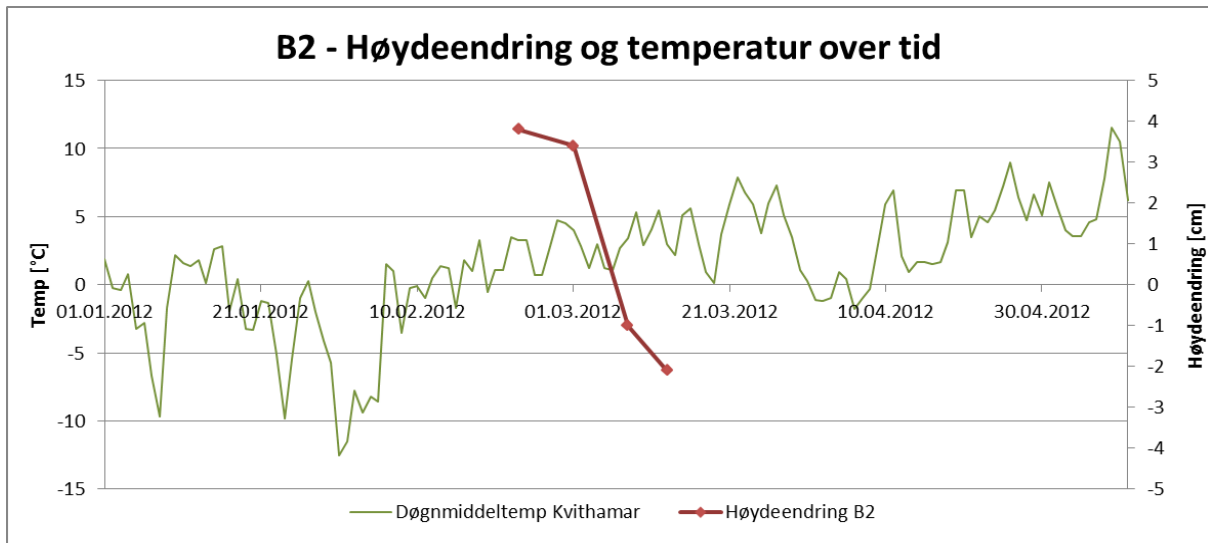


Figur 38 Høydeutvikling gjennom vinter/vår 2012 i punkt C1.

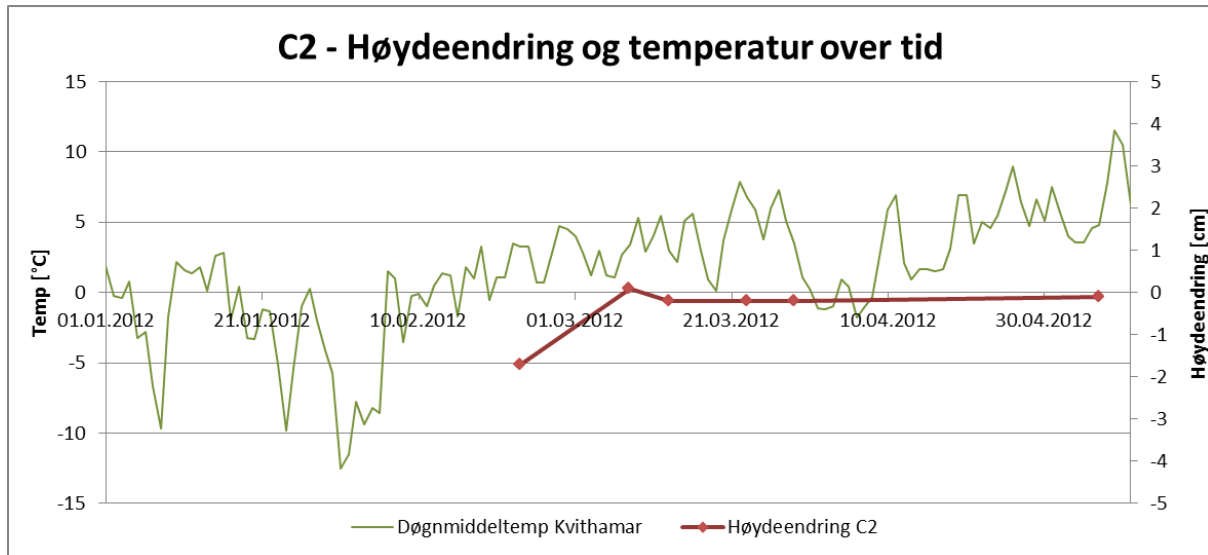


Figur 39 Telehivutvikling gjennom vinter/vår 2012 i punkt D1.

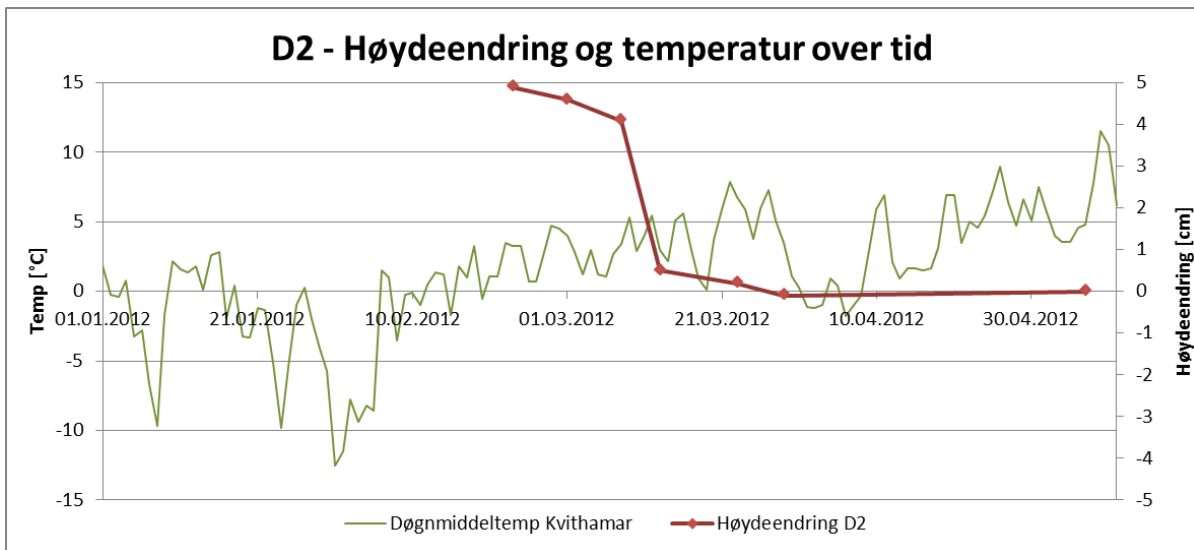
Måleclass 2



Figur 40 Telehivutvikling gjennom vinter/vår 2012 i punkt B2.



Figur 41 Høydeutvikling gjennom vinter/vår 2012 i punkt C2.



Figur 42 Telehivutvikling gjennom vinter/vår 2012 i punkt D2.

6.2 Måling med georadar

I dette avsnittet er georadarmålingene beskrevet og resultatene tolket.

6.2.1 Om georadarmålinger

Georadar er brukt til å kartlegge telefronten, eventuelle islinser og for å få et overblikk over materialtypen i grunnen på de to stedene på Malvikvegen, Figur 43. Strekningen har også blitt undersøkt med georadar to ganger tidligere, sommer 2010 og vinter 2011, av Anna Lalagüe fra SINTEF/NTNU. Resultat fra disse målingene er tatt med for å se etter eventuelle forskjeller fra årets målinger. Georadarmålinger ble utført 13.mars 2012, dagen før

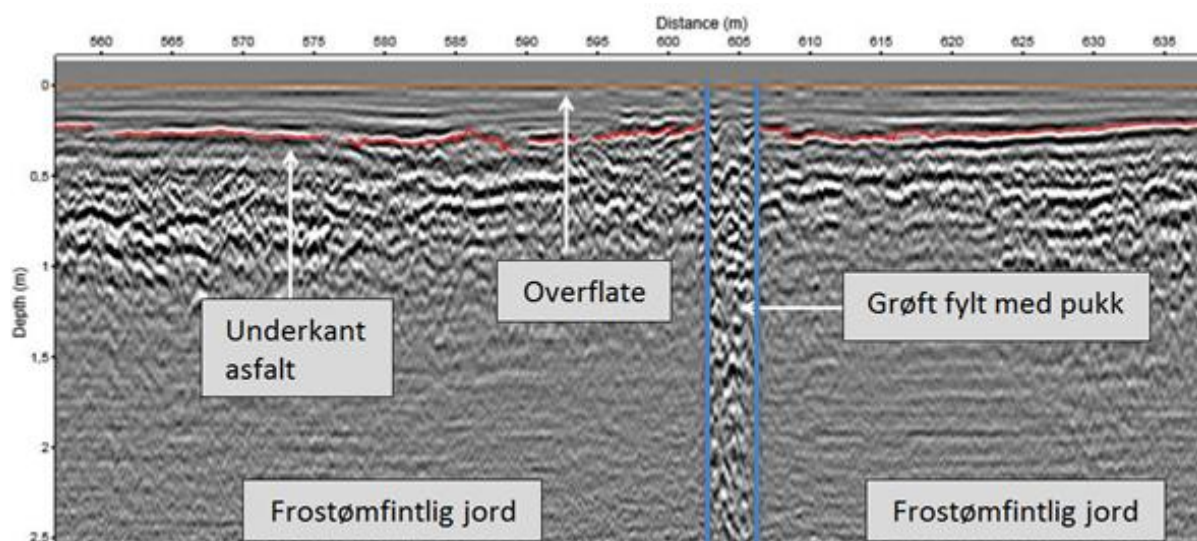


Figur 43 Bilde av georadar ved Malvikvegen.

oppgravingsarbeidet ble utført på måleplass 2. Radargrammene i Figur 45 til Figur 50 er fra midten av veien.

På radargrammene, Figur 45 til Figur 50, vises området der det er plassert nye stikkrenner mellom to blå linjer. Etter at stikkrenne ble nedgravd ble det altså etterfylt med et mer grovkornet pukkaktig materiale i dette området. Radargrammet viser derfor større partikler mellom disse blå linjene enn under resten av vegstrekningen. Siden pukk materialet ikke er telefarlig, er det ikke dannet telehiv der dette materialet ligger. I grunnen under resten av vegstrekningen ser man et finkornet telefarlig materiale på radargrammene. (Lalagüe, 2012).

Radargrammet i Figur 44 viser forklaring over komponenter som finnes på alle de ulike radargrammene i Figur 45 til Figur 50: hvor overflate og underkant asfalt ligger, hvor det er finkornet frostømfintlig jord, samt hvor grøften fylt med pukk er.



Figur 44 Forklaring over hvor overflate og underkant asfalt, frostømfintlig jord og grøft fylt med pukk er (Lalagüe, 2012).

Georadar er en ikke-destruktiv målemetode for kartlegging av grunnen nedover eller innover i et område f.eks. veger, tunnelvegger, broer og andre bygninger. Georadaren sender elektromagnetiske bølger nedover/innover i undersøkelsesområdet. Når bølgene treffer et annet materiale vil det sendes en ekko-bølge tilbake til radaren, denne refleksjonsbølgen oppstår på grunn av ulik dielektrisitet i det neste materialet enn i det forrige. Ved at man vet bølgelengden til ekkoet for ulike materialer, kan man detektere hvilke materialer som befinner seg i grunnen. Tidsforskjellen mellom ekkoene bestemmer hvor tykke de ulike lagene er (Lalagüe og Hoff, 2010). De ulike ekko-bølgene danner et radargram over de ulike lagene som befinner seg i det undersøkte området (Daniels, 2004). Hastigheten man kjører i med georadaren avgjør hvor stor bredde av vegen som registreres, da bølgene sendes ut i serie fra georadaren. Ved målinger med maksfart 3 km/h kan hele georadarens bredde benyttes til å sende ut bølger, og dermed registreres grunnen under 2 meters bredde. Registrerte data kan dermed settes sammen og danne et bilde av vegens tverrprofil. Ved maksfart 30 km/h brukes cirka 30 cm av georadarens bredde, og dermed blir bare grunnen under en bredde på 30 cm registrert (Lalagüe, 2012).

I forbindelse med telehivkartlegging kan georadar brukes til å kartlegge islinser i grunnen, plasseringen til frysefronten, samt tykkelse på overbygningen for å kontrollere om det er tilstrekkelig i forhold til teledybden og frostmengden i området.

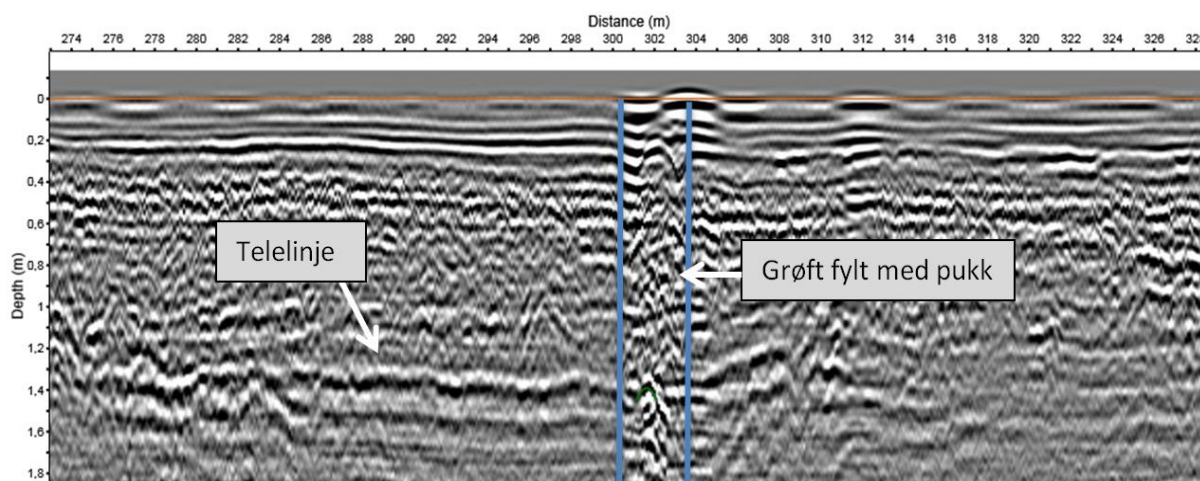
6.2.2 Resultater fra georadarmålinger

Radargram fra georadarmålingene er vist i Figur 45 til Figur 50, kommentarer til målingene er gitt i Tabell 11.

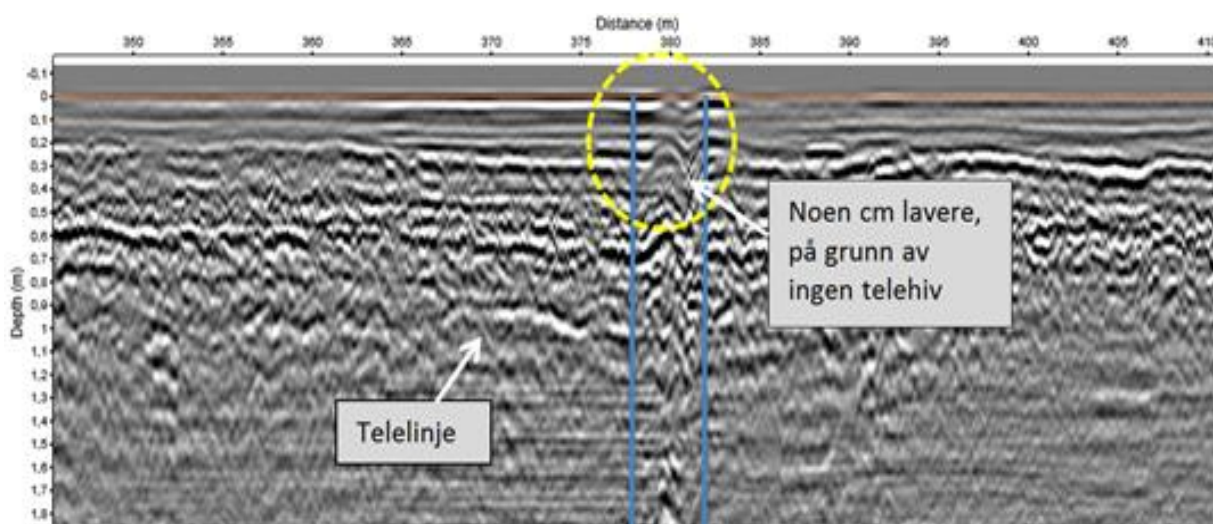
Tabell 11 Kommentarer til georadarmålinger:

Georadarmålinger	
Sted/tid	Kommentar:
<i>Måleplass 1:</i>	
Vinter 2011-12	Telelinjen ligger cirka 1,3-1,4m under måleplass 1, Figur 45. Telelinjen går i dette området litt dypere enn i fjor. Dette var ikke forventet fordi frostmengden var såpass mye høyere i fjorårets vinter ($F=14900 \text{ h}^0\text{C}$) enn årets vinter ($F=4300 \text{ h}^0\text{C}$), se avsnitt 5.3.1.
Vinter 2010-11	Telelinjen lå cirka 1,0-1,1m under måleplass 1 vinteren 2011, Figur 46. Dette er 0,5m grunnere enn ved måleplass 2 for vinteren 2011, Figur 49, noe som viser at frostdybden ikke bare avhenger av frostmengden: Topografien er tilsvarende på de to måleplassene, og siden plassene ligger såpass nærme er det lite trolig at frostmengden er særlig forskjellig. Den såpass store forskjellen i frostdybde skyldes derfor mest sannsynlig forskjeller i grunnen de to stedene. Dersom det var gjennomstrømmende vann i stikkrenne under måleplass 1, men ikke i stikkrenne under måleplass 2, kan det være med på å redusere frostnedtrengningen, samt starte tining fra undersiden. Dette kan likevel ikke forklare hvorfor telelinjen ligger høyere i hele radargrammet, da radargrammet viser grunnen over en strekning på 60 meter. Dersom vanninnholdet i grunnen er høyere ved måleplass 1 enn måleplass 2, vil dette føre til at frosten trenger grunnere ned ved måleplass 1 på grunn av frigjort energi ved faseovergangen vann til is. Andre forhold som kan være årsaken er forskjeller i kornfordeling og mineralogi, dette kan gi ulik varmeledningsevne. Radargrammet viser finkornet materiale på begge steder, men oppgraving er kun utført på et av de to stedene, så dette er vanskelig å besvare uten oppgraving. Radargrammet viser for øvrig at det er mindre islinsedannelser her enn under måleplass 2 (Lalagüe, 2012).
Sommer 2010	Det er som forventet ingen telelinje på radargrammet fra sommer 2010, Figur 47.
<i>Måleplass 2:</i>	
Vinter 2011-12	Radargrammet viser at det ikke lenger var frost i grunnen under måleplass 2 på tidspunktet for målingen, Figur 48.
Vinter 2010-11	Telelinjen gikk dypt nede under måleplass 2 vinteren 2011, Figur 49, cirka 1,6-1,7m dypt. At telelinjen gikk såpass dypt på måleplass 2 i fjor, sammenlignet med ingen telelinje i år er ikke overraskende dersom man ser på frostmengdene de to vintrene, som altså var svært høy i fjor, og lav i år. Radargrammet viser islinsedannelser i grunnen, og at overflaten har hevet 10-15cm høyere i området over finkornet jord, mens området med pukkmaterialet ligger lavere på grunn av at det ikke er islinser i grunnen i pukken.
Sommer 2010	Det er som forventet ingen telelinje på radargrammet fra sommer 2010, Figur 50.

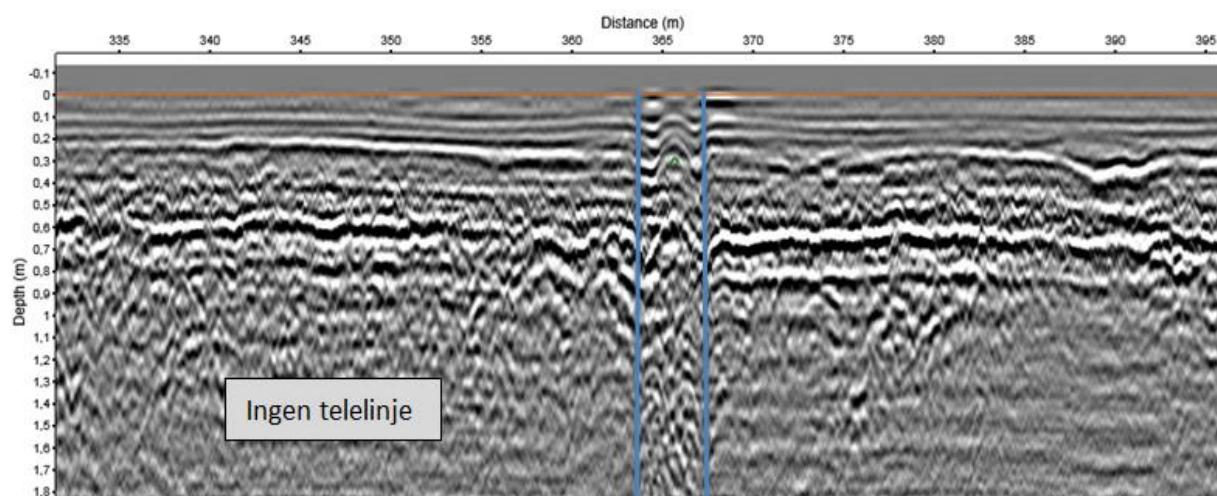
Måleclass 1



Figur 45 Radargram fra måling vinter 2012 ved måleclass 1, synlig telelinje.

