



Statens vegvesen

Frost i Jord 2009

Frost in Ground 2009

PUBLIKASJON

Teknologiavdelingen

nr. 110



Frost i Jord 2009

Frost in Ground 2009

Redaktør/Editor: Øystein Myhre

Produksjon: Statens vegvesen Vegdirektoratet
Opplag: 400
Forsidebilde: Utsikt fra Breitinden utover Børaplatået over Romsdalen. Deler av Breitinden og Børaplatået er kraftig oppsprukket og har flere ustabile fjellparti. (Foto: Ketil Isaksen)

Innhold

Contents

Ivar Horvli	Forord / <i>Preface</i>	4
Hervé Colleuille Stein Beldring Lars Egil Haugen	Fra overvåkning til simulering og prognosering av frost i jord <i>From monitoring to simulation and forecasting of soil frost</i>	7
Trond Eiken Ketil Isaksen	Fjellskred og permafrost: Kartlegging av ustabile område med GNSS-målinger og temperaturlogger <i>Rockfall and permafrost: Mapping of unstable areas by use of GNSS survey and temperature data loggers</i>	19
Jan Otto Larsen	Sustainability of the transport sector in Norwegian Arctic to climate change <i>Robusthet av transport-infrastruktur i arktisk Norge med hensyn på klimaendringer</i>	32
Geir Berntsen Geir Refsdal	Road icing – Norwegian experience and design practice <i>Ising på vegdekker – norske erfaringer og dimensjoneringsregler</i>	43
Alexander Slobodinski	Utfordringer knyttet til frost for landkarløse bruer <i>Frost related problems and integral bridges</i>	53
Marit Bratland Pedersen Øyvind Skeie Hellum	En sammenstilling av grunnundersøkelser i Longyearbyen <i>Summary of geotechnical investigations in Longyearbyen</i>	63
Vedlegg 1 / <i>Appendix 1</i>	Oversikt ”Frost i Jord”-komitéens medlemmer, mandat, arbeidsområde <i>Overview Frost in Ground committee members, mandate, topics, products</i>	69
Vedlegg 2 / <i>Appendix 2</i>	Oversikt – publikasjoner ”Frost i Jord” <i>Publications from Frost in Ground</i>	71
Vedlegg 3 / <i>Appendix 3</i>	Oversikt – publikasjoner fra Vegdirektoratet, Teknologiavdelingen <i>Overview Publications from the NPRA, Technology Division</i>	75

Forord

Komité Frost i Jord er en fagkomité under Norsk Geoteknisk Forening, og utgivelse av publikasjonen *Frost i Jord* er et hovedmål for komitéen. 2009-utgaven omhandler målemetoder for overflateendringer i permafrostområder, klimaets betydning for skred i permafrostområder og vegrelaterte tema som overflateising på vegdekker og frostens betydning for brofundamentering. I tillegg er en studentoppgave ved UNIS om grunnforhold i Longyearbyen omtalt.

Komitéen Frost i Jord vil med dette takke alle som har bidratt med artikler og annet stoff til  rets publikasjon. En spesiell takk rettes til Statens vegvesen for støtte som har gjort denne utgivelsen mulig.

Ivar Horvli



Trondheim, 20. januar 2010

Preface

The Frost in Ground Committee is affiliated to the Norwegian Geotechnical Society, and submission of the publication Frost in Ground is one of the main goals for the committee. The 2009 issue gives some results from monitoring and mapping of unstable areas in permafrost, the climate influence of rock fall and topics related to road infrastructure vulnerability, road surface icing and bridge foundation in permafrost. A short article from a Master study at UNIS on geotechnical surveying in Longyearbyen is also given.

The Frost in Ground Committee acknowledges all who have contributed to this year's issue of the publication. In particular we would like to acknowledge the Norwegian Public Roads Administration for sponsoring this publication.