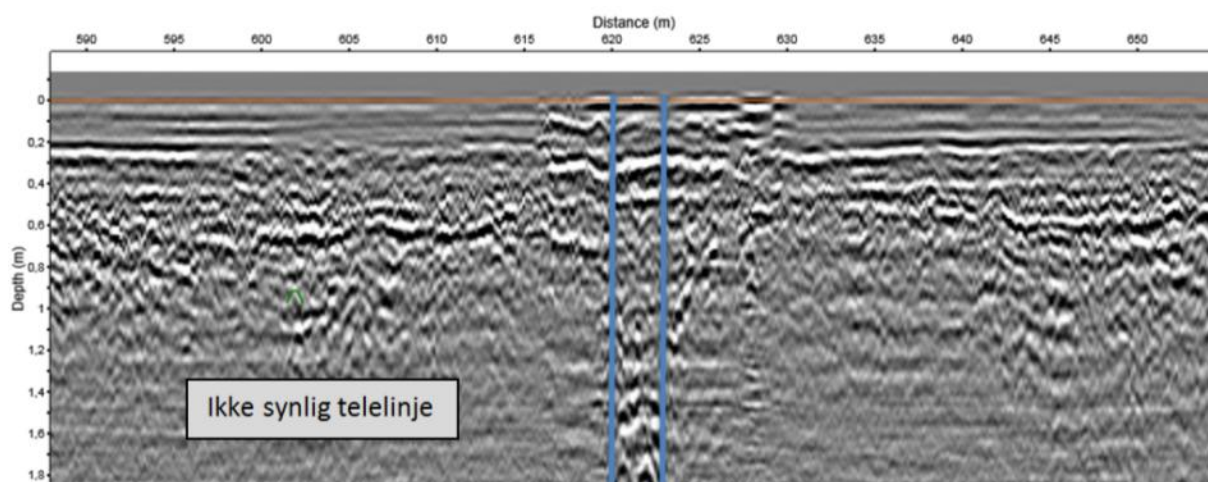


Figur 46 Radargram fra måling vinter 2011 ved måleclass 1, synlig telelinje.

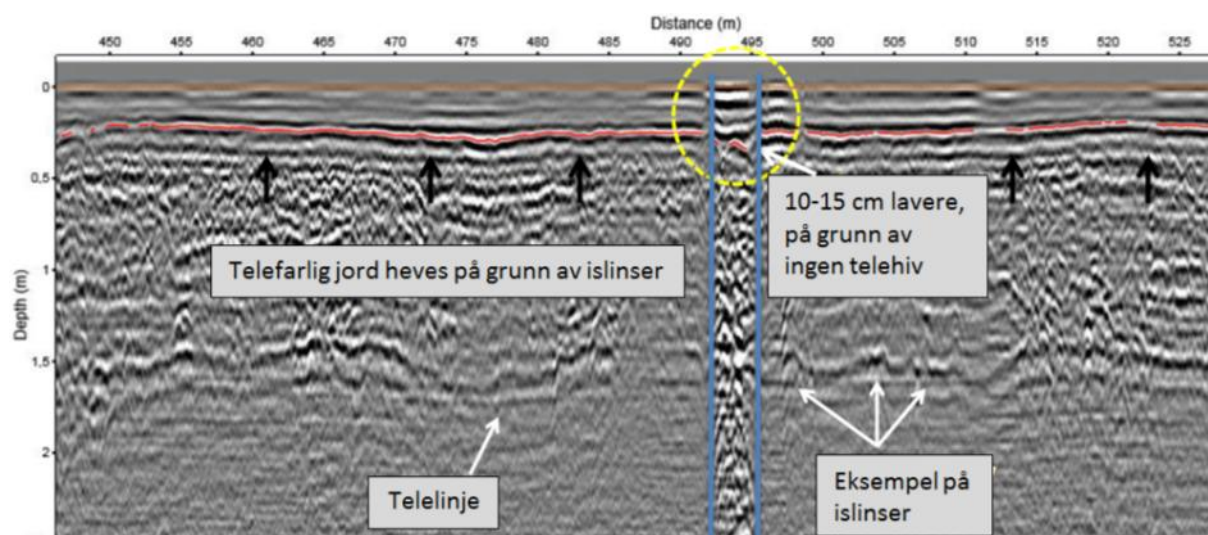


Figur 47 Radargram fra måling sommer 2010 ved måleclass 1, ingen telelinje.

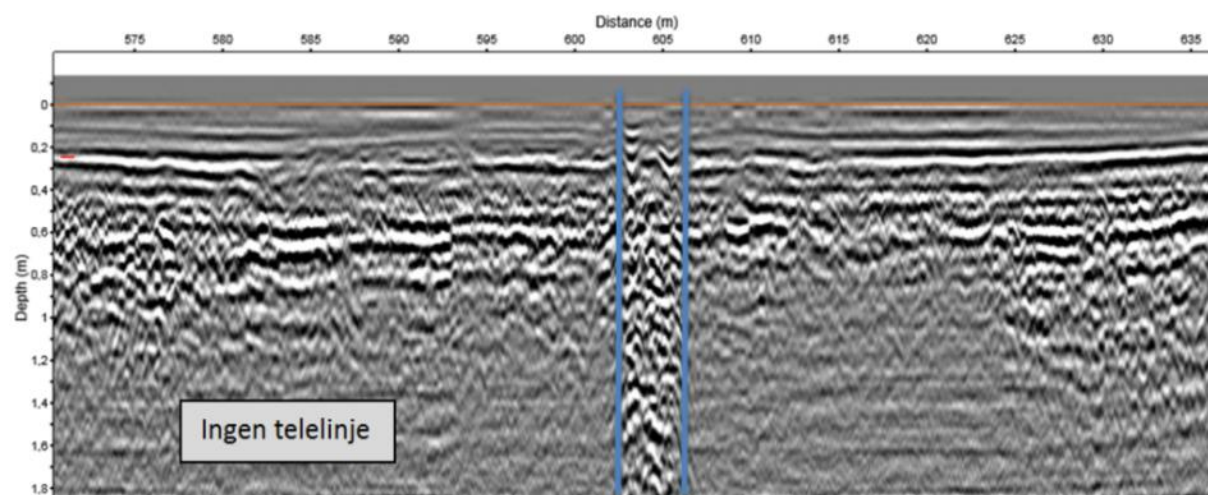
Målepass 2



Figur 48 Radargram fra måling vinter 2012 ved målepass 2, telelinje ikke synlig.



Figur 49 Radargram fra måling vinter 2010-11 ved målepass 2, telelinje synlig.



Figur 50 Radargram fra måling sommer 2010 ved målepass 2, ingen telelinje.

7 Oppgravinger

I dette kapittelet er oppgravningene beskrevet.

Oppgraving av materialprøver til undersøkelse i laboratoriet ble utført på Malvikvegen 14. mars og på Selbuvegen 21. mars. På Malvikvegen ble ett av punktene med størst registrert telehiv vinteren 2012 valgt som oppgravingssted, punkt B2. På Selbuvegen ble oppgravingssted valgt på bakgrunn av anbefalinger fra Gunnar Olav Renå i Mesta Drift.

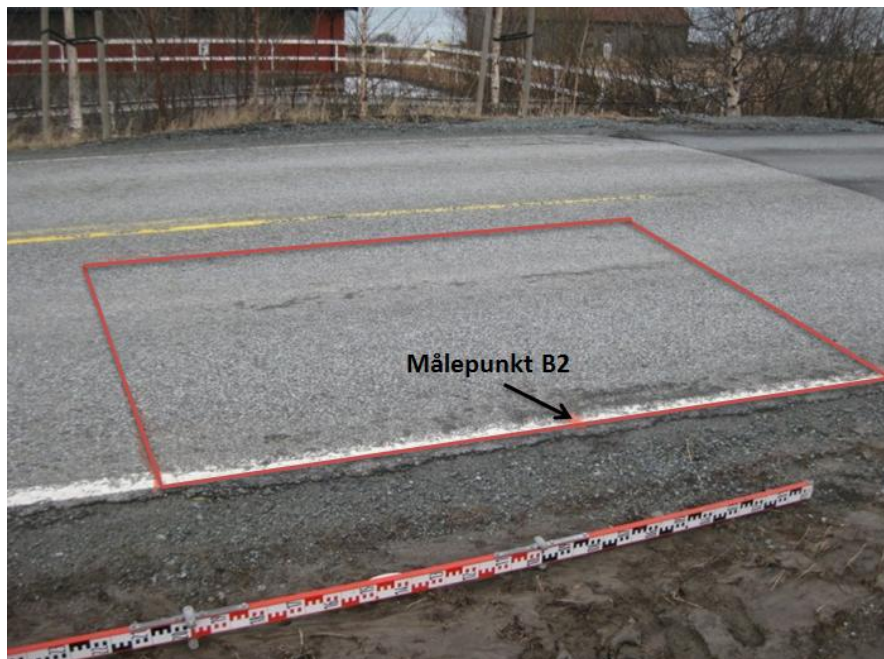
7.1 Malvikvegen

Det ble tatt ut prøver fra fire ulike dybder ved utgraving. Temperaturen ble også målt i alle dybdene ved hjelp av et VWR® Traceable Digital Termometer med $\pm 0,05^{\circ}\text{C}$ nøyaktighet. Det viste seg at temperaturen ikke var under 0°C nedover i grunnen, Figur 58. Islinsene var altså alt smeltet.

7.1.1 Bilder fra oppgraving

Billedokumentasjon fra oppgravingen onsdag 14.mars 2012 er vist i Figur 51 til Figur 57.

Avgrensning til oppgravingsområdet på Malvikvegen er vist i Figur 51.



Figur 51 Markering av oppgravingsområdet (røde linjer), rundt målepunkt B2.

Bilde fra fjerning av asfaltdekke, Figur 52 og Figur 53.



Figur 52 Asfalten sages opp for å kunne fjernes med gravemaskin.



Figur 53 Bilde fra start oppgraving, asfalt fjernes.

Materiale fjernes lag for lag slik at det kan tas ut prøver fra ulike dybder, Figur 54 og Figur 55. For hvert prøveuttak blir temperaturen målt og dybden nivellert.



Figur 54 Lagvis fjerning av materiale.



Figur 55 Materialet går over i et mer siltig/leirig utseende.

Tverrsnitt av materialene i gropa viser en klar lagdeling, Figur 56. Dersom materialene i de ulike lagene er telefarlige, vil lagdelingen i seg selv, som nevnt i avsnitt 2.5, øke telefaren.



Figur 56 Lagdelingen nedover i gropa.

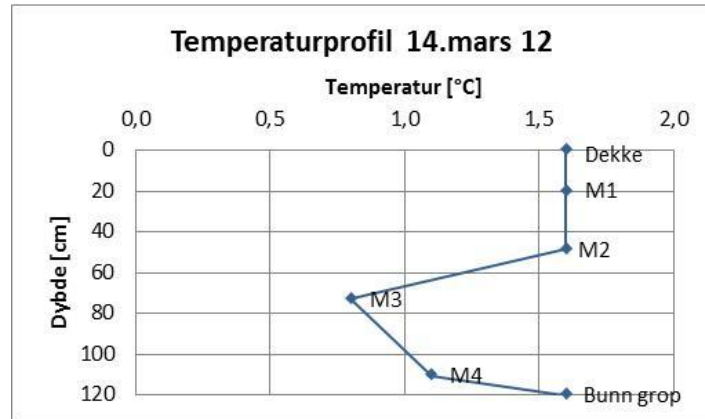
Undergrunnen går over i marin leire i bunnen av gropa Figur 57. Her var temperaturen begynt å stige igjen, og dermed ingen håp om å finne frost i jorda. Leirlaget fortsetter trolig under landbruksområdene ved siden av vegen også. Leire utgjør, som nevnt tidligere, et lite permeabelt lag som hindrer vannet i å sige dypere ned i grunnen.



Figur 57 Bunnen av oppgravingsgrop.

7.1.2 Temperaturprofil

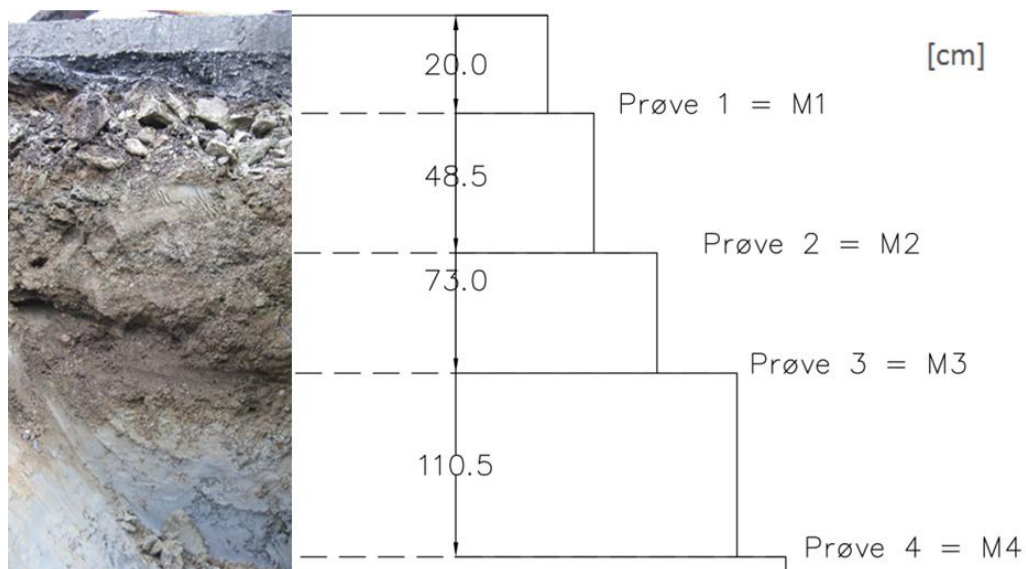
Temperaturen ble målt ved prøveuttak, i asfaltdekket og i bunn av gropa. Nedover i utgravningsgrop på Malvikvegen viste seg aldri å gå under 0°C, Figur 58. Det var derfor ikke mulig å finne islinser på utgravingstidspunktet.



Figur 58 Temperaturutvikling nedover i grop viser at teleperioden er over.

7.1.3 Dybder for prøveuttak

Dybder for uttak av prøvene i utgravingsgrop, prøve 1-4, samt foto av lagene prøvene er tatt fra, er vist i Figur 59. Det er tydelige lagdelinger i grunnen, som er ugunstig med tanke på telehiv.



Figur 59 Dybder prøveuttak Malvikvegen.

7.2 Selbuvegen

Undersøkt område på Selbuvegen er valgt fordi området ligger på en strekning med tydelige telehivskader, Figur 60. Siden plasseringen ligger 280 m.o.h. var ikke teleløsningen kommet like langt her ved oppgravingstidspunktet, og mulighetene for å finne islinser var dermed større enn for Malvikvegen. Det ble tatt ut prøvematerialer i fem ulike høyder, i disse høydene ble temperaturen målt for å ha kontroll på hvor det gikk over til minusgrader.



Figur 60 Tydelige telehivskader på vegen (Google, 2012).

7.2.1 Bilder fra oppgraving

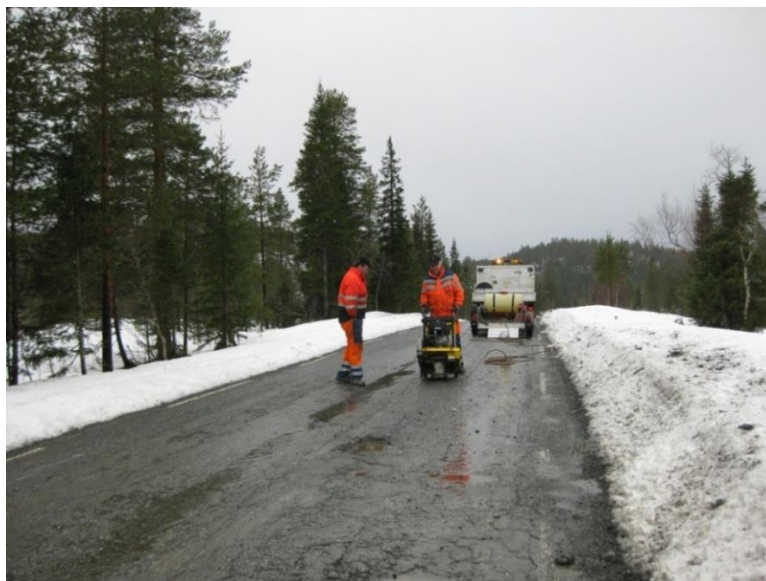
Oppgraving ble utført onsdag 21.mars 2012. Billedokumentasjon fra oppgravingen er vist i Figur 61 til Figur 67.

Avgrensning for oppgravingsområde er vist i Figur 61.



Figur 61 Markering av oppgravingsområdet.

Bilde fra saging av asfalt, før oppgraving, Figur 62, bildet viser tydelige telehivskader på vegoverflaten.



Figur 62 Tydelige telehivskader på vegoverflaten.

Lagvis oppgraving av materialprøver, Figur 63.



Figur 63 Oppgraving skjer lagvis slik at prøver kan tas fra ulike dybder.

På Selbuvegen var det som forventet fremdeles frost i grunnen ved oppgraving, Figur 64.



Figur 64 Temperaturmåling

Som ved oppgraving på Malvikvegen ser man også her en lagdelt struktur i grunnen. Lagdelingen er svært tydelig, Figur 65.



Figur 65 Tydelig lagdelt struktur i grunnen som kan øke telefaren.

I området der det fremdeles var minusgrader i grunnen ble det gjort funn av lag med mange små islinser, Figur 66. Islinsene var små i størrelse: cirka 2-4 mm tykke og med varierende lengde cirka 2-10 cm. Antallet islinser var derimot høyt slik at totaltykkelsen til islinsene er stor nok til å skape telehiv på toppen av veggen. Mange lag med tynne islinser indikerer jevn frostnedtrengning, frysefronten har ikke stått lenge i ro på samme sted.



Figur 66 Islinsedannelser

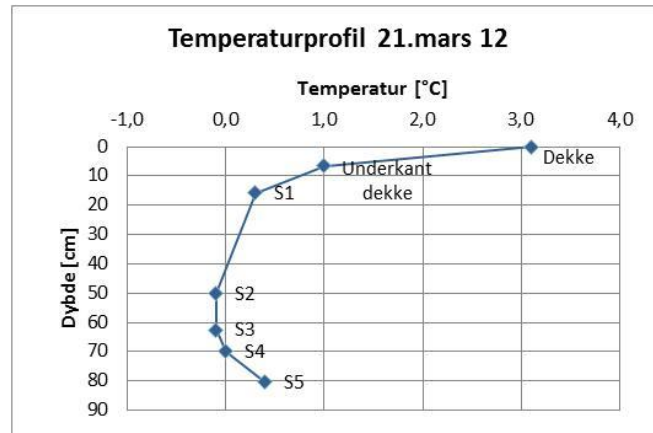
Visuell inspeksjon av bunnlaget tilsier et materiale med høyt innhold av organisk materiale, Figur 67. Her var temperaturen steget til plussgrader.



Figur 67 Organisk materiale i bunn av grop.

7.2.2 Temperaturprofil

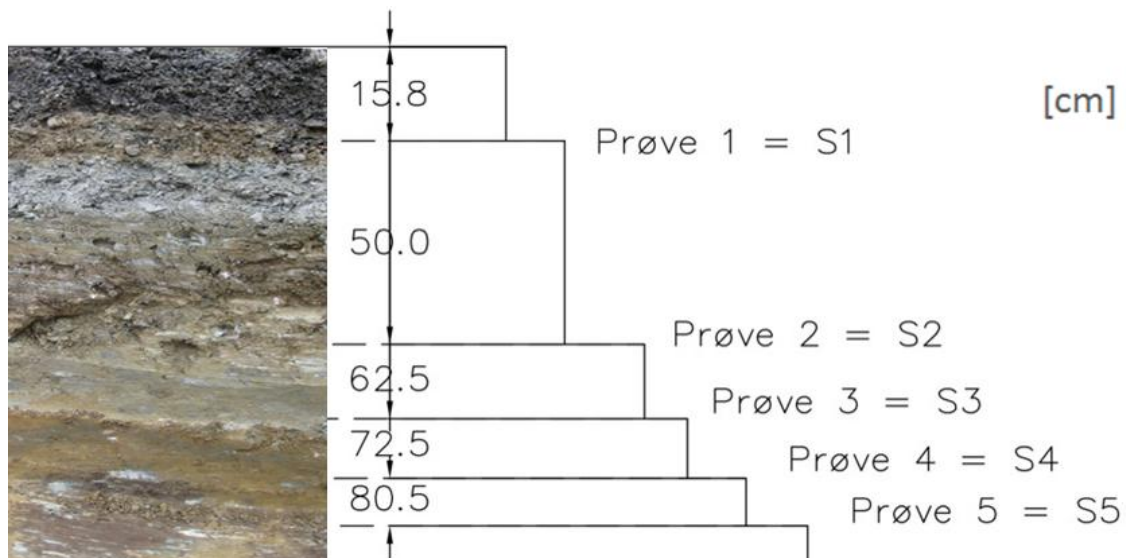
Temperaturen nedover i utgravingsgrop på Selbuvegen gikk over til frost i en dybde på omtrent 40 cm under bakken, Figur 68. Det var i dette området funnet av islinser ble gjort.



Figur 68 Temperaturutvikling nedover i grop.

7.2.3 Dybder for prøveuttak

Dybder for uttak av prøvene i utgravingsgrop, prøve 1-5, samt foto av lagene prøvene er tatt fra, er vist i Figur 69. På fotoet kan man se svært tydelig lagdeling i grunnen. Prøvene har i etterkant blitt undersøkt i ulike tester, avhengig av hvor prøvene var plassert i grunnen.



Figur 69 Dybder prøveuttak Selbuvegen.

8 Laboratorieforsøk

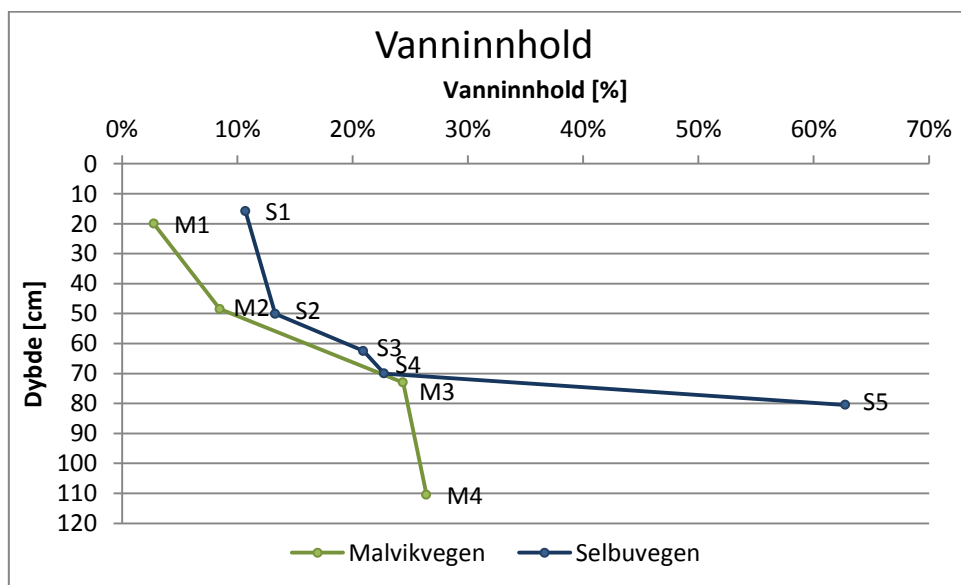
Dette kapittelet beskriver laboratorieforsøkene som er utført på materialene fra de to oppgravingene.

8.1 Vanninnhold

I alle prøvene ble vanninnhold funnet ved veiing før og etter tørking. Masseprosent vann i de ulike prøvene nedover i de to utgravingsgropene er vist i Figur 70.

Vanninnholdet nedover i grunnen er høyt på begge de to vegene. Fordi oppgravingen er utført i teleløsningsperioden vil mye smeltevann kombinert med delvis gjenfrosne dreneringsveger føre til høyt vanninnhold i vegene. Når vanninnholdet øker reduseres stabiliteten¹⁴, særlig i materialer med høy andel finstoff. Dersom $\geq 8\%$ av materialet er mindre enn $63\ \mu\text{m}$, regnet av materiale mindre enn $22,4\ \text{mm}$, regnes materialet vanligvis som vannømfintlig (Statens vegvesen, 2011). Dette gjelder for samtlige av de fire materialene som det er utført direkte telehivforsøk på, samt sikteanalyse (prøve M2, M3, S2 og S4). Se verdier fra sikteanalysen i Vedlegg 9. På bakgrunn av det høye finstoffinnholdet og at vanninnholdet er høyt, er det derfor grunn til å anta at styrken i veggen er betydelig redusert. Hvor mye er derimot vanskelig å fastslå uten testing.

Punktene for de ulike prøvene viser at vanninnholdet ikke øker lineært nedover i vegkroppen og undergrunnen, Figur 70, noe som trolig skyldes den markante lagdelingen som ble funnet på begge de to stedene. Årsaken til at den nederste prøven fra Selbuvegen, prøve S5, viser vanninnhold på over 60% , kan forklares med at denne kommer fra et lag med organisk materiale, som gir svært høyt vanninnhold, se avsnitt 8.2.



Figur 70 Vanninnhold i prøver fra Malvikvegen og Selbuvegen.

¹⁴ Stabilitet: Materialers evne til å motstå forskyvninger og setninger ved dynamiske og/eller statiske belastninger. Uttrykkes ved E-modul, CBR-verdi, Marshallverdi mv. (Statens vegvesen, 2011).

8.2 Organisk materiale

Glødeforsøk ble utført på materialer fra Selbuvegen for å finne mengde organisk materiale. Prøvene fra denne utgravingen har ulik grad av brunlig farge, noe som indikerer innhold av humus. Fargen på prøvene fra Malvikvegen indikerte ikke humusinnhold og glødetapstest ble derfor ikke utført på disse materialene.

Forsøket er utført etter fremgangsmåten i HB014 «14.445 Humusinnhold ved gløding», se Vedlegg 4, for bilder og dataverdier fra forsøket.

Resultat fra glødetapstest er vist i Tabell 12. Prøve S5 inneholder altså hele 94 % humus, noe som forklarer det høye vanninnholdet som ble funnet i denne prøven i Figur 70.

Prøve S3 og S4 inneholder mindre mengder av humus (1-2 %). Små mengder humus kan være med på å øke vanninnholdet i materialet, se avsnitt 2.5 side 17. Humusinnholdet i vege er høyere enn tillatt grense på 1 % for forsterkningslag (Statens vegvesen, 2011).

Tabell 12 Resultat fra glødetapstest:

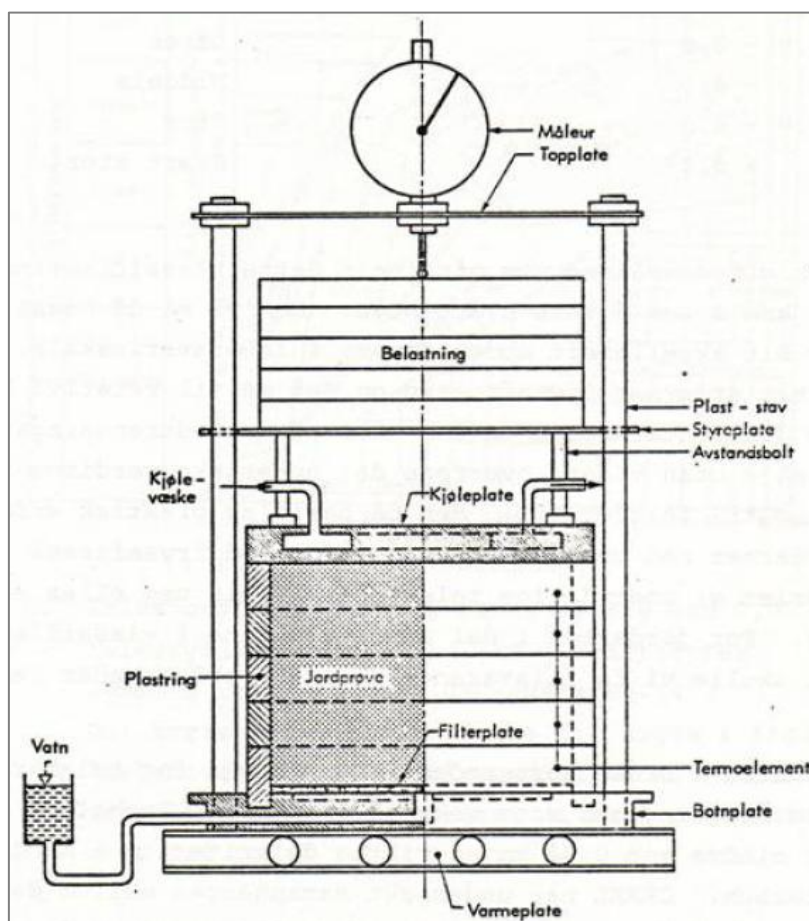
Prøve	Humusinnhold [%]
S3	1,4
S4	2,0
S5	94,3

8.3 Telehivforsøk i laboratoriet

I dette avsnittet er utførelsen av telehivforsøket i laboratoriet beskrevet og resultatene fra forsøket er tolket.

8.3.1 Om forsøket

Formålet med forsøket er å måle telefarligheten til steinmaterialer direkte, ved å tilrettelegge ytre forhold for dannelse av islinser i prøven. Dette gjøres ved å lage vanntilgang i prøvens bunn, som tilsvarer grunnvannstand i prøvens underkant, Figur 71, sette kjøleplate med minusgrader (-4°C) på toppen av prøven og varmeplate med plussgrader i bunn av prøven (1°C). Dermed vil frysefronten befinne seg et sted midt i prøven. På denne måten har man to av de tre kriteriene for islinsdannelse klare: vanntilgang og frost. Dersom det dannes islinser i prøven under forsøket er dermed prøvematerialet telefarlig. Antall millimeter telehiv som måles utgjør telefarligheten til materialet.



Figur 71 Skisse av telehivforsøk (Nordal, 1997, s. 7).

Laboratorieforsøket er utført etter fremgangsmåten i Vedlegg 5. Fremgangsmåten er standard ved direkte telehivforsøk ved SINTEF/NTNU, og er hentet fra «Gjenbruksprosjektet» til Statens vegvesen (Aurstad og Hoff, 2006). Denne fremgangsmåten

er utviklet etter en forsøks-prosedyre utviklet ved CRREL¹⁵, men har noen praktiske modifikasjoner. Blant annet er det brukt konstant temperatur på topplate, istedenfor konstant frostnedtrengning, for å redusere forsøks tiden. Andre forskjeller mellom forsøkene er vist i Tabell 13 (Aurstad og Hoff, 2006; Chamberlain, 1981).

Tabell 13 Sammenligning av CRREL-telehivforsøk og telehivforsøk utført i denne oppgave:

Forsøksbetingelser						
Forsøksmetode	Prøvehøyde [cm]	Diameter [cm]	Varighet [timer]	Temp. topp [°C]	Temp. bunn [°C]	Overflatelast [kPa]
CRREL	15,24	10,88	100-300	*16	3	3,5 ¹⁷
Forsøk i denne oppgave	10,00	14,30	96	-4	1	3,7 (lodd: cirka 6 kg)

Den lange varigheten til CRREL-forsøket kommer av som følge av at frostnedtrengningen er såpass liten, 6-19 mm/døgn. For å få ned prøvetiden er det blitt mer og mer vanlig å utføre forsøk ved bruk av konstant topptemperatur på prøven, dette ble undersøkt av Kaplar i 1971 som fant at varigheten til CRREL-forsøket kunne kortes betraktelig ned ved bruk av konstant topptemperatur (Chamberlain, 1981).

Forsøksmetoden som er brukt i oppgaven benytter samme telefarlighetskriterier som de fra CRREL-forsøket til å klassifisere telefaren. Der klassifiseres telefaren etter midlere telehivhastighet i mm/døgn, Tabell 14.

Tabell 14 Telefarlighetskriterium for telehivforsøk i lab (Chamberlain, 1981):

Telefarlighetskriterium for CRREL-telehivforsøk:	
Midlere telehivhastighet mm/døgn	Teleskytende evne
0,0-0,5	Ubetydelig
0,5-1,0	Svært liten
1,0-2,0	Liten
2,0-4,0	Middels
4,0-8,0	Stor
> 8,0	Svært stor

Ved bruk av CRREL-kriteriene er det viktig å huske på forskjellen i utførelse mellom de to forsøksmetodene, som vil virke inn på resultatene. Kriteriene er derimot bra til

¹⁵ CRREL (Cold Regions Research and Engineering Laboratory) er et forskningssenter i USA med spesielt fokus på kalde regioner. Blant annet forsker CRREL på frostens innvirkning på vegfundamenter (CRREL, 1991).

¹⁶ CRREL test benytter varierende topptemperatur som gir frysehastighet på ca. 6-19 mm/døgn.

¹⁷ 3,5 kPa overflatelast tilsvarer en overbygning på 15 cm.

sammenligning med andre forsøk utført ved NTNU/SINTEF, da de er utført etter samme metode som i denne oppgaven.

8.3.2 Bakgrunn for valg av materialprøver til forsøk

Utstyret som brukes til å utføre telehivforsøket tillater bare telehivforsøk på fire prøver samtidig. To materialprøver fra hvert utgravningspunkt ble derfor valgt ut til telehivforsøket.

Forsøk ble utført på prøve M2 og M3 fra Malvikvegen, Figur 59, og prøve S2 og S4 fra Selbuvegen, Figur 69. Bakgrunn for valg av materialprøver til forsøk er følgende: De ble tatt ut totalt ni prøver, de øverste prøvene fra de to vegene, prøve M1 og S1, ble tatt ut like under asfaltdekket og besto av såpass grovkornet materiale at de trolig ikke var telefarlige. Den dypeste prøven fra Selbuvegen var også uaktuell da denne besto av humus og ble tatt ut med tanke på å finne vanninnhold og mengde organisk materiale. De seks resterende prøvene var fra områder med antatt telefarlig materiale i de to vegene. Prøve S4 inneholdt islinsler ved uttak i felt, og var derfor ønskelig å ha med for å se om telehivforsøket ga samsvarende resultat. Ellers var det ingen indikasjoner ved de seks prøvene som tilsa at noen var mer telefarlig enn de andre. De fire prøvene som var med i forsøket ble derfor valgt ut fra at to og to prøver kom fra samme dybde i vegene, 0,5 og 0,75 meters dybde.

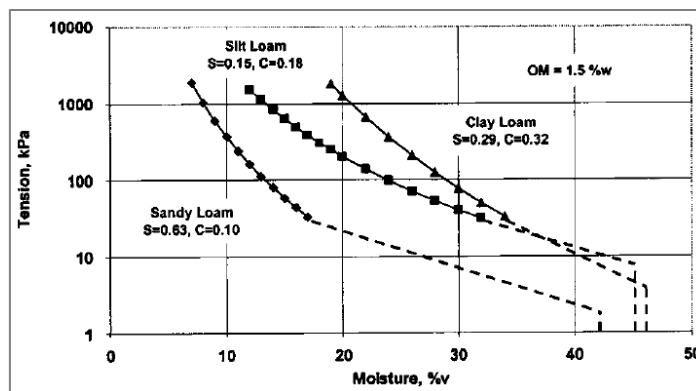
8.3.3 Modifikasjoner i fremgangsmåten

Praktiske modifikasjoner i fremgangsmåten i Vedlegg 5 ved utførelse av forsøket er forklart i dette avsnittet.

Vanninnhold:

Vanninnhold i prøvene er av praktiske årsaker satt til 7 %. Det er ikke testet om dette vanninnholdet er optimalt for komprimeringen, da uthentede prøver fra felt ikke var tilstrekkelig store til å utføre Proctor-forsøk i tillegg til telehivforsøk. For å unngå overmettet prøve ble det valgt et vanninnhold som antas er lavere enn optimalt.

Ved overmettet prøve kan den økte vannmengden føre til mer islinsedannelse. Samtidig vil økende vanninnhold redusere kapillært sug, Figur 72, og på den måten redusere telehivdannelsen. Ved undermettet prøve vil komprimeringen bli dårligere, noe som både kan føre til økt eller redusert sug. Dette er avhengig av hvor store hulrommene blir i prøven. Ikke optimalt vanninnhold kan derfor virke inn på prøveresultatet, men det er usikkert i hvilken retning/grad det virker inn.



Figur 72 Redusert kapillær sug, tension, ved økt vanninnhold (Saxton og Rawls, 2005, s. 1572).

Kornstørrelse:

Siden testsylinderen er liten ($h=100$ mm, indre diameter= 140 mm), må eventuelle store korn i prøvematerialene fjernes før forsøk. Materialet i de fire prøvene i dette forsøket hadde maksimal korndiameter 16 mm, altså ingen store fraksjoner, se kornfordelingskurver i Figur 88 - Figur 91. Det er derfor ikke nødvendig å fjerne store fraksjoner i prøvene. At ingen fraksjoner må fjernes er en fordel fordi kornfordelingen til prøven i telehivforsøket da er identisk kornfordeling til prøven i felt. Ved stort innslag av grovere fraksjoner kan dette føre til mindre telehiv ved at hulrommene øker mellom større korn, og vannopptaket reduseres. Telehivdannelse i laboratoriet vil i slike tilfeller avvike fra telehivdannelse i felt.

Forsøkets varighet:

Testmetoden skal utføres over en periode på 4 døgn. Omtrent et døgn ut i forsøket viste det seg at prøve S4 ikke hadde minusgrader. Dette vises på grafen over temperaturutvikling i prøve S4, se Figur 95, i Vedlegg 7. Det viste seg at en knekk på ledningen med frostvæske til prøve S4 gav for liten gjennomstrømning til å oppnå minusgrader. Ved forsøk på å rette ut ledningen gikk det hull på slangen da denne var ganske mørken. Da det ikke lyktes å fikse ledningen på tidspunktet den ble ødelagt, ble ledningen i stedet stengt med klyper til neste dag slik at forhåpentligvis de tre andre prøvene klarte å opprettholde frosten. Neste morgen ble ledningen fikset og alle prøvene fikk fra da av tilstrekkelig med minusgrader. Dessverre begynte alle prøvene å tine under hendelsen med bruddet på ledningen, noe som førte til at det ble mindre telehiv i samtlige av prøvene i dette forsøket enn det trolig ville blitt ved kontinuerlig frost. Forsøket ble som følge av denne hendelsen kjørt i 4 døgn etter hendelsen, slik at total forsøkstid ble 5,8 døgn for prøvene M2, M3 og S2. Prøve S4 startet frostperioden etter ny oppstart slik at denne prøven totalt fikk 4 døgn med frost.

Bruddet i frostforsyning kom på et veldig uheldig tidspunkt da mesteparten av telehivet i prøvene dannes i starten av forsøket, mens frosten trenger nedover i prøvene. Særlig i prøve M2 og S2 var telehivet stigende i perioden før frostforsyningsbruddet. Det var ingen indikasjon på at hivet hadde startet å flate ut før bruddet, og det ville derfor trolig blitt ytterligere telehiv i disse prøvene dersom bruddet ikke hadde skjedd. Dette kan sees under resultater fra forsøket i Figur 74 og Figur 76 side 71.

For prøve S4 var ikke telehiv startet før bruddet. Forsøksforløpet har likevel trolig hatt innvirkning også på denne prøven, fordi vannoppsuget hadde pågått i hele forsøksperioden. Dette ser ikke ut til å ha ført til mer telehiv i prøven, da prøven ikke har fortsatt det høye vannopptaket lenger ut i forsøks tiden, dette kan sees i Figur 77, side 71.

Bilder fra preparering av forsøk:

Bilder fra preparering av forsøket er vist i Vedlegg 6.

8.3.4 Resultater fra telehivforsøk

Midlere telehivhastighet for prøve M2 og S2 er beregnet for de fire første døgnene av forsøket, fordi telehivdannelsen var startet i disse prøvene og de fikk mesteparten av telehivdannelsen før frostbruddet. For prøve M3 og S4 er de fire siste døgn benyttet, da disse prøvene ikke hadde startet særlig med telehivdannelsen da frostbruddet inntraff. Dette kan sees av graf over telehivutvikling og temperatur i prøvene over tid, Vedlegg 7. Teleskytende evne ut fra CRREL-kriteriet blir den samme for alle de fire prøvene, Tabell 15.

Tabell 15 Direkte vurdering etter CRREL:

Prøve	Midlere telehivhastighet [mm/døgn]	Teleskytende evne
M2	2,5	Middels
M3	2,3	Middels
S2	3,6	Middels
S4	2,8	Middels

Studerer resultatene fra prøvene ytterligere sees at både maksimal-døgn med telehiv og vannopptaket i prøvene viser forskjeller som tilsier større sprik i teleskytende evne enn vurderingen etter CRREL skulle tilsa. Det er derfor gjort en ytterligere vurdering av den teleskytende evnen til de ulike prøvene basert på disse opplysningene.

Klassifiseringskriterier etter maks-døgn mangler i CRREL. Dette er interessant fordi maks-døgnnet inntreffer før frysefronten har stabilisert seg, se figurer med temperatur og telehiv over tid, Vedlegg 7. Dermed kan maks-døgnnet være med på å illustrere mengden telehivdannelse ved synkende frysefront i felt. Et sammenligningsgrunnlag for verdier fra tidligere er funnet fra telehivforsøk utført i forbindelse med Gjenbruksprosjektet, (Aurstad og Hoff, 2006). Telehivforsøkene i Gjenbruksprosjektet ble utført i forbindelse med testing av gjenbruksbetong. To referansematerialer, Figur 73, ble testet i Gjenbruksprosjektet. Referansemateriale Klæbu silt er kjent som svært telefarlig, men viste mindre telehiv enn ventet ved de tre første forsøksseriene i Gjenbruksprosjektet. Forsøksserie fire i Gjenbruksprosjektet viser derimot stor telefare. Ramlo sand er ikke telefarlig, og viste heller ikke telefare i forsøk. Referansematerialene brukes til sammenligning med maks-døgnverdier fra forsøket i denne oppgaven.

Material	Serie	Registrerte telehiv (mm/døgn)		Klassifisering (teleskytende evne)
		Maks-døgn	Gjennomsnitt over 4 døgn	
Silt Klæbu (ref)	I	4	2,5	Stor / middels
	II	2,5	1,8	Middels / liten
	III	2,5	1,8	Middels / liten
	IV	15	6,8	Svært stor / stor
Sand Ramlo (ref)	I	2	0,3	Liten / ubetydelig
	II	2	0,5	Liten / ubetydelig

Figur 73 Resultater fra telehivforsøk i Gjenbruksprosjektet (Aurstad og Hoff, 2006, s. 37).

Selv om alle prøvene havner i samme teleklasse etter CRREL-kriteriet, er maks-døgn med telehiv svært forskjellig (4,7-12,6 mm), Tabell 16. Man kan derfor forvente større telehiv i felt for prøve S2 enn prøve M3, selv om de altså havner i samme klasse etter CRREL-kriteriet.

Tabell 16 Telehivdannelse i prøvene:

Prøve	Maks døgn [mm]
M2	5,6
M3	4,7
S2	12,6
S4	9,0

Vannopptaket er vurdert for hele forsøksperioden (5,8 døgn). Bakgrunnen for dette er at selv om telehivdannelsen ikke hadde startet i alle prøvene ved frostbrudd hadde vannopptaket startet og vil kunne påvirke telehivdannelsen senere i forsøket. Maks vannopptak skjedde i første døgn av forsøket for alle de fire prøvene, Tabell 17.

Tabell 17 Vannopptak i prøvene:

Prøve	Maks vannopptak [ml/døgn]	Totalt vannopptak, [ml]
M2	70	205
M3	90	265
S2	820	1440
S4	590	905

Vannopptaket er også svært forskjellig i de fire prøvene, både i maks-døgn (70-820 ml) og i totalt vannopptak (205-1440 ml). Høyt vannopptak medfører at det er mye vann tilgjengelig til islinsdannelse ved frysefronten. Vannopptak er derfor tatt med i vurdering av den teleskytende evnen for de ulike materialene i forsøket.