Ivar Horvli



Trondheim, January 20, 2010

Fra overvåkning til simulering og prognosering av frost i jord

From monitoring to simulation and forecasting of soil frost

Hervé Colleuille, Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE), (hec@nve.no)

Stein Beldring, Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE), (stb@nve.no)

Lars Egil Haugen, Universitetet for miljø- og Biovitenskap (UMB) (lars.haugen@umb.no)

Summary

Currently, the Norwegian Water Resources and Energy Directorate (NVE) operates 17 soil water monitoring stations located at sites with different climate, terrain, soils and vegetation. The first station was established in the beginning of 1990's and all stations were automated from 2000 with hourly measurement and real-time capability. At these stations soil frost is estimated from manual gauge, electrical resistance blocks, soil temperature and TDR-measurements. Modelling the soil water- and energy-balance are performed with a physically based point model (COUP) and a spatially distributed version of the conceptual HBV-modell. Parameterization and testing of the COUP-model has been performed at 10 different stations. The results from the model simulations demonstrate a relatively good relationship with measured soil frost depth, groundwater level and soil temperature. Simulation of mild winters, with shifts between snow cover and bare soil are however difficult. A preliminary test of the soil frost routine in the HBV-model seems promising, at least for sites with cold and stable winters. An example of a daily map of soil frost created from measurements and model-simulations is shown as an example for presenting soil frost prognosis on a daily base. A Web- and GIS-based system developed for producing snow, water and climate maps will be used to disseminate daily frost maps (www.seNorge.no). This system provides national and local stakeholders with tools for assessing snow-, water- and frost-related risks in a new way.

Frost i jord i en hydrologisk sammenheng

I våre områder er snøsmeltingen en av de viktigste hydrologiske hendelsene i året. Andelen av smeltevannet som raskt når vassdragene, og går til oppfylling av innsjøer og magasiner, avhenger i stor grad av teleforholdene i jorda under snøsmeltingen. Jordas infiltrasjonsevne reduseres sterkt når det er tele i jorda og mesteparten av smeltevannet renner av som overflateavrenning. Er jorda tint når snøsmeltingen skjer, vil mer av vannet transporteres gjennom jorda og eventuelt nå vassdragene til slutt gjennom grunnvannsstrømning. En ofte oversett faktor i prognosesammenheng er at ikke ubetydelige vannmengder kan medgå til oppfylling av jordas vannlager (markvann + grunnvann). Dette indikerer at det kan være store forskjeller i avrenningsmønsteret da dette er en funksjon av teleforholdene i jord.

Kravet til et prognoseverktøy må derfor være at det har en brukbar rutine for beskrivelse av vinterforholdene samt at klimadata fra standard meteorologiske stasjoner kan brukes. Ved Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) brukes det i dag to ulike modeller for utarbeidelsene av prognoser for avrenning: en fysisk basert modell (COUP - Jansson og Karlberg 2004) og en

distribuert versjon av den konseptuelle hydrologiske modellen HBV (Beldring et al. 2003). COUP er en punktmodell, som kan sies å beskrive 1 m², mens HBV er en nedslagsfeltmodell med ruter på 1 km². Tanken er at disse to modelltilnærmingene kan utfylle hverandre og danne grunnlaget for et prognoseverktøy for vann- og energibalansen i jord/nedslagsfelt.

Resultatene beskrevet i artikkelen viser frostforholdene i jord med naturlig snødekke og er derfor ikke direkte overførbare til anvendelser tilknyttet frostsikring m.m. på arealer med tynt eller intet snødekke. Selv om det er de samme prosessene som beskriver frysing/tining i jord, så vil en for estimat av frostsikring tilknyttet veier og bygninger måtte parametrisere modellen for minimalt eller intet snødekke. Eksempler på bruk av en tilsvarende mekanistisk modell i forbindelse med veistrukturer i Sverige er beskrevet av Hansson (2005).

I denne artikkelen gis en kort beskrivelse av prognoseverktøyet tilknyttet frost i jord. Først gis en oversikt over tilgjengelige målinger, deretter en kort beskrivelse av modellene COUP og HBV, inkludert en oppsummering av foreløpige erfaringer med parametriseringen av modellene. Til slutt gis en foreløpig oversikt over hvordan en tenker seg fremstillingen av prognosene i kartform.

Overvåking av frost i jord

De første grundige teleundersøkelser begynte i Norge i 1940-årene, med bl.a. utarbeiding av empiriske formler for prognose av maksimum teledyp i ulike jordmaterialer (Corneliussen, 1959). Formlene, som i utgangspunktet forutsetter at det ikke finnes snø, ble etablert i forbindelse med vei-, jernbane- og anleggsarbeid. På 1970-tallet startet "Utvalget for tilsigsprognoser" de første systematiske undersøkelsene av teledyp under naturlige forhold (Andersen og Ruud, 1977). Dette var et samarbeid mellom NVE, vassdragsregulanter og kraftselskap. Formålet med målingene var å få et bilde av årsvariasjonen i teleforholdene og hvilken effekt dette hadde på avrenningsmønsteret i ulike tilsigsfelt. De fleste teledybdemålingene ble imidlertid nedlagt tidlig på 1980-tallet og det foreligger ingen systematisk analyse av disse målingene.