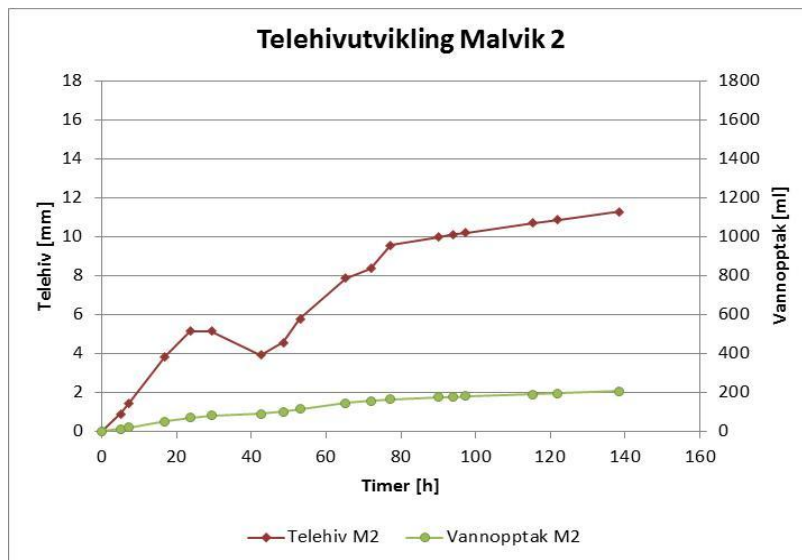
Min vurdering av teleskytende evne for de ulike prøvene i forsøket er gitt i Tabell 18 for Malvikvegen, Tabell 19 for Selbuvegen og tilslutt oppsummert i Tabell 20. Hele forløpet for telehivdannelse og vannopptak i prøvene er gjengitt i Figur 74 til Figur 77¹⁸. Plottene viser hele forsøksforløpet, selv om vurdering altså er gjort for fire døgn, med unntak av vurdering av vannopptaket som forklart over.

¹⁸ Avleste verdier for telehiv og mengde etterfylt vann gjennom forsøksperioden i Vedlegg 8.

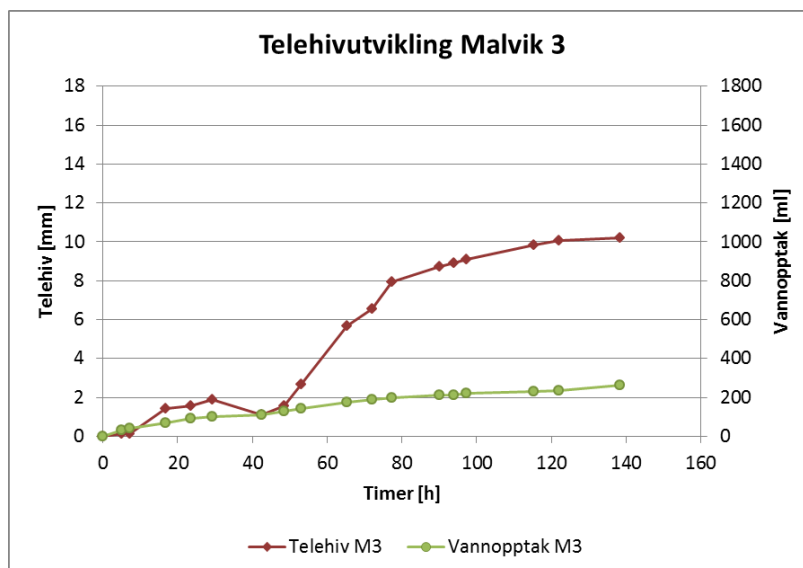
Tabell 18 Vurdering av teleskytende evne for prøver fra Malvikvegen:

Vurdering av teleskytende evne for prøve M2 og M3, Figur 74 og Figur 75:

Vannopptak	Vannopptaket er jevnt gjennom hele forsøket for begge prøvene. Litt høyere totalt opptak i M3 (60 ml), men ingen store forskjeller mellom prøvene.
Telehiv	Telehivdannelsen var ikke kommet ordentlig i gang i prøve M3 ved bruddet på frostvæskekabelen. Ser man på temperaturutviklingen i prøvene derimot, Figur 92 og Figur 93 i Vedlegg 7, er denne tilnærmet lik i de to prøvene. Årsaken kan være at vannopptaket midt i prøve M3 går noe tregere enn i prøve M2. Midlere telehivhastighet og maks-døgnet er også tilnærmet likt for de to prøvene, Tabell 16. Den teleskytende evnen i de to prøvene vurderes derfor lik.
Teleskytende evne	M2: Middels M3: Middels



Figur 74 Telehiv og vannopptak i prøve M2.

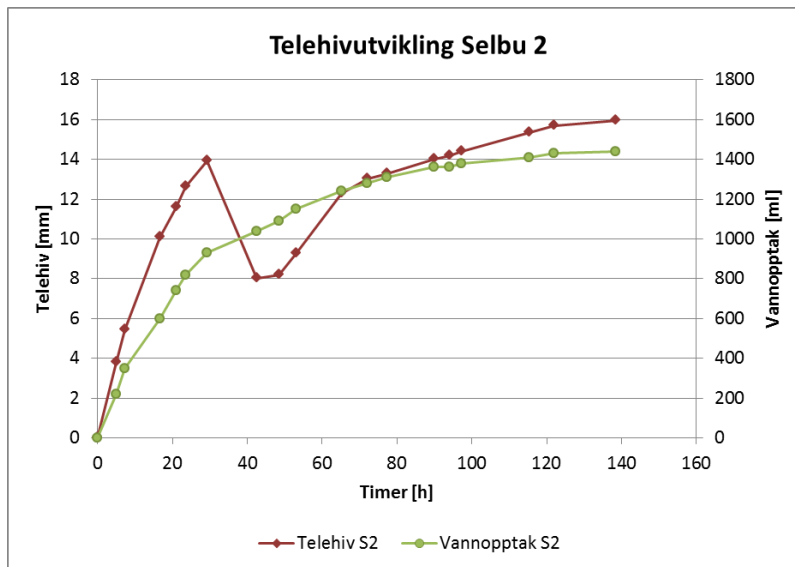


Figur 75 Telehiv og vannopptak i prøve M3.

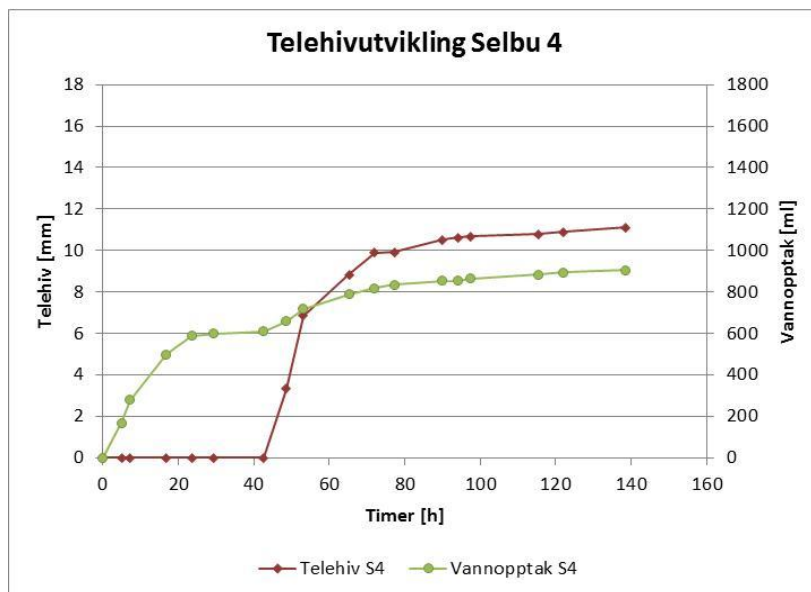
Tabell 19 Vurdering av teleskytende evne for prøver fra Selbuvegen:

Vurdering av teleskytende evne for prøve S2 og S4, Figur 76 og Figur 77:

Vannopptak	Begge prøvene fra Selbuvegen har langt høyere totalt vannopptak enn prøvene fra Malvikvegen (640-1235 ml høyere). Totalt vannopptaket er en del høyere i prøve S2 enn i prøve S4 (535 ml høyere).
Telehiv	Prøve S4 hadde ikke minusgrader da bruddet i frostforsyningen kom. Prøven hadde derfor, naturlig nok, ingen telehivdannelse før dette skjedde. Prøve S2 har størst telehiv av prøvene i forsøket. Prøve S4 har også noe mere telehiv enn prøvene fra Malvikvegen. Prøvene fra Selbuvegen vurderes på bakgrunn av høyere maks-døgn og mye høyere vannopptak til å ha høyere telefare enn prøvene fra Malvikvegen.
Teleskytende evne	S2: Stor S4: Stor



Figur 76 Telehiv og vannopptak i prøve S2.



Figur 77 Telehiv og vannopptak i prøve S4.

Tabell 20 oppsummerer min vurdering av telefare, basert på midlere telehivdannelse, maks-døgn med telehiv og vannopptaket i prøvene:

Tabell 20 Oppsummering teleskytende evne etter telehivforsøk:

Prøve	Teleskytende evne
M2	Middels
M3	Middels
S2	Stor
S4	Stor

Temperaturgradient

Temperaturgradienten kan vise om prøvene har hatt tilstrekkelig tid til å suge opp den mengden vann frysefronten har muligheten til å ta opp (Konrad og Lemieux, 2005). Konrad og Lemieux (2005) fant at dersom temperaturgradienten er større enn $0,03^{\circ}\text{C}/\text{mm}$ ved testing på finkornede materialer vil ikke materialet ha tilstrekkelig tid til å suge opp den mengden vann frysefronten har mulighet til å ta opp. Dette medfører at islinsene som dannes blir mindre, og dermed blir totalt telehiv mindre. Sammenhengen ble funnet for materialer med finstoffinnhold, $<63 \mu\text{m}$, mellom 5 % - 15 %.

Temperaturen i prøvene ser ut til å ha stabilisert seg rundt kl 10.00 3. mai, cirka et døgn etter andre oppstart med frost. Perioden fra kl 10.00 3. mai til kl 10.00 6. mai er derfor brukt til å finne temperaturgradientene i prøvene, Tabell 21.

Tabell 21 Temperaturgradient for den delen av forsøket der temperaturen er stabilisert:

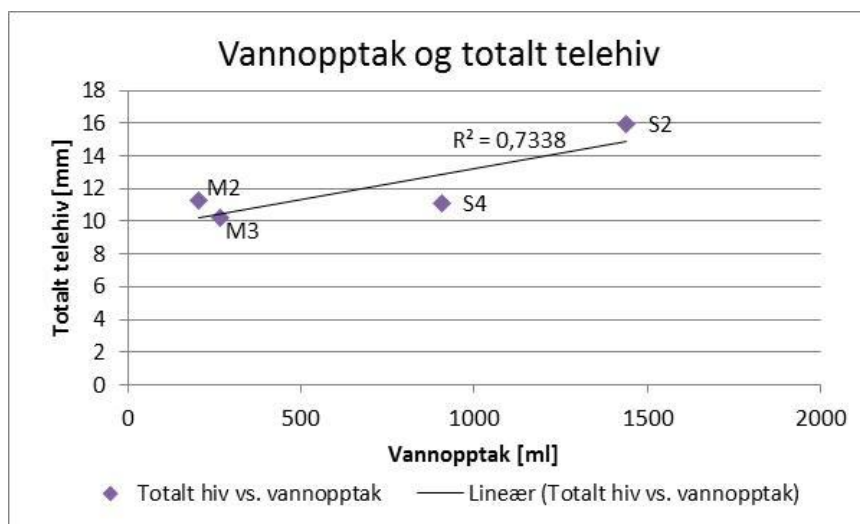
Prøve	Temperaturgradient [$^{\circ}\text{C}/\text{mm}$]
M2	0,055
M3	0,062
S2	0,052
S4	0,058

Sammenhengen Konrad og Lemieux fant ble altså funnet for materialer med finstoffinnhold, $<63 \mu\text{m}$, mellom 5 % - 15 %. Prøve M2 og S2 har finstoffinnhold i dette området, mens prøve M3 og S4 har høyere finstoffinnhold. Samtlige fire gradienter er større enn denne grensen på $0,03^{\circ}\text{C}/\text{mm}$. I felt vil forskjellige temperaturgradienter oppstå fordi temperaturen på overflaten varierer, dermed vil vegkroppen «oppleve» mange ulike gradienter. Følgelig kan man anta at vannopptaket kan være større i felt.

Vannopptak og telehiv

Økt vannopptak skal i teorien øke mengden telehiv. For å undersøke om dette stemmer for prøvene i forsøket er totalt vannopptak i de ulike prøvene plottet mot totalt telehiv gjennom

forsøket, Figur 78. Figuren viser at det er en sammenheng mellom de to faktorene, men ser at prøve M2 har større telehiv enn prøve M3, til tross for litt lavere vannopptak. Dette til tross for at frysefronten ser ut til å ligge i samme område i de to prøvene, se temperaturutvikling i de to prøvene i Vedlegg 7. Forskjellen i vannopptak kan skyldes at M2 har større vannopptak i nederste del av prøven enn lenger oppe, og at dermed noe mer vann har forblitt i den delen av prøven som ikke er frossen.



Figur 78 Sammenheng mellom vannopptak og totalt telehiv.

Bilder av prøver etter avsluttet telehivforsøk:

I Figur 79 til Figur 86 er det vist bilde av prøvene etter endt forsøk, samt et nærbilde av islinser for hver prøve.

Malvikvegen - M2:



Figur 79 Prøve M2, viser tydelig telehivdannelse.



Figur 80 Nærbilde av prøve M2 viser islinsedannelse i form av mange små islinser.

Malvikvegen – M3:



Figur 81 Prøve M3, viser tydelig telehivdannelse.



Figur 82 Nærbilde av islinsdannelse i prøve M3.

Selbuvegen - S2:



Figur 83 Prøve S2, viser svært tydelig telehivdannelse.



Figur 84 Nærbilde av islinser i prøve S2.

Selbuvegen – S4:



Figur 85 Prøve S4, viser svært tydelig telehivdannelse.



Figur 86 Nærbilde av prøve S4, også her var det tydelige islinser (utydelige på bildet pga smeltevann).

8.4 Kornfordeling

I dette avsnittet er kornfordelingsforsøkene beskrevet og telehivklassifisering etter kornfordeling funnet.

8.4.1 Om forsøkene

Kornfordelingen til materialene er funnet ved hjelp av tørrsikting og Coulteranalyse. Sikting av materialet som er telehivtestet ble utført etter telehivforsøket for å unngå at sikting kan påvirke telehivforsøket. Kornfordeling til finstoffraksjonene, fraksjoner <0,063mm, er funnet ved hjelp av laserdiffraksjon, Coulteranalyse. Coulteranalysen er utført av Irene Bragstad ved partikkellaboratoriet til NTNU/SINTEF Materialer og Kjemi. Coulteranalyse er utført på finstoffet fra den delen av prøvematerialet som ikke er telehivtestet. Dette materialet ligner mest på det materialet som ligger i felt, da materialet ikke er utsatt for Proctor-komprimering, Tabell 22. Dette er fordi Proctor-komprimeringen kan føre til noe nedknusning av materialet.

Tabell 22 Hvilken kornfordelingsanalyse som er utført på de ulike materialprøver:

Test	Telehivtestet materiale				Ikke-telehivtestet materiale			
	M2	M3	S2	S4	M2	M3	S2	S4
Sikting	X ¹⁹	X	X	X	X	X	X	X
Coulter	-	-	-	-	X	X	X	X

Resultatene fra sikting og Coulteranalysen brukes til å fastsette telefarlighetsklassen til materialene. Telefarlighetsklassifisering er basert på Nordals telefarlighetskriterium, Tabell 1, Casagrandes telefarlighetskriterium, Tabell 2, og USCS telefarlighetskriterium, Tabell 4. Beskows kriterium er ikke brukt på grunn av at den krever kapillaritetsmåling som ikke er utført i oppgaven. Verdiene etter sikting, samt resultater fra Coulteranalyse ligger i Vedlegg 9 og Vedlegg 10.

Sammenklustret materiale:

Mindre korn i prøvene binder seg sammen og danner større korn når prøvene tørkes. Kornene henger såpass fast til hverandre at de ikke løsner under sikting. Dette gjorde at kornfordelingskurvene først ga for stor andel på store sikt og for liten andel på de mindre siktene. For å løse problemet ble alle prøvene, totalt 28 kg, most for hånd med en morter av treverk, Figur 87. Prøvene ble lagt i morteren i flere omganger for å sikre at alle klumpene ble løst opp. I tillegg til dette ble siktetiden skrudd opp fra 5 minutter siktetid til 25 minutter og amplituden økt fra 0,7 til 1,2. Dette ble gjort etter råd fra Lisbeth Johansen (seniortechniker ved SINTEF i Vegteknologisk laboratorium ved NTNU/SINTEF) om hvordan denne typen «problemmaterialer» bør håndteres ved sikting.

¹⁹ X= utført test

- = ikke utført test



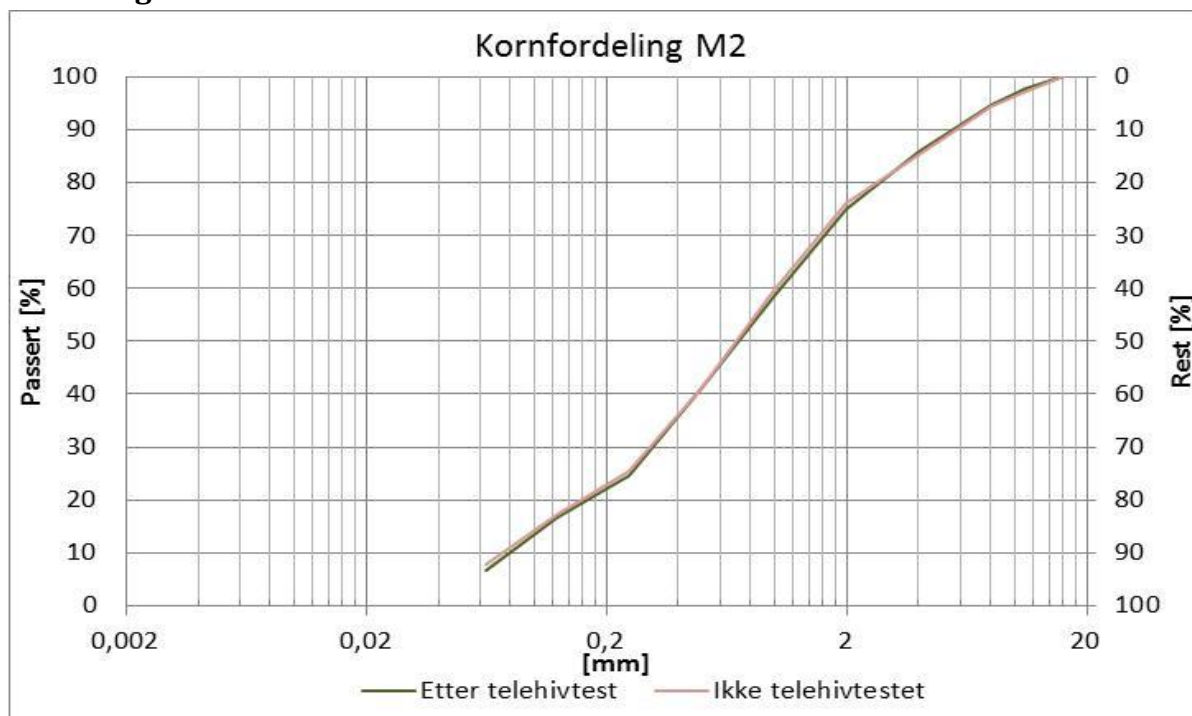
Figur 87 Morter med sammenklistret materiale.

Resultatet av siktingen etter denne framgangsmåten ble mye bedre. Det er likevel mistanke om at noe materiale som egentlig hadde mindre korndiameter havnet på 0,125 mm siktet, da noen av kornfordelingskurvene, kurve M3 og S2, har en unaturlig knekk her. Årsaken til dette er trolig at morteren ikke klarte å skille så fine fraksjoner fra hverandre.

8.4.2 Resultater kornfordeling

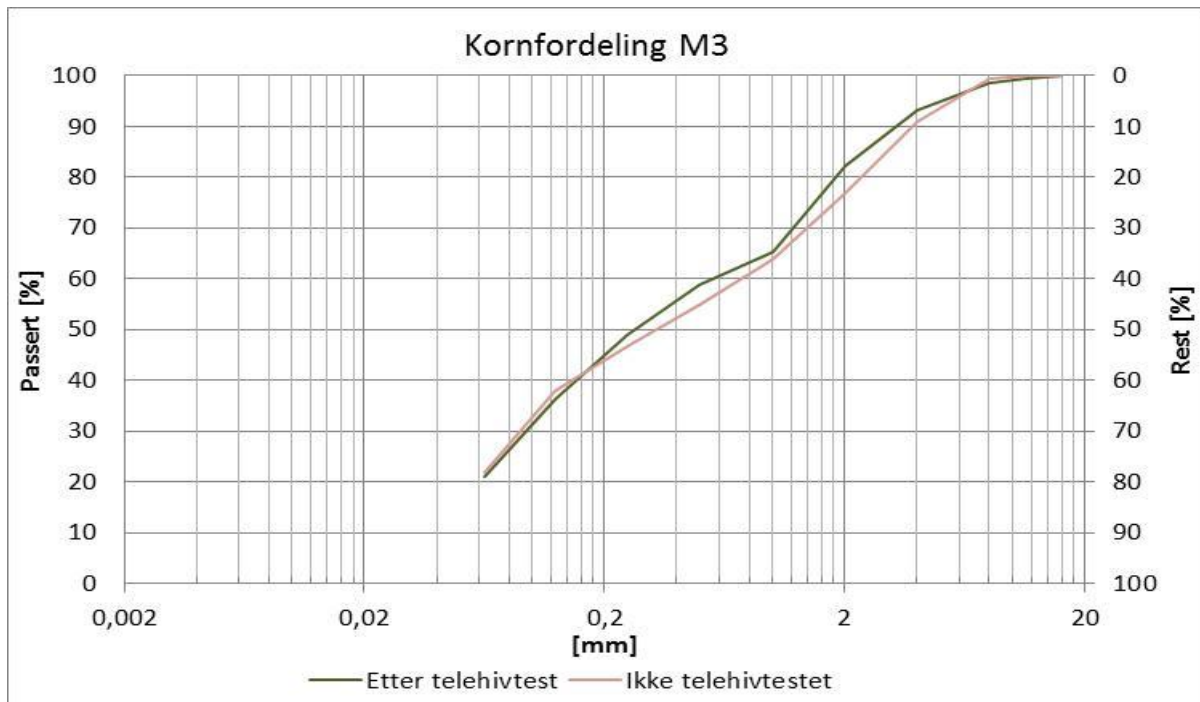
Materialene er klassifisert på bakgrunn av kornfordelingskurvene, Figur 88 til Figur 91, samt Coulteranalyse av materialene, verdier i Vedlegg 10, etter veilederen «Identifisering og klassifisering av jord» (Norsk Geoteknisk Forening, 1982).

Malvikvegen



Figur 88 Kornfordeling av M2 materiale før og etter telehivtest.

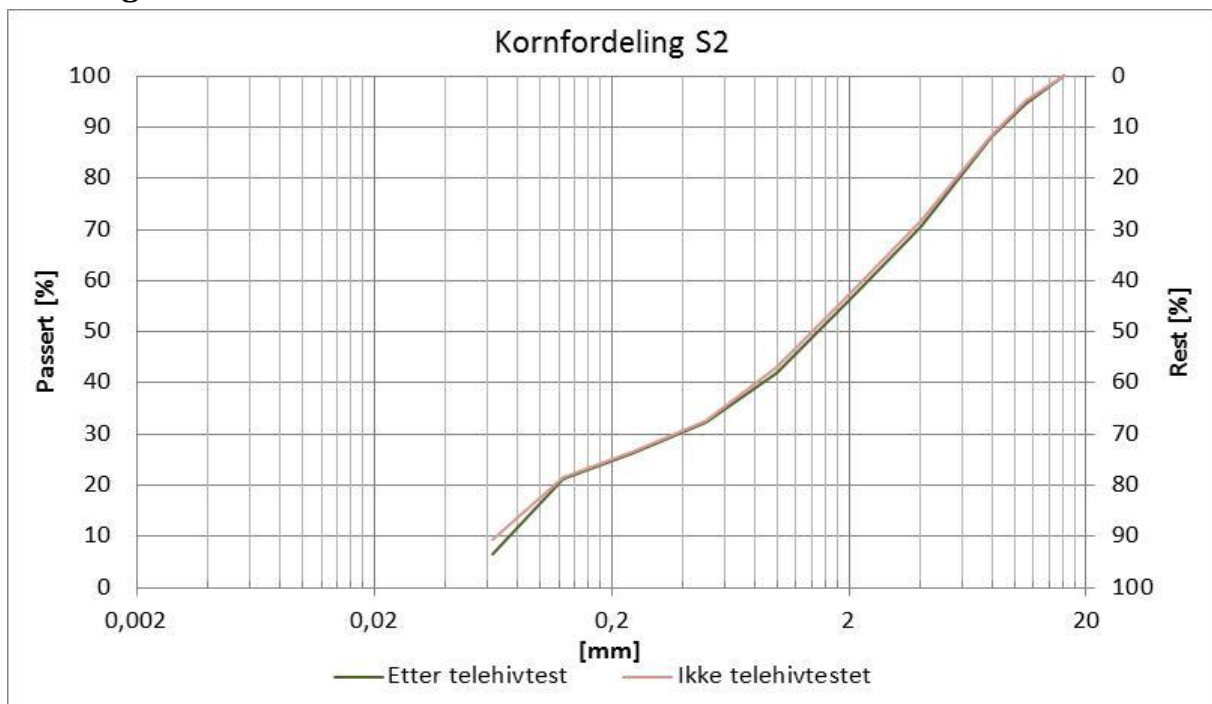
Materialet i prøve M2 får betegnelsen *fingrusig sand*.



Figur 89 Kornfordeling av M3 materiale før og etter telehivtest.

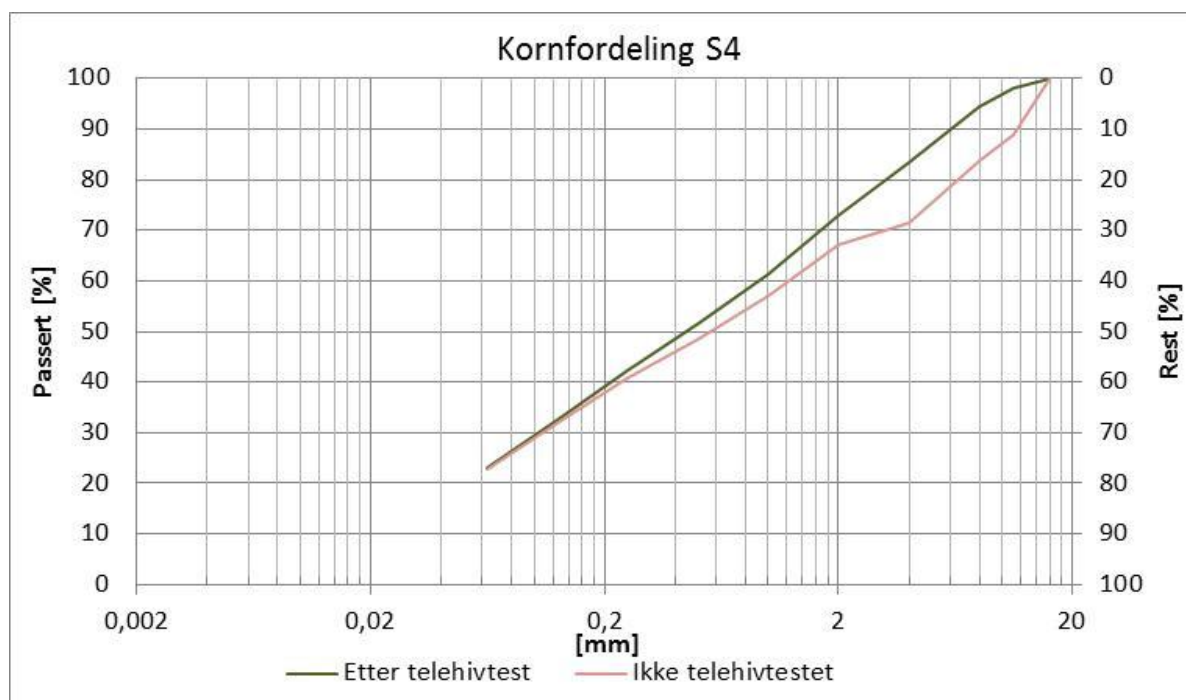
Materialet i prøve M3 får betegnelsen *sandig siltig materiale*.

Selbuvegen



Figur 90 Kornfordeling av S2 materiale før og etter telehivtest.

Materialet i prøve S2 får betegnelsen *grusig sandig materiale*.



Figur 91 Kornfordeling av S4 materiale før og etter telehivtest.

Materialet i prøve S4 får betegnelsen *sandig siltig materiale*.

Telefarlighetsklassifisering av materialene etter Nordal (1960), Casagrande (1931) og USCS (1948) sine kriterier gitt i Tabell 23 til Tabell 25. Klassifiseringen er samlet i Tabell 26.

Tabell 23 Telefarlighetsklassifisering etter Nordals kriterium:

Prøve	Masse- %			Telefarlighetsklasse
	< 2 μm	< 20 μm	< 200 μm	
M2	0,7	3,9	22,4	T2 – Litt telefarlig
M3	3,1	14,4	43,4	T3 – Middels telefarlig
S2	0,5	6,0	24,6	T2 – Litt telefarlig
S4	1,1	16,3	37,4	T3 – Middels telefarlig

Det er antatt lineær kornfordeling mellom de ulike siktene og interpolert frem til verdier for 2 μm og 200 μm , se tallverdier i Vedlegg 9.

Tabell 24 Telefarlighetsklassifisering etter Casagrandes kriterium:

Prøve	Graderingstall, C_u	Masse- % < 20 μm	Klassifisering
M2	13	3,9	Ikke angitt*
M3	20	14,4	Telefarlig
S2	35	6,0	Telefarlig
S4	131	16,3	Telefarlig

*Casagrande har ikke angitt minimumsgrense for hvor høy andel materiale <20 μm som gjør materialet telefarlig dersom materialet er middels gradert, $C_u=5-15$. Siden prøve M2 har $C_u=13$ kan telefaren ikke angis ved Casagrandes kriterium.

Tabell 25 Telefarlighetsklassifisering etter USCS kriterium:

Prøve	Jordart	Masse- % < 20 µm	Klassifisering
M2	Fingrusig sand	3,9	Litt telefarlig, F2
M3	Sandig siltig materiale	14,4	Litt telefarlig, F2
S2	Grusig sandig materiale	6,0	Litt telefarlig, F2*
S4	Sandig siltig materiale	16,3	Middels telefarlig, F3*

*USCS-kriteriet sier at lagdelt leire, silt og andre finkornede avleiringer klassifiseres etter den mest telefarlige fraksjon da lagdelt grunn er mer telefarlig enn homogene masser. Siden materialene M2 og M3, S2 og S4 er hentet fra lagdelt grunn, er det den mest telefarlige som gjelder. For undersøkt område på Selbuvegen er derfor telefarlighetsklassifiseringen, middels telefarlig, F3, etter USCS.

Resultatet fra de ulike telefarlighetsklassifiseringer etter kornfordeling er samlet i Tabell 26.

Tabell 26 Samlet resultat fra de ulike telefarlighetsklassifiseringene:

Prøve	Nordal	Casagrande	USCS
M2	T2	Ikke angitt*	F2
M3	T3	Telefarlig	F2
S2	T2	Telefarlig	F2
S4	T3	Telefarlig	F3

*Casagrande har ingen klassifisering for materialer av denne typen.

Totalt sett gir Nordal, Casagrande og USCS forskjellig vurdering av telefarligheten. Klassifisert etter Nordal er prøve M3 mer telefarlig enn klassifisert etter USCS. Casagrandes klassifisering med kun telefarlig og ikke telefarlig gjør vurderingen av telefarligheten noe mangelfull.

Vurdering av resultatene fra kornfordelingsundersøkelse:

Resultatene kan ha blitt påvirket av:

- At noe av materialet fremdeles var sammenklistret under sikting kan ha gitt for høye verdier på større sikt enn det som faktisk var tilfellet. Spesielt for prøve M2 og S2 ser det ut til at 125 µm-siktet har blitt større enn det det egentlig skulle vært, da kornfordelingskurvene gjør en unaturlig knekk her. Dette gjelder både for ikke-telehivtestet og telehivtestet materiale. Det er likevel lite trolig at dette kan ha medført at andelen materiale < 20 µm har blitt lavere enn 12 %, da differansen opp til 12 % materiale < 20 µm er høy for de to materialene: M2 har 3,9 % < 20 µm og S2 har 6,0 % < 20 µm. Over 12 % materiale < 20 µm er grensen for at materiale går over fra T2 til T3 ved bruk av Nordals kriterium.
- Nedknusning av materiale under sikting: Siden det sammenklistrede materialet krevde såpass lang siktetid, 25 min, er det en liten fare for at større korn kan ha blitt nedknust

under siktetiden. Siden såpass høy siktetid er vanlig prosedyre i NTNU/SINTEF-laboratoriet ved denne typen materialer, er det liten grunn til å tro at det har nevneverdig innvirkning på resultatene.

- Det telehivtestede materialet kan ha blitt noe nedknust under Proctor-komprimering før telehivtest. Er dette tilfellet skal kurven for testet materiale ligge lengst til venstre av de to kurvene i diagrammene. Dette stemmer for M2 og S4, mens for M3 og S2 ligger de to kurvene cirka likt i diagrammet. Den lille forskjellen mellom testet og ikke-testet materiale for M3 og S2 kan rett og slett skyldes at testet og ikke-testet prøve er to ulike prøver fra samme materialet.

8.5 Samlet vurdering av resultater fra laboratorieforsøkene

De ulike klassifiseringene av materialene ut fra kornfordeling og telehivforsøk er vist i Tabell 27.

Tabell 27 Samlet vurdering av materialene:

Prøve	Nordal	Casagrande	USCS	CRREL- Telehivforsøk	Min vurdering telehivforsøk
M2	T2	Ikke angitt	F2	Middels	Middels
M3	T3	Telefarlig	F2	Middels	Middels
S2	T2	Telefarlig	F2	Middels	Stor
S4	T3	Telefarlig	F3	Middels	Stor

Telefarlighetskriteriene ut fra Nordal, Casagrande og USCS har mellom to og fem klasser for inndelingen av telefaren. Telehivforsøket har seks inndelinger i telehivklasser, noe som kunne gitt et mer fullstendig bilde av telefarligheten. Likevel havner alle i samme kategori etter CRREL-klassifiseringen, dette til tross for store forskjeller i faktorene maks-døgn med telehiv og i vannopptak. Min vurdering av telehivforsøket tar hensyn til vannopptak og maks-døgn telehiv, og dermed kan T2 og T3 materialer skilles fra hverandre ved hjelp av telehivforsøket. Overraskende nok fanger ikke dette opp at prøve M2 og M3 klassifiseres forskjellig etter Nordal og at prøve S2 og S4 klassifiseres forskjellig etter Nordal. Årsaken kan være utfordringer under utførelsen av telehivforsøket, eller problemet med sammenklistrede materialer under sikting, slik som forklart tidligere.

Min vurdering av telehivforsøket gir altså økt telefare ved høyt vannopptak og maks-døgn. Denne forskjellen vises ikke av klassifiseringene etter kornfordeling, ut fra Nordals kriterium er det prøve M3 og S4 som skal ha størst telefare. Årsaken til forskjellen i vannopptak kan ligge i mineralogien til materialene, i form av ulik andel aktive mineraler som forklart i avsnittet om mineralogi på side 12. For å avgjøre dette kan det utføres XRD-analyse eller tilsvarende på materialet. Innhold av organisk materiale i prøver fra Selbuvegen vil også være med på å øke vannopptaket, men siden mengde organisk materiale ikke var så stor (2 % organisk materiale i S4, og trolig enda lavere i prøve S2 på grunn av at denne prøven ikke hadde den markant brunlige fargen som prøve S4 hadde) kan det organisk materiale alene ikke stå for det markante høye vannopptaket i forhold til prøvene fra Malvikvegen.

Ved registrering av vannopptak og maks-døgn ved fremtidige utførelser av telehivforsøk, kan disse dataene brukes til å utvikle grenser for telefaren på bakgrunn av alle de tre faktorene: midlere telehivshastighet, vannopptak og maks-døgn.

9 Konklusjon/Oppsummering

Frostmengder blir i snitt 2000 h°C lavere ved bruk av månedsmiddeltemperaturer enn ved bruk av døgnmiddeltemperaturer. Noe som gjør at frostsikringslaget får ulik tykkelse ved bruk av de to metodene.

Dimensjonering av frostsikringslag etter frostmengder tar ikke hensyn til nedfrysningshastigheten. Parameteren tar heller ikke hensyn til eventuelle mildværsperioder midt på vinteren, som vil være av betydning for frostnedtrengningen. Eventuelle snølag på vegens kantarealer blir heller ikke fanget opp av frostmengdebegrepet. Ytterligere undersøkelser er nødvendig for å finne ut om, eventuelt hvordan, disse tre faktorene bør inkluderes i dimensjoneringen. Dette kan for eksempel inkludere undersøkelser av faktisk telehiv i felt kombinert med kontroll over hvor raskt frosten trenger ned i grunnen under telehivdannelsen, samt registrering av frostmengder over den sammenhengende frostsyklusen telehivdannelsen registreres.

På bakgrunn av undersøkelsene i felt og i laboratoriet kan det konkluderes med telefarlighetsklasse litt til middels, T2/T3, på undersøkt område på Malvikvegen. Selv med beskjedne frostmengder i årets vinter (4300 h°C) er det målt noe telehiv (cirka 5 cm) på Malvikvegen. Det er dermed grunn til å anta betydelig telehiv ved 10-års frostmengde (cirka 14000 h°C).

Selbuvegen vurderes ut fra observasjoner i felt og tester i laboratoriet til å være middels telefarlig, T3. Laboratorieforsøkene viser at materialet har høyt vannopptak (totalt 905-1440 ml). Måling av vanninnhold i felt viser materiale med høyt innhold av organisk materiale og høyt vanninnhold i undergrunnen. Det er derfor ikke overraskende at det også er registrert hyppige sprekkdannelser i asfalten.

Ved vurdering av teleskytende evne etter direkte telehivforsøk tar dagens klassifisering ikke hensyn til viktige faktorer som maks-døgn med telehiv og vannopptak. Resultatene etter telehivforsøket indikerer at maks-døgn og vannopptak ikke kan sees i direkte sammenheng med midlere-telehivhastighet. Antallet prøver det er utført forsøk på i oppgaven er derimot for lavt til å konkludere med om dette stemmer eller ei.

Dersom man ved utføring av flere forsøk kommer frem til de samme indikasjonene bør faktorene maks-døgn med telehiv og vannopptak inkluderes som mål for vurdering av teleskytende evne etter telehivforsøk. Det bør i så fall utvikles klassifiseringer for teleskytende evne for de to faktorene.

10 Litteraturliste

- Aftenposten (2011). *Fire måneder gammel - ødelagt av telehiv*. Tilgjengelig fra: http://www.aftenposten.no/nyheter/iriks/article4073219.ece#.T2x_oBEaO8q (Hentet: 23.03 2012).
- Aftenposten (2012). *Telehiv? Her ser du hvorfor!* Aftenposten. Tilgjengelig fra: <http://www.aftenposten.no/nyheter/iriks/Telehiv-Her-ser-du-hvorfor-6805136.html#.T4rV1Kt1C8o> (Hentet: 15.04 2012).
- Aksnes, Jostein (2011). *Varige veger: Krav til vegoverbygning og frostteknisk dimensjonering*: Vegdirektoratet, TMT, Vegteknologiseksjonen. Tilgjengelig fra: <http://www.vegvesen.no/attachment/290285/binary/512549> (Hentet: 21.05 2012).
- Andersland, Orlando og Ladanyi, Branko (2004). *Frozen Ground Engineering*: JOHN WILEY & SONS.
- Arm, Maria, Arvisson, Håkan og Höboda, Peet (2004). *Inverkan av glimmer på ett obundet vägmateriels deformationsegenskaper - Resultat från laboratorieförsök*. Sverige: Statens Geotekniska Institut.
- Aurstad, Joralf og Hoff, Inge (2006). *Gjenbruksprosjektet - Prosjektrapport nr 15: Finstoff i gjenbruksbetong*, Teknologirapport nr. 2437, 503516: SINTEF.
- Berntsen, Geir (1993). *Reduksjon av bæreevnen under teleløsningen*. Trondheim: NTH.
- Beskow, Gunnar (1935). *Soil Freezing and Frost Heaving with Special Applications to Roads and Railroads*. Stockholm: Swedish Road Institute.
- Byggforsk, SINTEF (2009). *Byggdetaljblad 451.021 "Klimadata for termisk dimensjonering og frostsikring"*. SINTEF (red.). Blindern, Oslo.
- Chamberlain, Edwin J. (1981). *Monograph 81-2, Frost Susceptibility of Soil. Review of index tests*: CRREL.
- CRREL (1991). *CRREL Retrospective 1986-1990*. Tilgjengelig fra: http://www.crrel.usace.army.mil/crrel/CRREL_Retrospective_1986-1990.pdf (Hentet: 01.04 2012).
- Daniels, David J. (2004). *Ground Penetrating Radar*. The Institution of Engineering and Technology, London, United Kingdom.
- Dingman, S. Lawrence (2002). *Physical Hydrology*. 2 utg. Illinois, USA: Waveland Press, Inc.
- Funderburg, Eddie (2001). *What does Organic Matter do in Soil?* I: Foundation, T. S. R. N. (red.). Tilgjengelig fra: <http://www.noble.org/ag/soils/organicmatter/> (Hentet: 05.04 2012).
- Google (2012). *Maps Google*: Google. Tilgjengelig fra: <http://maps.google.no/> (Hentet: 12.03 2012).

- Henry, Karen S. (2000). A Review of the Thermodynamics of Frost Heave: CRREL. 26 s.
- Hermansson, Åke og Guthrie, W. Spencer (2005). Frost heave and water uptake rates in silty soil subject to variable water table height during freezing. *Cold Regions Science and Technology*.
- History of Geodesy (2011). *Nivellement*. Tilgjengelig fra: http://www.history-of-geodesy.ch/images/upload/Prinzip%20Nivellement_222.jpg (Hentet: 20.02 2012).
- Hoff, Professor Inge (2011). *Tiltak mot telehiving*. Trondheim: NTNU.
- Hoff, Professor Inge (2012). *Samtaler med veileder*. Trondheim.
- Holtz, Robert d. og Kovacs, William D. (1981). *An intruduction to geotechnical engineering*: Englewood Cliffs, N.J. : Prentice-Hall.
- Hudson, Berman D. (1994). Soil organic matter and available water capacity. *Journal of Soil and Water Conservation*, 49 (2): 189-194.
- Kondelchuk, Dmitry (2008). *Studies of the Free Mica Properties and its Influence on the Quality of Road Constructions*. Licentiate: Luleå Luleå University of Technology. 84 s.
- Konrad, J.M og Duquennoi, C. (1993). A Model for Water Transport and Ice Lensing in Freezing Soils. *Water Resources Research*, 29.
- Konrad, J.M. (1994). Frost Heave in Soils: Concept and Engineering. *Canadian Geotechnical Journal*.
- Konrad, J.M. og Lemieux, N. (2005). Influence of Fines on Frost Heave Characteristics of a Well-graded Base-course material. *Canadian Geotechnical Journal*: 12.
- Kugler, H., Ottner, F., Schwaighofer, B. og Strasser, W. (2005). Frost Susceptibility of Unbound Bases An Improved Mineralogical Assessment. *Scientific note International Journal of Road Materials and Pavement Design*.
- Lalagüe, Anne og Hoff, Inge (2010). *Accuracy of Ground Penetrating Radar in Bituminous Pavement Thickness Evaluation*. Transport Research Arena Europe 2010, Brussels.
- Lalagüe, Anne (2012). *Samtaler og mail angående georadarmålinger*. Trondheim.
- Lay, Russell D. (2005). *Development of a Frost Heave Test Apparatus*: Brigham Young University.
- Mesta Drift (2012). *Samtaler med Gunnar Olav Renå om forhold på Selbuvegen*.
- Meterologisk Institutt (2012). *eKlima - Meterologisk Institutts vær- og klimadata fra historiske data til sanntidsobservasjoner*. Tilgjengelig fra: eklima.met.no (Hentet: feb, mars, apr 2012).