Fra starten av 1990-tallet har NVE bygd opp et nettverk av markvannsstasjoner. På stasjonene foretas systematisk målinger av jordas vanninnhold, jordtemperatur, grunnvannsstand og teledyp. Kun enkelte av stasjonene er en videreføring av telemålingene igangsatt på 1970-tallet. Nasjonalt observasjonsnett for markvann er et samarbeid mellom flere institusjoner i Norge. NVE, Hydrologisk avdeling, er hovedansvarlig for oppbyggingen og driften av markvannsstasjonene og samler i dag inn data fra 17 stasjoner i Norge (figur 1). BIOFORSK, Universitet for Miljø- og Biovitenskap (UMB), Norges geologiske undersøkelse (NGU) og regulanter (ØTB, GBL, NLB og Statkraft) er hovedsamarbeidspartnere. Stasjonene er lokalisert i områder som skal dekke flest mulige aspekter av norsk geografi, klima og jordarter. Stasjonene er spredt over hele landet fra Svanhovd (Finnmark) i nord til Særheim (Rogaland) i syd. Den siste markvannsstationen ble opprettet i august 2008 i Ny-Ålesund (Svalbard) med spesielt formål å overvåke fryse- og tineprosessene i det aktive laget i permafrosten.

På markvannsstationer vurderes frost i jord ut fra flere typer målinger (Colleuille og Gillebo, 2002):

- (1) Telegrensemåler - Gandahls teledybdemåler. Denne består av et rør med indikatorvæske (metylenblått) nedsatt i et ytre lederør i jorda. Det indre røret kan trekkes opp og øvre og nedre telegrense kan avleses ved hjelp av skifte i væskens farge ved frysing/tining.

- (2) Målinger av elektrisk motstand i motstandsblokker (Watermark) nedsatt på bestemte jorddybder (hver 15. cm ned til ca 100-150 cm dybde). Frysing av vann i jord gir samme effekt som en tørking. Når vannet fryser fører dette til en klar økning i målt elektrisk motstand.
- (3) Målinger av jordtemperatur med sensorer (termistor) på ulike dyp.
- (4) Måling av jordas flytende vanninnhold - Time Domain Reflectometry (TDR). Forekomsten av frost kan avledes fra målingene gjennom klare endringer i jordas vanninnhold over tid.

Pr i dag er det først og fremst automatiske målinger på timebasis med motstandsblokker som er brukt for å avlede øvre og nedre telegrense ved markvannsstasjonene. Målinger av jordtemperatur brukes som hjelpemiddel i tolkning av endringene i resistansmålinger sammen med manuelle avlesninger med telegrensemåler. Resultatene av teledybde målinger ved utvalgte markvannsstationer presenteres hver vinter i NVE's hydrologisk månedsoversikt som er tilgjengelig på www.nve.no og www.bioforsk.no.

Analyse- og prognoseverktøy

De første markvannsstationene ble opprettet på begynnelsen av 1990-tallet, men ble først automatisert i 1999-2000, d.v.s. at man disponerer maksimalt 8 år med daglige måledata. Bruk av modeller gir mulighet til informasjon utover denne perioden både i et historisk perspektiv (utarbeiding av normalverdier for de siste 20-40 årene) og i et prognoseperspektiv (forutsi teledyp, tining/frysing 5-10 dager i fremtiden). I denne sammenhengen har NVE de siste årene tatt i bruk to ulike modeller, en fysisk basert modell (COUP) og en konseptuell hydrologisk modell (HBV).