- NGU (2005). *XRD-analyser*. Tilgjengelig fra: http://www.ngu.no/upload/Norges%20geologi/NGU-lab/NGU_LAB_XRD_analyser.pdf (Hentet: 23.04 2012).
- NGU (2012). *Nasjonal Løsmassedatabase*. Tilgjengelig fra: <http://www.ngu.no/kart/losmasse/> (Hentet: 13.04 2012).
- Nordal, Rasmus S. (1996). Drenering og telesikring: Rådgjerder mot telehiving. Notat nr 190. NTNU: Institutt for veg- og jernbanebygging.
- Nordal, Rasmus S. (1997). Teleteknisk Klassifisering. Notat nr. 1037. I: "*Veg og Miljø 2009*". Trondheim: NTNU.
- Norsk Geoteknisk Forening (1982). *Veiledning for symboler og definisjoner i geoteknikk*.
- Noss, Per Magne (1978). *Poresug i jordarter*. Institutt for veg- og jernbanebygging, NTH.
- NTNF og Statens vegvesen (1976). *Sikring mot teleskader - Norges Teknisk-Naturvitenskaplige Forskningsråd og Statens vegvesens utvalg for Frost i jord*.
- NVDB (2012). *ÅDT for vegstrekninger*. NVDB 123: Statens vegvesen.
- Refsdal, Geir og Myhre, Øystein (2005). Frostsikring av veger i Norge - status og utfordringer. I: Myhre, Ø. (red.) *Frost i jord 2005*, s. 35: Statens Vegvesen, Teknologivdelingen.
- Rørvik, Tarald (1982). *Geoteknikk 1 - Jordartenes fysiske egenskaper*: Universitetsforlaget.
- Saxton, K. E. og Rawls, W. J. (2005). Soil Water Characteristic Estimates by Texture and Organic Matter for Hydrologic Solutions. *Soil Science Society of America Journal* 70 (September-October 2006).
- Selmer-Olsen, Rolf (1971). Mineralogiens betydning for kapillariteten. *Frost i Jord*.
- SINTEF (2005). *X-ray Diffractometer (XRD)*. Tilgjengelig fra: <http://www.sintef.no/home/Materials-and-Chemistry/Synthesis-and-Properties/Polymer-Chemistry/X-ray-Diffractometer-XRD/> (Hentet: 23.04 2012).
- Standard Norge (2001). *NS-EN ISO 13793 Bygningers termiske egenskaper, Termisk dimensjonering av fundamenter for å unngå telehiv*.
- Statens vegvesen (2005a). *Frost i Jord 2005*: Teknologivdelingen.
- Statens vegvesen (2005b). *SVV Håndbok 014 Laboratorieundersøkelser*.
- Statens vegvesen (2010). *SVV Håndbok 016 Geoteknikk i vegbygging*.
- Statens vegvesen (2011). *SVV Håndbok 018 Vegbygging*. 523 s.
- Statens vegvesen (2012). *Mail fra Jan Erik Dahlhaug, SVV Region Midt, om aktuelle steder for telehivinspisering*.

Teknisk Ukeblad (2011). - *Vi kan ikke nok om telehiv*. Tilgjengelig fra: <http://www.tu.no/bygg/2011/09/16/-vi-kan-ikke-nok-om-telehiv> (Hentet: 23.03 2012).

UiO Biologisk Institutt (2011). *Myr*. Tilgjengelig fra: <http://www.mn.uio.no/bio/tjenester/kunnskap/plantefys/leksikon/m/myr.html> (Hentet: 16.04 2012).

Uthus, Lillian (2007). *Deformation Properties of Unbound Granular Aggregates*. Trondheim: NTNU, NTNU.

Vegdirektoratet (2011). *Telehiv på norske vegger - hvorfor, og hva kan gjøres for å unngå dette?*

Viklander, Peter (1998). Laboratory Study of Stone Heave in Till Exposed to Freezing and Thawing. *Cold Regions Science and Technology*, 27.

Viklander, Peter og Eigenbrod, Dieter (2000). Stone movements and permeability changes in till caused by freezing and thawing. *Cold Regions Science and Technology*, 31: 11.

Øiseth, Even, Aabøe, Roald og Hoff, Inge (2007). Feltforsøk med sammenligning av frostsikringsmaterialer anvendt i vegbygging. *Frost i Jord 2007*.

Vedlegg

Vedlegg 1 - Oppgavetekst.....	92
Vedlegg 2 - Frostmengdeberegninger.....	95
Vedlegg 3 - Måledata fra måling med nivellement.....	98
Vedlegg 4 - Bilder og data fra glødetapsforsøk.....	100
Vedlegg 5 - Måling av telehiv, metodebeskrivelse.....	102
Vedlegg 6 - Bilder fra preparering av telehivforsøk.....	104
Vedlegg 7 - Temperaturprofil og telehiv fra telehivforsøk.....	109
Vedlegg 8 - Avleste verdier måleur og etterfylling vann under forsøk.....	111
Vedlegg 9 - Verdier sikting.....	113
Vedlegg 10 -Resultater fra Coulteranalyse.....	115

MASTEROPPGAVE

(TBA4940 Veg, masteroppgave)

VÅREN 2012

for

Åshild Hinna

En studie av mekanismene bak telehiving

BAKGRUNN

Frost og dannelse av telehiv er en betydelig skademekanisme for norske veger og koster samfunnet store beløp i form av skader og nedsatt framkommelighet. I Frost i jord prosjektet som gikk på 70-tallet ble det utført betydelig forskning rundt dette temaet, men det har i den senere tid vært liten aktivitet på dette området.

Temaet har blitt spesielt aktuelt i forbindelse med telehivene som ble registrert på en del nye motorveger på Østlandet forrige vinter

OPPGAVE

Kandidaten skal i oppgaven:

- Gjennomgå og presentere relevant litteratur om telehiv.
- Følge opp en/to utvalgt strekning i felt.
 - Beregne faktisk frostmengde for vinteren 2011/12.
 - Måle telehiving med hjelp av nivellement.
 - Grave opp konstruksjonen for å undersøke evt telelinser og ta ut materialprøver.
- Undersøke materialprøvene i laboratoriet.
- Om mulig trekke konklusjoner for forbedringer i sikring av norske veger mot teleskader i framtida.

GENERELT

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

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

Besvarelsen skal inneholde

- standard rapportforside (automatisk fra DAIM, <http://daim.idi.ntnu.no/>)
- tittelside med ekstrakt og stikkord (mal finnes på siden <http://www.ntnu.no/bat/skjemabank>)
- forord
- sammendrag på norsk og engelsk (studenter som skriver sin masteroppgave på et ikke-skandinaviske språk og som ikke behersker et skandinaviske språk, trenger ikke å skrive sammendrag av masteroppgaven på norsk)
- innholdsfortegnelse inklusive oversikt over figurer, tabeller og vedlegg
- om nødvendig en liste med beskrivelse av viktige betegnelser og forkortelser benyttet
- hovedteksten
- referanser til kildemateriale som ikke er av generell karakter, dette gjelder også for muntlig informasjon og opplysninger.
- oppgaveteksten (denne teksten signert av faglærer) legges ved som Vedlegg 1.
- besvarelsen skal ha komplett paginering (sidenummerering).

Besvarelsen kan evt. utformes som en vitenskapelig artikkel. Arbeidet leveres da også med rapportforside og tittelside og om nødvendig med vedlegg som dokumenterer arbeid utført i prosessen med utforming av artikkelen.

Se forøvrig «Råd og retningslinjer for rapportskrivning ved prosjektarbeid og masteroppgave ved Institutt for bygg, anlegg og transport». Finnes på <http://www.ntnu.no/bat/skjemabank>

Hva skal innleveres?

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

Ved innlevering av oppgaven skal kandidaten levere en CD med besvarelsen i digital form i pdf- og word-versjon med underliggende materiale (for eksempel datainnsamling) i digital form (f. eks. excel). Videre skal kandidaten levere innleveringsskjemaet (fra DAIM) hvor både Ark-Bibl i SBI og Fellesstjenester (Byggsikring) i SB II har signert på skjemaet. Innleveringsskjema med de aktuelle signaturene underskrives av instituttkontoret før skjemaet leveres Fakultetskontoret.

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

Besvarelsen er etter gjeldende reglement NTNUs eiendom. Eventuell benyttelse av materialet kan bare skje etter godkjenning fra NTNU (og eksterne samarbeidspartner der dette er aktuelt). Instituttet har rett til å bruke resultatene av arbeidet til undervisnings- og forskningsformål som om

det var utført av en ansatt. Ved bruk ut over dette, som utgivelse og annen økonomisk utnyttelse, må det inngås særskilt avtale mellom NTNU og kandidaten.

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

Helse, miljø og sikkerhet (HMS):

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

Dersom studenten i arbeidet med masteroppgaven skal delta i feltarbeid, tokt, befarng, feltkurs eller ekskursionsjoner, skal studenten sette seg inn i "Retningslinje ved feltarbeid m.m.". Dersom studenten i arbeidet med oppgaven skal delta i laboratorie- eller verkstedarbeid skal studenten sette seg inn i og følge reglene i "Laboratorie- og verkstedhåndbok". Disse dokumentene finnes på fakultetets HMS-sider på nettet, se <http://www.ntnu.no/ivt/adm/hms/>.

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

Innleveringsfrist:

Arbeidet med oppgaven starter 16. januar 2012.

Besvarelsen leveres senest ved registrering i DAIM innen 11. juni 2012 kl 1500.

Faglærer ved instituttet: Inge Hoff

Veileder(eller kontaktperson) hos ekstern samarbeidspartner:

Institutt for bygg, anlegg og transport, NTNU

Dato: 01.06.2012

Underskrift



Faglærer

Vedlegg 2 - Frostmengdeberegninger

Statistikkberegningen for å finne frostmengde F5 og F10 ved bruk av døgntemperaturer:

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

$$F = 24 \times \sum v_{døgn} \quad [\text{h}^{\circ}\text{C}]$$

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

Dette gjøres for alle årene i en valgt 30 års periode.

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

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

- 3) Finner standardavviket for verdiene, s_f , ved bruk av følgende ligning:

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

- 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). 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	0,50	0,95
15	0,51	1,02
20	0,52	1,06
30	0,53	1,09
40	0,54	1,11
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

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

Statistikkberegningen for å finne frostmengde F5 og F10 ved bruk av månedstemperaturer:

Tilsvarende som for ved døgntemperaturer, men punkt 1) erstattes med:

- 1) Frostmengde, F, beregnes ut fra døgnmiddeltemperaturen, $v_{\text{døgn}} [^{\circ}\text{C}]$, i et område ut fra følgende formel:

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

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

Frostmengde Malvikvegen og Selbuvegen ved bruk av døgntemperaturer

Malvikvegen

Værnes: Antall år i beregningen er 30 år, dvs.: $m=30$. Som gir tabellverdiene: $y_{\text{snitt}}=0,54$ og $s_y=1,11$. Ved dimensjonerende frostmengde, F_n , lik 5-års frostmengde, dvs.: F_5 . $n=5$ gir tabellverdi: $y_n=1,50$.

$$F_n = F_{\text{snitt}} + \frac{S_f}{S_y} * (y_n - y_{\text{snitt}})$$

$$F_{10} = 7809 + \frac{4163}{1,11} * (1,50 - 0,54)$$

$$\underline{F_{10} = 11500 \text{ h}^{\circ}\text{C}}$$

Ved dimensjonerende frostmengde, F_n , lik 10-års frostmengde, dvs.: F_{10} . $n=10$ gir tabellverdi: $y_n=2,25$.

$$F_n = F_{\text{snitt}} + \frac{S_f}{S_y} * (y_n - y_{\text{snitt}})$$

$$F_{10} = 7809 + \frac{4163}{1,11} * (2,25 - 0,54)$$

$$\underline{F_{10} = 14200 \text{ h}^{\circ}\text{C}}$$

Kvithamar: Antall år i beregningen er 15 år, dvs.: $m=15$. Som gir tabellverdiene: $y_{\text{snitt}}=0,52$ og $s_y=1,06$. Ved dimensjonerende frostmengde, F_n , lik 5-års frostmengde, dvs.: F_5 . $n=5$ gir tabellverdi: $y_n=1,50$.

$$F_n = F_{\text{snitt}} + \frac{S_f}{S_y} * (y_n - y_{\text{snitt}})$$

$$F_{10} = 8078 + \frac{3410}{1,02} * (1,50 - 0,51)$$

$$\underline{F_{10} = 11400 \text{ h}^{\circ}\text{C}}$$

Ved dimensjonerende frostmengde, F_n , lik 10-års frostmengde, dvs.: F_{10} . $n=10$ gir tabellverdi: $y_n=2,25$.

$$F_n = F_{snitt} + \frac{S_f}{S_y} * (y_n - y_{snitt})$$
$$F_{10} = 8078 + \frac{3410}{1,02} * (2,25 - 0,51)$$
$$\underline{F_{10} = 13900 \text{ h}^\circ\text{C}}$$

Selbuvegen

Selbu Stubbe: Antall år i beregningen er 25 år, dvs.: $m=25$. Som gir tabellverdiene: $y_{snitt}=0,53$ og $s_y=1,09$. Ved dim. frostmengde, F_n , lik 5-års frostmengde, dvs.: F_5 . $n=5$ gir tabellverdi: $y_n=1,50$.

$$F_n = F_{snitt} + \frac{S_f}{S_y} * (y_n - y_{snitt})$$
$$F_{10} = 10111 + \frac{3829}{1,09} * (1,50 - 0,53)$$
$$\underline{F_5 = 13500 \text{ h}^\circ\text{C}}$$

Ved dim. frostmengde, F_n , lik 10-års frostmengde, dvs.: F_{10} . $n=10$ gir tabellverdi: $y_n=2,25$.

$$F_n = F_{snitt} + \frac{S_f}{S_y} * (y_n - y_{snitt})$$
$$F_{10} = 10111 + \frac{3829}{1,09} * (2,25 - 0,53)$$
$$\underline{F_5 = 16200 \text{ h}^\circ\text{C}}$$

Vedlegg 3 - Måledata fra måling med nivellement

Feltmålinger Malvikvegen måleplass 1												
Målepunkt, høydemålinger [cm]												
Dato for måling	A	B	fAB	Endring-AB	C	fAC	Endring-AC	D	fAD	Endring-AD	Dager	
8. feb.	180	149	31	0	150	30	0	147	33	0	1	
23. feb.	169	136	33	2	140	29	-1	135	34	2	15	
1. mar.	171	138	33	1	142	29	0	137	35	1	22	
8. mar.	173	140	33	0	144	29	0	142	31	-3	29	
13. mar.	170	137	34	0	142	29	-1	140	30	-1	34	
23. mar.	174	141	33	-1	145	29	0	145	29	-1	44	
29. mar.	180	148	32	-1	151	29	0	151	29	-1	50	
07. mai	176	144	32	0	147	29	0	148	29	0	89	
1) HP02 km ca 5,598												
2) Rødt tall= fjernet grunnet trolig feil avlesning.												

Feltmålinger Malvikvegen målepass 2											Dager
Målepunkt, høydemålinger [cm]											
Dato for måling	A	B	fAB	Endring-AB	C	fAC	Endring-AC	D	fAD	Endring-AD	
8. feb.	188	180	9	0	155	34	0	171	18	0	1
23. feb.	184	172	12	4	152	32	-2	161	22	5	15
1. mar.	181	165	16	3	159	22	-10	154	27	5	22
8. mar.	185	170	15	-1	163	22	0	154	31	4	29
13. mar.	185	172	13	-2	163	22	0	153	32	1	34
23. mar.	187	182	5	-8	165	21	0	155	32	0	44
29. mar.	188	184	4	-1	166	21	0	156	32	0	50
07.mai	187	183	4	1	166	21	0	156	32	0	89
1) HP02 km ca 5,853											
2) Orange tall=etter oppgraving, ikke sammenlignbart											
3) Rødt tall= fjernet grunnet trolig feil avlesning.											

Vedlegg 4 - Bilder og data fra glødetapsforsøk

1. Cirka 150g av hver prøve tørkes i varmeskap ved 110°C.
2. Prøvene siktes på 500µm sikt. Materiale mindre enn dette brukes videre i testen. Dette tørkes på ny i varmeskap i 2 timer.



3. Prøvene avkjøles i eksikator med tørremiddel (silikagel). Dette for at eventuell fuktighet som fremdeles er tilstede absorberes av tørremiddelet.
4. 10,0g av hver prøve veies opp.



5. Prøvene settes i glødeovn på 450°C i 24 timer (ovn fra geoteknisk lab, NTNU).
6. Restmateriale i prøver etter gløding. Dette veies og humusinnhold finnes.



Tabell 28 Data fra glødetapsforsøk:

Humusinnhold ved glødning:						
Prøve	Vekt prøve m/skål [g]	Vekt materiale før [g]	Vekt skål [g]	Vekt etter [g]	Vekt glødet materiale [g]	Humusinnhold [%]
3	42,20	10,0	32,20	42,06	0,14	1,4
4	38,50	10,0	28,50	38,30	0,20	2,0
5	37,93	10,0	27,93	28,50	9,43	94,3

Vedlegg 5 - Måling av telehiv, metodebeskrivelse

Fremgangsmåten er hentet fra Statens Vegvesens Teknologirapport nr. 2437 «Gjenbruksprosjektet - rapport nr.15: Finstoff i gjenbruksbetong», i rapportens vedlegg 1 (Vegdirektoratet, 2006). Avvik fra denne prosedyren er kommentert i oppgaveteksten.

MÅLING AV TELEHIVING

Generelt

Gjennom dette forsøket bedømmer man telefarligheten til jordarter direkte ved å gjøre de ytre forhold gunstig for dannelsen av islinser i materialet. Ved hjelp av to temperaturlad, ett som gir minusgrader på oversiden av prøven og ett som gir plussgrader i bunnen, får man en frostfront omtrent midt i prøven. Tilgang på vann til frostfronten har man ved at undersiden av prøven står i forbindelse med et vannreservoar. Dermed er to av de tre grunnleggende krav til islinsedannelse til stede. Telehivingen under forsøket vil følgelig være direkte avhengig av materialets telefarlighet.

Utstyr

- Aluminium bunnplate med nippel
- Plastringer (indre diameter 140 mm)
- Kjøleplate med tilførsler
- Trefotet kobberplate
- Belastningsarrangement
- Topplate med måleur
- Slangearrangement for tilførsel av kjølevæske
- Ultra Kryostat – kjøletermostat
- Glassflaske (vannreservoar)
- Temperaturfølere og temperaturregistreringsenhet (skriver og/eller PC)
- Stampesylinder av stål

Utførelse av forsøket

1. Vanninnholdet i jordarten justeres til tilnærmet optimalt vanninnhold ved Standard Proctor.
2. En aluminium bunnplate med en fastmontert plastring klargjøres ved å: - Fylle i destillert vann til det drypper av nippelen. Nippelen plugges. - Filterstein med filterpapir på begge sider legges i. - Destillert vann etterfylles til akkurat i overkant av filterstein.
3. Fire plastringer settes på bunnplaten. Bunnplaten med fire løse plastringer, filterstein og vann veies. En femte plastring legges på og stampesylinderen festes til bunnplaten.
4. Materialet stemples i sylinderen i tre like tykke lag med 38 slag pr lag til ca 100 % Standard Proctor. For å få god heft mellom lagene kan det risses med en kniv.

5. Stampesynderen tas av og prøven sages av mellom de to øverste plastringene slik at prøvehøyden blir 100 mm.
6. Det stikkes opp hull til termoelementene i bunn, midt og topp. Deretter veies prøven med bunnplate og plastringer.
7. Prøven settes i fryseboksen. Vanntilførselen sikres ved å la det dryppe ut av slangen før den kobles til nippelen. Termotrådene stikkes 60-70 mm inn i prøven. Det tettes godt med grease rundt ledningene. Kjøleplaten med belastning samt måleur monteres. Til slutt isoleres apparaturen med løs isopor. Apparaturen med prøve er skissert på figuren på neste side.
8. Prøven kjøres i 4 dager (96 timer) etter innbygging. Temperaturen i topp- og bunnplate skal være hhv -4 °C og +1 °C. Telehiv og temperaturer registreres (minimum) to ganger daglig.
9. Etter frysing tas prøven ut for nærmere undersøkelser. Plastringene fjernes og den frosne prøven kløves vertikalt. Eventuelle islinser registreres. Vanninnholdet bestemmes i fem forskjellige nivåer i prøven.