Fysisk basert COUP-modell

Den svenske modellen COUP (Jansson og Karlberg, 2004) er en modell sammensatt av flere delmodeller og tar for seg grunnleggende hydrologiske, biologiske og kjemiske prosesser i jord-plante-atmosfære systemet. Utgangspunktet for modellen er et dybdeprofil i jorda med eller uten vegetasjonsdekke. Den sentrale delen av modellen bygger på bevaringsloven av masse og energi og på strømming som følge av gradienter i vannpotensialet (Darcy's lov) og temperatur (Fourier's lov). Informasjon om jordas vannretensjon ("pF-kurve"), vannledningsevne, varmekapasitet og varmeledningsevne er nødvendig for løsningen av vann- og energibalansen i jord. For vegetasjonsdekte områder trengs i tillegg informasjon om plantenes vekst og utvikling (rotfordeling, bladarealindeks og bestandshøyde) som funksjon av tid. For vinterhalvåret simuleres blant annet snødekke og frost i jord inkludert effekten av tele på jordas infiltrasjonsevne. Dette er spesielt viktig for våre klimaforhold siden andelen av overflateavrenning i forbindelse med snøsmelting i stor grad styres av teleforholdene i jorda. Meteorologiske data (døgnverdier) som nedbør, temperatur, luftfuktighet, vindhastighet og global stråling er drivvariabler for modellen.

Resultater fra modellsimuleringene er presentert i flere rapporter i en serie kalt "Vann i jord" utgitt av NVE, Hydrologisk avdeling. Rapportene har til hensikt å dokumentere parametrisering og verifisering av modellen under ulike klima-, jord- og vegetasjonsforhold. Modellsimuleringene har vist en relativt god sammenheng med målte verdier (figur 2), noe som har gitt grunnlag for simuleringer for lengre perioder enn måleperioden. På dette grunnlag er "normalverdier" (20 til 45 år) for bl.a. snødybde, snøens vannekvivalent, teledybde, jordtemperatur, fordamping, markvannsunderskudd, grunnvannsdannelse og grunnvanntilslig utarbeidet for enkelte av markvannsstasjonene (figur 3).

Bruk av COUP-simuleringer for daglige oppdateringer kan bare skje for enkelte utvalgte steder og i dag er antallet begrenset til 10. Dataene fra simuleringene er derfor i første omgang brukt i vurderinger av historiske tilstander. Det er mulig å oppdatere modellene når det er ønskelig, men arbeidet er så tidkrevende at programmeringen av en forenklet versjon av COUP-modell med automatisk tilrettelegging av input- og outputdata derfor vurderes. Et kart med fargede punkter som representerer simulert markvannstilstand (markvannsunderskudd i mm vann eller som avvik fra referanseperioden 1990-2006; teledyp i m eller som avvik fra referanseperioden) skal i fremtiden også produseres ved bruk av GIS (ArcGIS).

Distribuert HBV-modell

Den konseptuelle HBV-modellen er den mest brukt hydrologiske modell for simuleringer av tilsig i de nordiske landene. Modellen kan oppfattes som en avansert vannbalanseberegning, der vanntransporten mellom de forskjellige hydrologiske magasinene blir bestemt av vannvolumet i magasinene. I dette arbeidet anvendes det en romlig distribuert versjon av HBV-modellen utviklet av Beldring et al. (2003). Modellen beskriver de viktigste hydrologiske prosessene i nordiske terrenstyper. Inngangsdata er døgnmiddelverdier for nedbør og temperatur. Modellen beregner vannmengde i snø som funksjon av tid, fordampning, vanninnhold i markvanns- og grunnvannsmagasinene og avrenning til vassdrag. Fordampning inkluderer alle former for tap av vann til atmosfæren; transpirasjon fra vegetasjon, intersepsjonstap, fordampning fra sjøer, elver, myr, snømagasin og jordsmonn. Modellen simulerer også massebalansen i isbreer hvor disse forekommer i nedslagsfeltet.

Modellsimuleringene utføres for kvadratiske ruter (1 km²) med tidsoppløsning på ett døgn. Hver rute betraktes som et landskapselement som kan deles i inntil fire elementer som inneholder prosentvis fordeling av henholdsvis to vegetasjonsklasser, andel innsjø og isbre.

Hver vegetasjonsklasse har egne parametere som bestemmer snøakkumulasjon og smelting, intersepsjonskapasitet, maksimalt vanninnhold i markvannsonen og fordampning. De øvrige parametere er identiske for de ulike vegetasjonsklassene.