Vedlegg 6 - Bilder fra preparering av telehivforsøk

1. Prøvene tilsettes 7 % vann minst to døgn før forsøk for vannutjevning, og lagres i lukkede poser for å hindre fordamping. Her er de fire materialene klare til forsøk:



M2 (Malvik 2)

M3 (Malvik 3)

S2 (Selbu 2)

S4 (Selbu 4)

2. Filtersteinene må rengjøres i UV-bad før forsøk. Dette for å sikre rengjøring av porene inne i steinene:



3. Det helles destillert vann i sylindrerens bunnplate. Før nippelen midlertidig plugges med en fyrstikk kontrolleres det at vannkanalen er åpen i bunnplaten, dette gjøres ved å la det dryppe litt vann ut av nippelen til platen:



4. Bunnplate, med to filterpapir, plate, og fire løse ringer veies:



5. To ekstra ringer settes på topp av prøven, og stampesylinder skrus fast rundt prøven for å unngå forskyvelser under komprimering:



6. Prøven komprimeres med Standard Proctor. 3 lag med 38 stampinger per lag:



7. Prøve M2 klar til forsøk. Prøven veies på ny nå som materialet er på plass:



8. Alle de fire prøvene klare til forsøk, fra venstre M2, M3, S2 og S4:



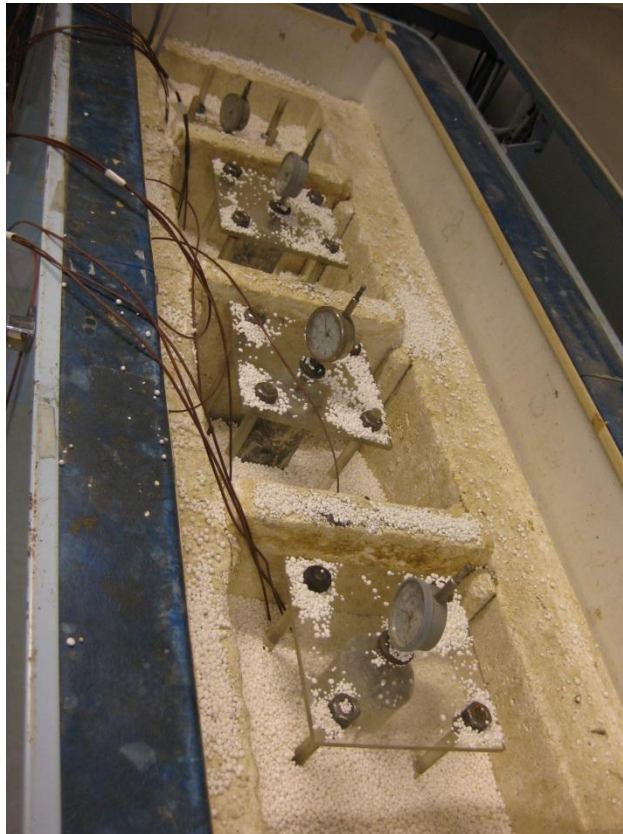
9. Temperaturmålere settes inn i tre ulike høyder i prøven:



10. Prøve plasseres i den avslåtte fryseboksen, med kjøleelement i bunn og topp av prøve. Oppå kjøleelementet plasseres en kobberplate med 6 kg lodd som tilsvarer 15 cm overbygning. På toppen plasseres måleur. I bunnen kobles prøven til vanntilførselen:



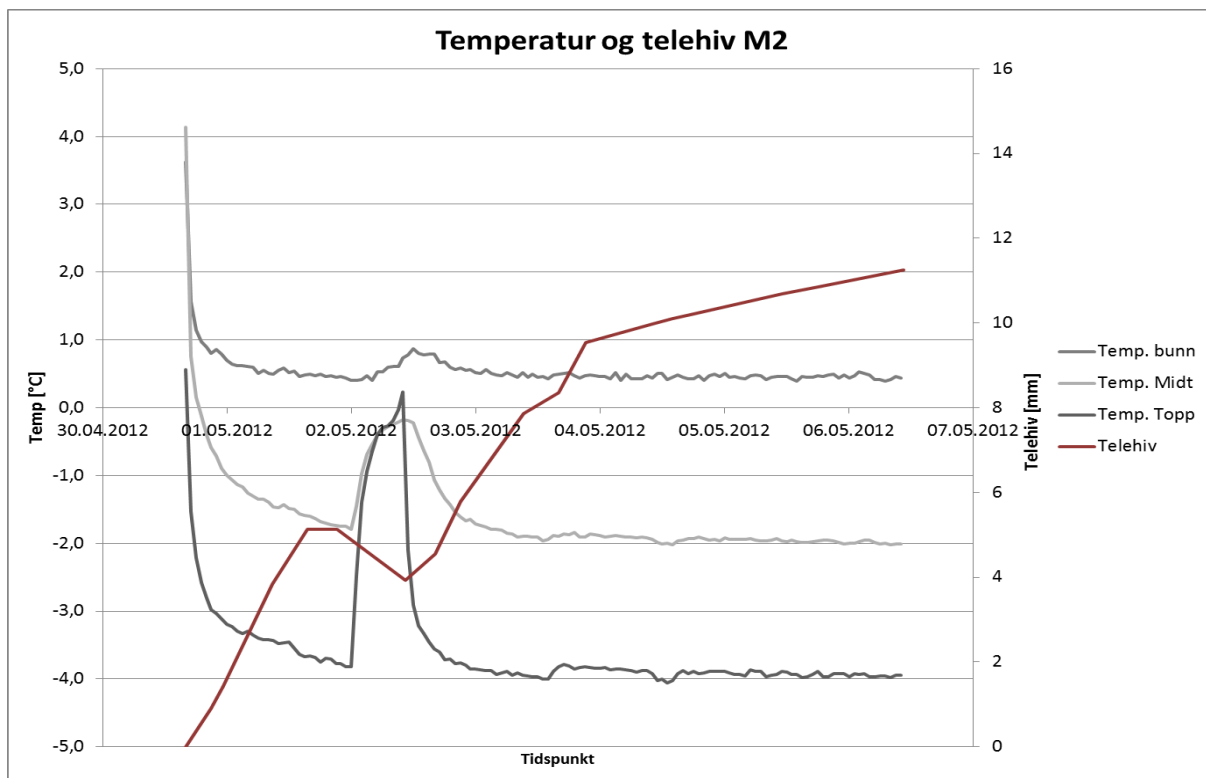
11. Prøvene dekkes tilslutt med isolasjon for å hindre varmetap fra prøvene:



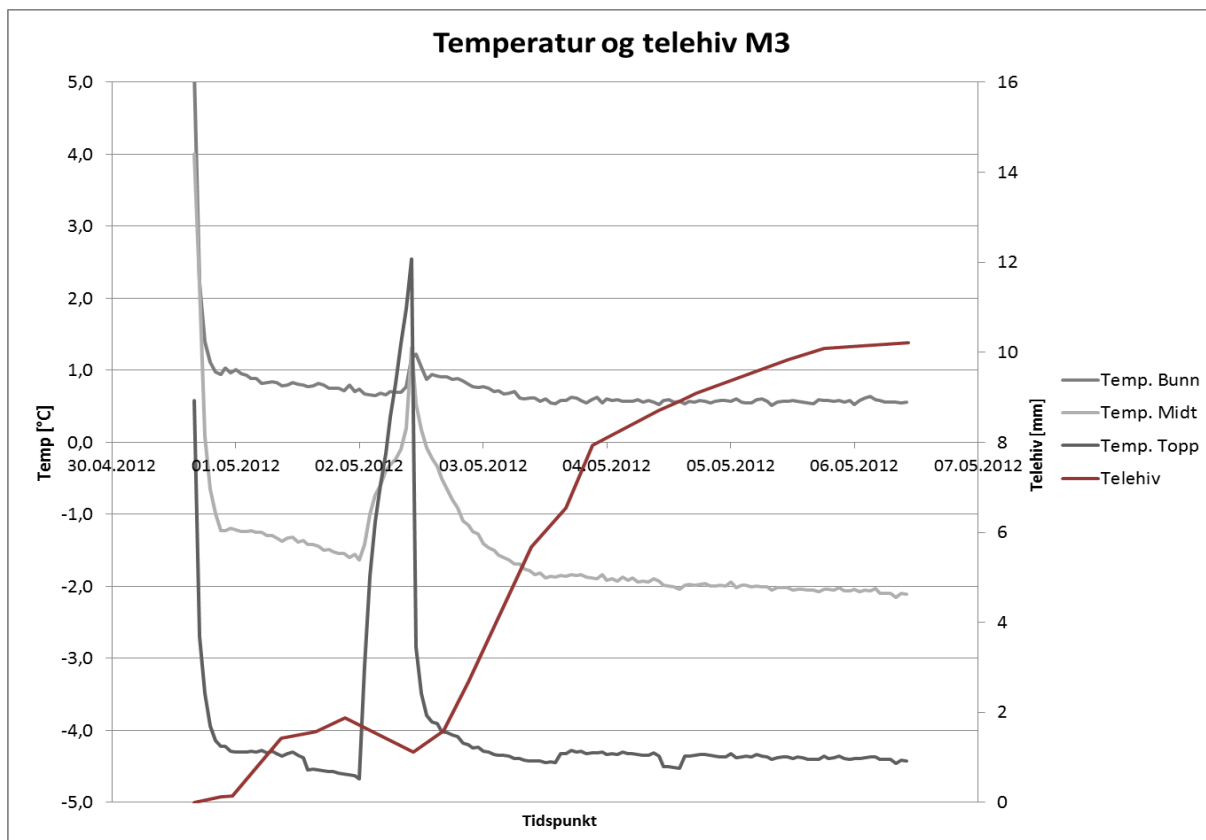
12. Vanntilførsel til prøvene, vannstand i høyde med underkant prøve. Etterfylles under forsøk, viktig å påse at de ikke går tom, dersom vannet går under vannuttak vil det komme luftbobler i ledningen som kan stoppe vanntilførselen:



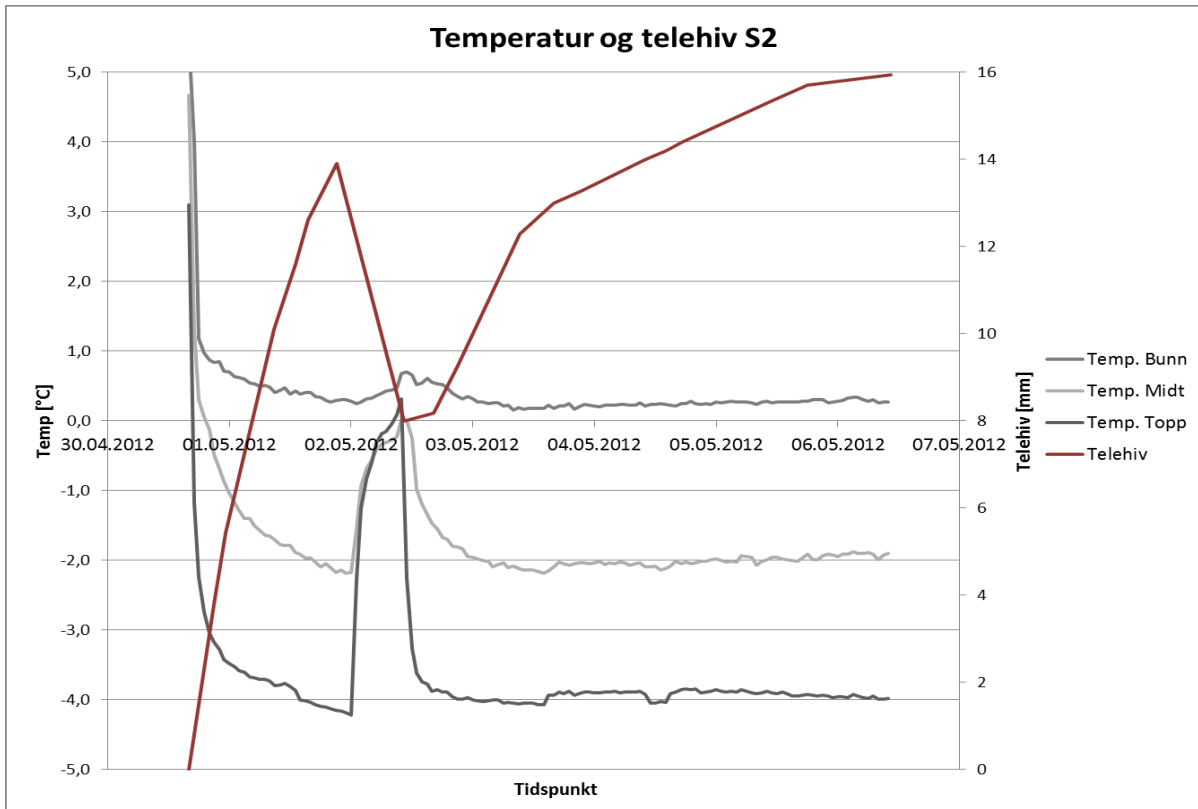
Vedlegg 7 - Temperaturprofil og telehiv fra telehivforsøk



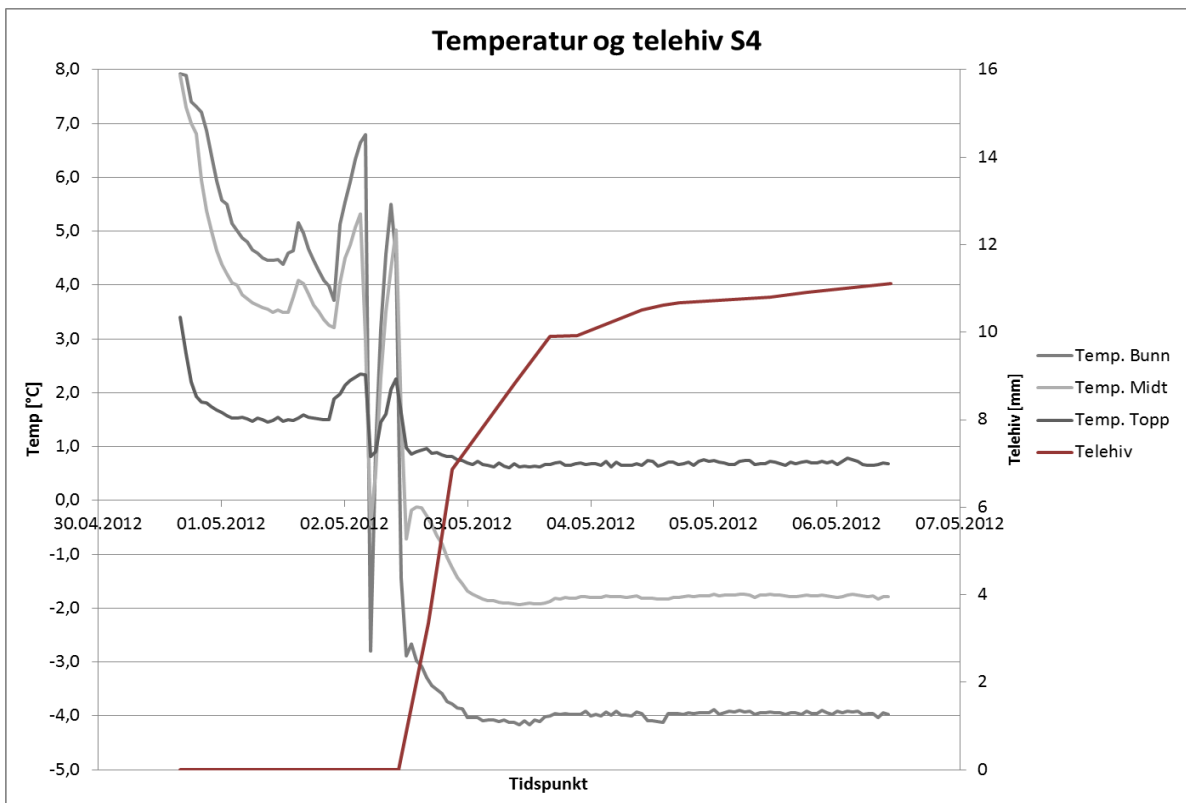
Figur 92 Temperatur og telehiv gjennom forsøksperiode, M2.



Figur 93 Temperatur og telehiv gjennom forsøksperiode, M3.



Figur 94 Temperatur og telehiv gjennom forsøksperiode, S2.



Figur 95 Temperatur og telehiv gjennom forsøksperiode, S4.

Vedlegg 8 - Avleste verdier måleur og etterfylling vann under forsøk

<i>Avleste verdier av telehiv og mengde etterfylt vann i forsøk, prøve M2</i>					
Avlesning/ Etterfylling nr.	Tidspunkt	Timer	Telehiv [mm]	Etterfylling vann [ml]	Vannopptak [ml]
1	30.04.2012 16:00	0,0	0,0	250	0
2	30.04.2012 21:00	5,0	0,9	10	10
3	30.04.2012 23:15	7,3	1,4	10	20
4	01.05.2012 08:45	16,8	3,8	30	50
5	01.05.2012 15:30	23,5	5,1	20	70
6	01.05.2012 21:15	29,3	5,1	10	80
7	02.05.2012 10:30	42,5	3,9	10	90
8	02.05.2012 16:15	48,5	4,6	10	100
9	02.05.2012 21:00	53,0	5,8	15	115
10	03.05.2012 09:15	65,3	7,9	30	145
11	03.05.2012 16:00	72,0	8,4	10	155
12	03.05.2012 21:15	77,3	9,5	10	165
13	04.05.2012 10:00	90,0	10,0	10	175
14	04.05.2012 14:00	94,0	10,1	0	175
15	04.05.2012 17:15	97,3	10,2	5	180
16	05.05.2012 11:00	115,3	10,7	10	190
17	05.05.2012 18:00	122,0	10,9	5	195
18	06.05.2012 10:30	138,5	11,3	10	205

Figur 96 Verdier for prøve M2.

<i>Avleste verdier av telehiv og mengde etterfylt vann i forsøk, prøve M3</i>					
Avlesning/Ette rfylling nr.	Tidspunkt	Timer	Telehiv [mm]	Etterfylling vann [ml]	Vannopptak [ml]
1	30.04.2012 16:00	0,0	0,0	250	0
2	30.04.2012 21:00	5,0	0,1	30	30
3	30.04.2012 23:15	7,3	0,1	10	40
4	01.05.2012 08:45	16,8	1,4	30	70
5	01.05.2012 15:30	23,5	1,6	20	90
6	01.05.2012 21:15	29,3	1,9	10	100
7	02.05.2012 10:30	42,5	1,1	10	110
8	02.05.2012 16:15	48,5	1,6	20	130
9	02.05.2012 21:00	53,0	2,7	15	145
10	03.05.2012 09:15	65,3	5,7	30	175
11	03.05.2012 16:00	72,0	6,5	15	190
12	03.05.2012 21:15	77,3	7,9	10	200
13	04.05.2012 10:00	90,0	8,7	10	210
14	04.05.2012 14:00	94,0	8,9	0	210
15	04.05.2012 17:15	97,3	9,1	10	220
16	05.05.2012 11:00	115,3	9,8	10	230
17	05.05.2012 18:00	122,0	10,1	5	235
18	06.05.2012 10:30	138,5	10,2	30	265

Figur 97 Verdier for prøve M3.

<i>Avleste verdier av telehiv og mengde etterfylt vann i forsøk, prøve S2</i>					
Avlesning/ Etterfylling nr.	Tidspunkt	Timer	Telehiv [mm]	Etterfylling vann [ml]	Vannopptak [ml]
1	30.04.2012 16:00	0,0	0,0	250	0
2	30.04.2012 21:00	5,0	3,8	220	220
3	30.04.2012 23:15	7,3	5,4	130	350
4	01.05.2012 08:45	16,8	10,1	250	600
5	01.05.2012 13:00	21,0	11,6	140	740
6	01.05.2012 15:30	23,5	12,6	80	820
7	01.05.2012 21:15	29,3	13,9	110	930
8	02.05.2012 10:30	42,5	8,0	110	1040
9	02.05.2012 16:15	48,5	8,2	50	1090
10	02.05.2012 21:00	53,0	9,3	60	1150
11	03.05.2012 09:15	65,3	12,3	90	1240
12	03.05.2012 16:00	72,0	13,0	40	1280
13	03.05.2012 21:15	77,3	13,3	30	1310
14	04.05.2012 10:00	90,0	14,0	50	1360
15	04.05.2012 14:00	94,0	14,2	0	1360
16	04.05.2012 17:15	97,3	14,4	20	1380
17	05.05.2012 11:00	115,3	15,4	30	1410
18	05.05.2012 18:00	122,0	15,7	20	1430
19	06.05.2012 10:30	138,5	15,9	10	1440

Figur 98 Verdier for prøve S2.

<i>Avleste verdier av telehiv og mengde etterfylt vann i forsøk, prøve S4</i>					
Avlesning/ Etterfylling nr.	Tidspunkt	Timer	Telehiv [mm]	Etterfylling vann [ml]	Vannopptak [ml]
1	30.04.2012 16:00	0,0	0,0	250	0
2	30.04.2012 21:00	5,0	0,0	170	170
3	30.04.2012 23:15	7,3	0,0	110	280
4	01.05.2012 08:45	16,8	0,0	220	500
5	01.05.2012 15:30	23,5	0,0	90	590
6	01.05.2012 21:15	29,3	0,0	10	600
7	02.05.2012 10:30	42,5	0,0	10	610
8	02.05.2012 16:15	48,5	3,4	50	660
9	02.05.2012 21:00	53,0	6,9	60	720
10	03.05.2012 09:15	65,3	8,9	70	790
11	03.05.2012 16:00	72,0	9,9	30	820
12	03.05.2012 21:15	77,3	9,9	15	835
13	04.05.2012 10:00	90,0	10,5	20	855
14	04.05.2012 14:00	94,0	10,6	0	855
15	04.05.2012 17:15	97,3	10,7	10	865
16	05.05.2012 11:00	115,3	10,8	20	885
17	05.05.2012 18:00	122,0	10,9	10	895
18	06.05.2012 10:30	138,5	11,1	10	905

Figur 99 Verdier for prøve S4.

Vedlegg 9 - Verdier sikting

M2:

Utført av: Åshild 07.05.2012		SIKTEANALYSE			
Materiale:		M2 (Fra utgraving Malvikvegen)			
Total tørrmasse, M2 kg =		5,892	Ikke telehivtestet materiale		
Siktåpningsstørrelse mm	Akkumulert rest 1 (ΣR_i) kg	Akkumulert rest 2 (ΣR_i) kg	Akkumulert rest sum (ΣR_i) kg	Akkumulert rest ($\Sigma R_i/M_1 \times 100$) %	Gjennomgang masseprosent %
16	0	0	0	0	100
11,2	0,09	0,073	0,163	3	97
8	0,168	0,166	0,334	6	94
4	0,384	0,489	0,873	15	85
2	0,59	0,809	1,399	24	76
1	1,062	1,307	2,369	40	60
0,5	1,678	1,779	3,457	59	41
0,25	2,192	2,18	4,372	74	26
0,2					22
0,125	2,467	2,385	4,852	83	17
0,063	2,828	2,581	5,409	92	8
0,02					4
0,002					1
0	3,068	2,801	5,869	100	0

Orange verdier: Interpolerte med antagelse om lineær sammenheng mellom siktene, samt ved bruk av verdier fra Coulteranalyse.

M3:

Utført av: Åshild 07.05.2012		SIKTEANALYSE		
Materiale:		M3 (Fra utgraving Malvikvegen)		
Total tørrmasse, M3 kg =		2,931	Ikke telehivtestet materiale	
Siktåpningsstørrelse mm	Akkumulert rest 1 (ΣR_i) kg	Akkumulert rest sum (ΣR_i) kg	Akkumulert rest ($\Sigma R_i/M_1 \times 100$) %	Gjennomgang masseprosent %
16	0	0	0	100
11,2	0	0	0	100
8	0,015	0,015	1	99
4	0,262	0,262	9	91
2	0,679	0,679	23	77
1	1,055	1,055	36	64
0,5	1,317	1,317	45	55
0,25	1,556	1,556	53	47
0,2				43
0,125	1,805	1,805	62	38
0,063	2,277	2,277	78	22
0,02				14
0,002				3
0	2,913	2,913	100	0

Orange verdier: Interpolerte med antagelse om lineær sammenheng mellom siktene, samt ved bruk av verdier fra Coulteranalyse.

S2:

Utført av: Åshild		SIKTEANALYSE	
Dato: 07.05.2012			
Materiale:		S2 (Fra utgraving Selbuvegen)	
Total tørrmasse, M ₂ kg =		4,275 <i>Ikke telehivtestet materiale</i>	
Siktåpningsstørrelse mm	Akkumulert rest 1 (ΣR _i) kg	Akkumulert rest (ΣR _i /M ₁ x 100) %	Gjennomgang masseprosent %
16	0	0	100
11,2	0,2	5	95
8	0,494	12	88
4	1,211	28	72
2	1,828	43	57
1	2,431	57	43
0,5	2,871	67	33
0,25	3,131	73	27
0,2			25
0,125	3,353	79	21
0,063	3,875	91	9
0,02			6
0,002			1
0	4,269	100	0

Orange verdier: Interpolerte med antagelse om lineær sammenheng mellom siktene, samt ved bruk av verdier fra Coulteranalyse.

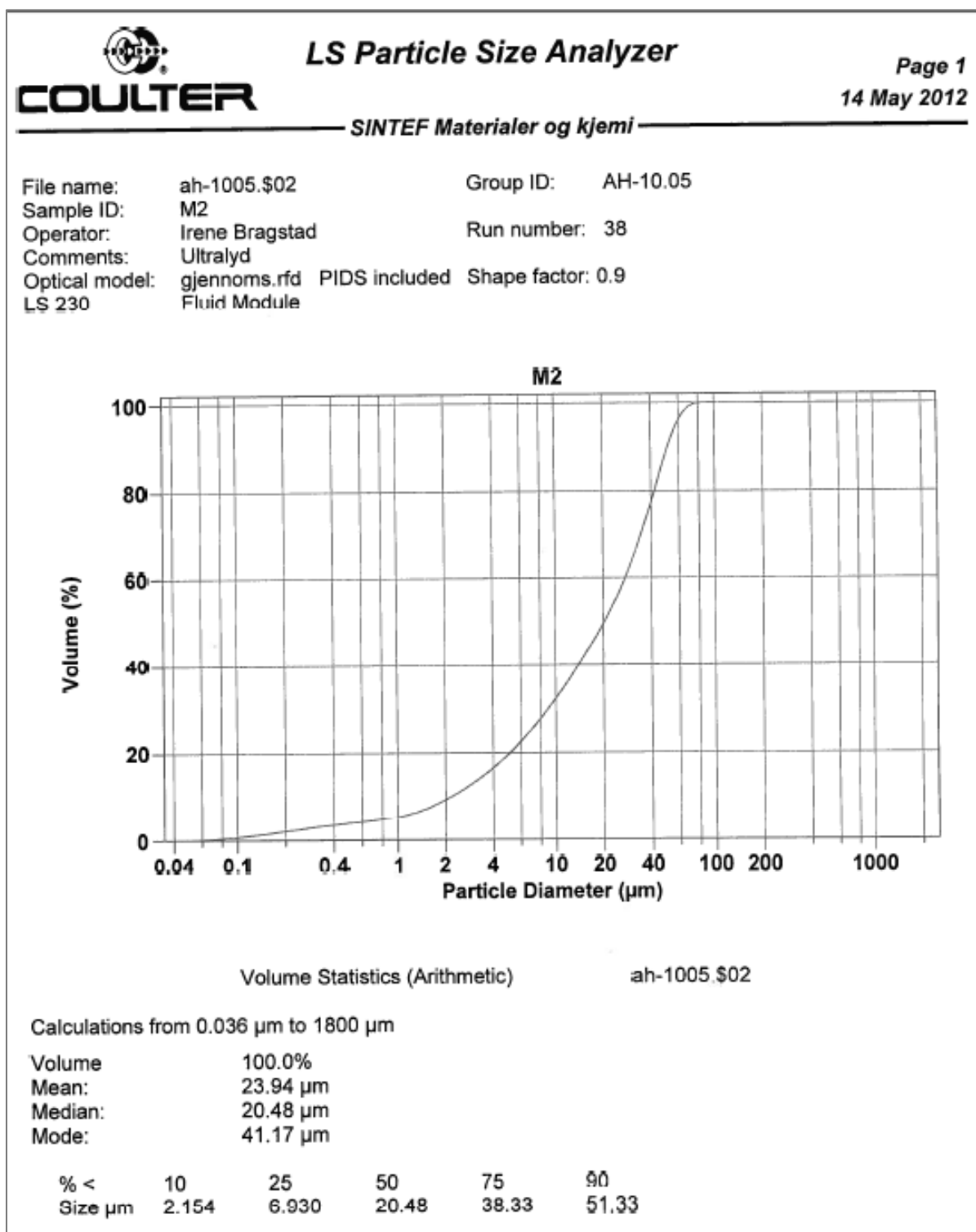
S4:


Utført av: Åshild		SIKTEANALYSE	
Dato: 07.05.2012			
Materiale:		S4 (Fra utgraving Selbuvegen)	
Total tørrmasse, M ₄ kg =		3,134 <i>Ikke telehivtestet materiale</i>	
Siktåpningsstørrelse mm	Akkumulert rest 1 (ΣR _i) kg	Akkumulert rest (ΣR _i /M ₁ x 100) %	Gjennomgang masseprosent %
16	0	0	100
11,2	0,35	11	89
8	0,509	16	84
4	0,886	28	72
2	1,025	33	67
1	1,338	43	57
0,5	1,607	52	48
0,25	1,844	59	41
0,2			37
0,125	2,123	68	32
0,063	2,402	77	23
0,02			16
0,002			1
0	3,114	100	0

Orange verdier: Interpolerte med antagelse om lineær sammenheng mellom siktene, samt ved bruk av verdier fra Coulteranalyse.

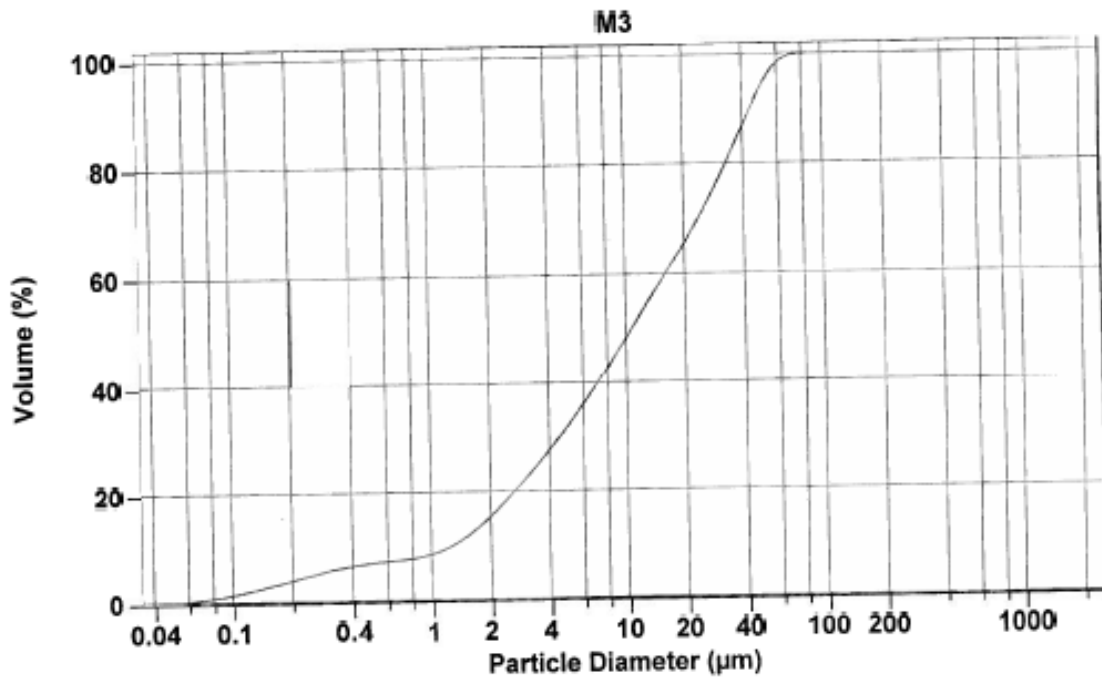
Vedlegg 10 - Resultater fra Coulteranalyse

M2 side 1:



		LS Particle Size Analyzer		Page 2
		<i>SINTEF Materialer og kjemi</i>		14 May 2012
ah-1005.\$02				
Particle Diameter	Volume % <			
μm				
0.500	3.88			
1.000	5.42			
5.000	19.7			
10.00	32.3			
20.00	49.3			
40.00	77.2			
60.00	96.0			
80.00	99.9			
100.0	100			
200.0	100			
400.0	100			
600.0	100			
800.0	100			
1000	100			
ah-1005.\$02				
Channel Diameter (Lower)	Cum. < Volume %	Channel Diameter (Lower)	Cum. < Volume %	
μm		μm		
0.036	0	1029	100	
0.057	0.089	1640	100	
0.092	0.58			
0.146	1.41			
0.232	2.41			
0.371	3.35			
0.591	4.17			
0.942	5.23			
1.502	7.32			
2.394	11.0			
3.817	16.0			
6.085	22.8			
9.702	31.6			
15.46	42.5			
24.64	55.9			
39.29	76.3			
62.66	97.3			
99.90	100			
159.1	100			
253.9	100			
404.7	100			
645.2	100			

File name: ah-1005.\$07 Group ID: AH-10.05
 Sample ID: M3
 Operator: Irene Bragstad Run number: 44
 Comments: Ultralyd
 Optical model: gjennoms.rfd PIDS included Shape factor: 0.9
 LS 230 Fluid Module




Volume Statistics (Arithmetic)

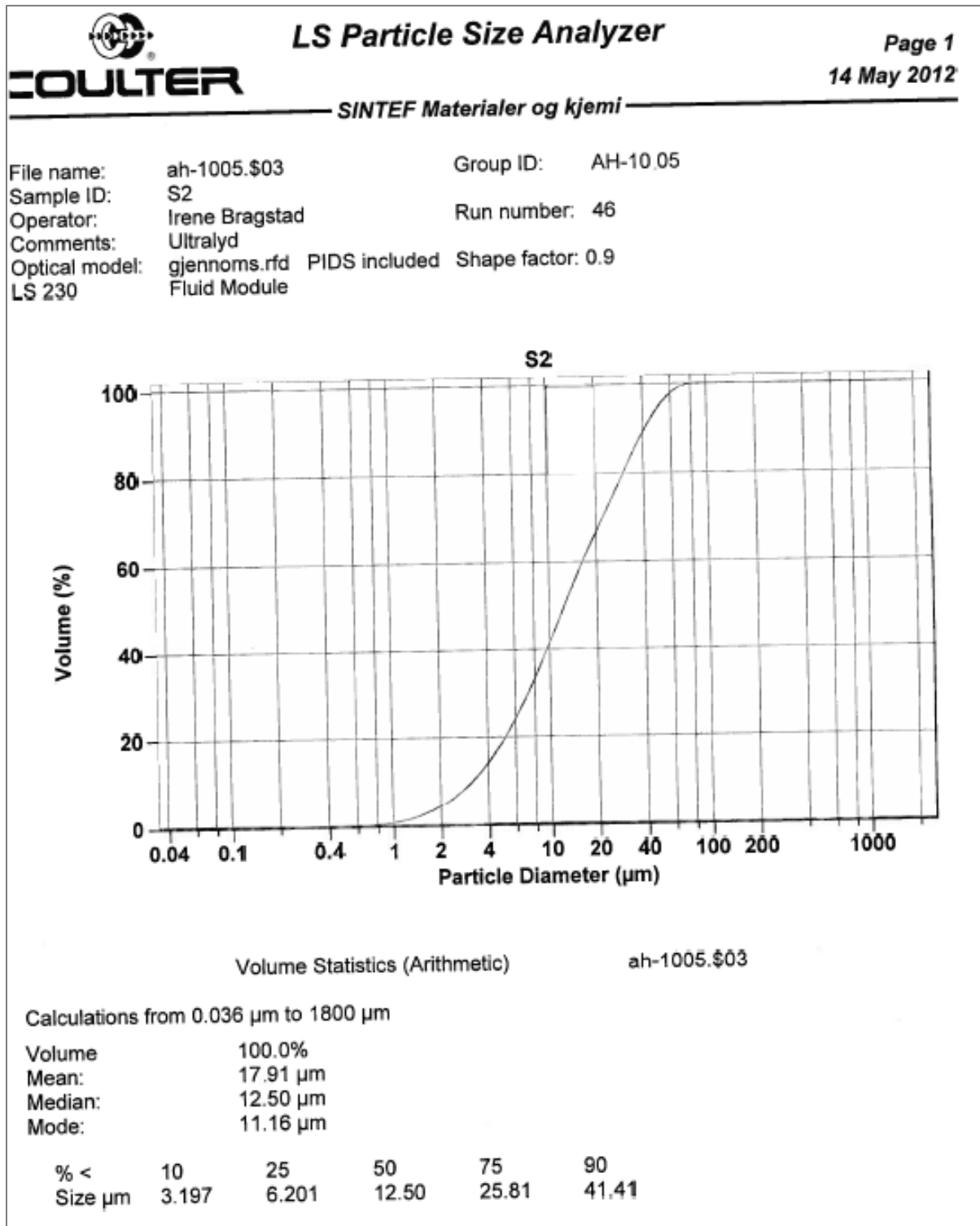
ah-1005.\$07


Calculations from 0.036 µm to 1800 µm

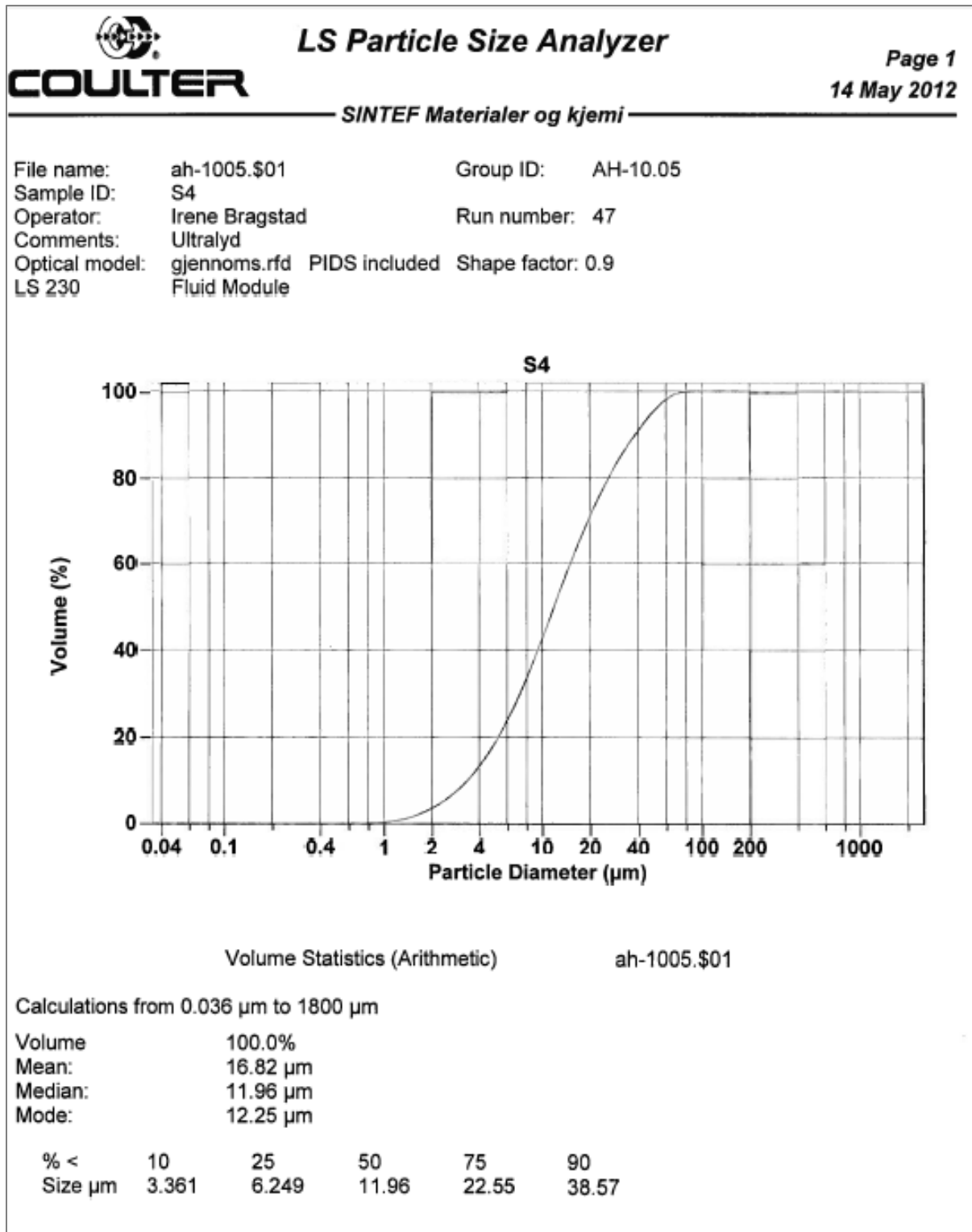
Volume 100.0%
 Mean: 17.30 µm
 Median: 10.73 µm
 Mode: 41.17 µm


% <	10	25	50	75	90
Size µm	1.280	3.524	10.73	28.17	44.06

		LS Particle Size Analyzer		Page 2
		SINTEF Materialer og kjemi		14 May 2012
ah-1005.\$07				
Particle Diameter	Volume % <			
μm				
0.500	6.89			
1.000	8.43			
5.000	31.9			
10.00	48.2			
20.00	65.4			
40.00	86.6			
60.00	98.2			
80.00	100.0			
100.0	100			
200.0	100			
400.0	100			
600.0	100			
800.0	100			
1000	100			
ah-1005.\$07				
Channel Diameter (Lower)	Cum. < Volume %	Channel Diameter (Lower)	Cum. < Volume %	
μm		μm		
0.036	0	1029	100	
0.057	0.16	1640	100	
0.092	1.06			
0.146	2.63			
0.232	4.53			
0.371	6.20			
0.591	7.16			
0.942	8.18			
1.502	11.5			
2.394	18.2			
3.817	26.5			
6.085	36.3			
9.702	47.5			
15.46	59.1			
24.64	71.1			
39.29	86.0			
62.66	98.9			
99.90	100			
159.1	100			
253.9	100			
404.7	100			
645.2	100			



		LS Particle Size Analyzer		Page 2
		SINTEF Materialer og kjemi		14 May 2012
ah-1005.\$03				
Particle Diameter	Volume % <			
μm				
0.500	0.0026			
1.000	0.60			
5.000	19.1			
10.00	41.4			
20.00	66.8			
40.00	89.0			
60.00	97.9			
80.00	99.9			
100.0	100			
200.0	100			
400.0	100			
600.0	100			
800.0	100			
1000	100			
ah-1005.\$03				
Channel Diameter (Lower)	Cum. < Volume %	Channel Diameter (Lower)	Cum. < Volume %	
μm			μm	
0.036	0	1029	100	
0.057	0	1640	100	
0.092	0			
0.146	0			
0.232	0			
0.371	0			
0.591	0.026			
0.942	0.47			
1.502	2.18			
2.394	6.08			
3.817	13.1			
6.085	24.4			
9.702	40.3			
15.46	58.0			
24.64	73.5			
39.29	88.6			
62.66	98.5			
99.90	100			
159.1	100			
253.9	100			
404.7	100			
645.2	100			



		LS Particle Size Analyzer		Page 2	
COULTER		SINTEF Materialer og kjemi		14 May 2012	
ah-1005.\$01					
Particle Diameter	Volume % <				
μm					
0.500	0.000014				
1.000	0.32				
5.000	18.5				
10.00	42.4				
20.00	70.7				
40.00	90.8				
60.00	98.0				
80.00	99.9				
100.0	100				
200.0	100				
400.0	100				
600.0	100				
800.0	100				
1000	100				
ah-1005.\$01					
Channel Diameter (Lower)	Cum. < Volume %	Channel Diameter (Lower)	Cum. < Volume %		
μm		μm			
0.036	0	1029	100		
0.057	0	1640	100		
0.092	0				
0.146	0				
0.232	0				
0.371	0				
0.591	0.0011				
0.942	0.23				
1.502	1.61				
2.394	5.29				
3.817	12.3				
6.085	24.2				
9.702	41.2				
15.46	60.9				
24.64	78.0				
39.29	90.4				
62.66	98.6				
99.90	100				
159.1	100				
253.9	100				
404.7	100				
645.2	100				