Den opprinnelige HBV-modellen hadde ingen rutiner for simulering av frost i jord, men det er nå implementerte en rutine basert på arbeidet til Vehviläinen and Motovilov (1989) for beregning av teledyp. Foreløpige resultater (Beldring et al. 2005) viser bra overensstemmelse mellom simulert og observert teledyp (figur 4). Absolutte verdier av teledyp for 1 km² – ruter kan oppfattes som lite relevant eller lite pålitelig siden teledyp kan vise store lokale forskjeller. Til gjengjeld kan relative verdier brukes for en sammenligning mellom år og derved være en nyttig indikator på frost i jord (figur 6 og 7).

Driftprosedyrer for HBV-simuleringer innebærer en automatisk innhenting av klimadata (nedbør og lufttemperatur). Klimadata som anvendes er gridbasert klimadata på 1 km² utarbeidet av met.no (Engeset et al., 2004). Modellen oppdateres hver dag med de siste klimadataene. Prognoser utarbeides også for de kommende 6 dagene basert på prognoser fra met.no. Ved presentasjon av resultatene legges det vekt på å se disse i sammenheng med verdiene for en "normalperiode". Foreløpig brukes perioden 1960-2006 som normalperiode. Hydrologiske kart er produsert automatisk og viser for eksempel følgende parametere: nedbør, lufttemperatur, evapotranspirasjon, snøens vannekvivalent, teledyp, grunnvannstilstand, markvannsunderskudd og total avrenning. De fleste av kartene vil snart være tilgjengelige på nettsiden *seNorge.no* for perioden 1990 og frem til i dag.

Simulert og observert teledyp

Simuleringen av snødekke med COUP omfatter parametrisering av følgende 3 hovedprosesser:

- tilførsel av snø – funksjon av lufttemperatur og nedbør
- endring i snødybde – setning av snøpakken som funksjon av tid
- snøsmelting – funksjon av lufttemperatur, globalstråling og simulert jordvarmefluks

Siden snødyp og snøens tetthet har stor betydning for teleforholdene i vinterhalvåret så er best mulig simulering av teledyp, tidspunkt for snøsmelting og grunnvannsdyp vektlagt ved parametriseringen. En mer detaljert beskrivelse av bakgrunnen for parametersettingen for ulike markvannsstasjoner finnes i NVE-rapportene med hovedtittel "Vann i jord" (Colleuille et al., 2007; Øverlie et al., 2007). Et eksempel med målt og simulert snø- og teledyp samt grunnvannsstand er vist for Groset markvannsstasjon i figur 2. Stasjonen ligger 950 moh på morenejord i et fjellbjørkeskogområde ca 1 km nord for utløpet til Møsvatn i Tinn kommune, Telemark. I området ved markvannsstasjonen foretar NVE også snømålinger med snøpute, og simulert og målt vannmengde i snø viste også en god sammenheng. En kan merke seg at modellen på en brukbar måte beskriver variasjonen fra år til år og får med seg den store teledybden for den kalde vinteren med lite snø 1995/96. Foreløpige erfaringer tilsier at det er vanskeligere å få gode simuleringer av teledyp og også snødyp i milde vintre. Resultatene i figuren viser at dybden til grunnvann simuleres brukbart, og selv om en bommer litt i tid på målte økninger i grunnvannsstand så har en fått frem den store nedgangen i grunnvannsstand vinteren 1995/96. Lite snø kombinert med kaldt vær førte til ekstremt dyp frost med påfølgende rask senkning av grunnvannsstand (2,5 m). Avrenningen målt i Grosetbekken var ekstremt lav (13 % av normalen) i denne perioden inntil snøsmeltingen startet. Den frosne jorda førte også til en større overflateavrenning enn normalt ved snøsmeltingen og reduserte den normale nydannelsen av grunnvann som i 1996 først startet etter vårfloppen (se figur 3). Det skal nevnes at slik COUP er parametrisert så er ikke eventuelle laterale tilførsler fra ovenforliggende terreng tatt med pga at en mangler slike data.

For å vise modellens muligheter som prognoseverktøy vedrørende snø, tele og grunnvannsstand – også for andre jord- og klimaforhold – er målte og simulerte verdier for Kvithamar markvannsstasjon (Stjørdal kommune, Nord-Trøndelag) vist i figur 4. Stasjonen ligger på leirjord på dyrket mark og vegetasjonen er plengras. I figur 4 vises målt og simulert snødyp for perioden

2000-2006. Her kommer vanskeligheten med simuleringene for milde og snøfattige vintre klarere frem, men fortsatt er resultatene bra for kalde vintre. Noe av problemet er antagelig at en bruker døgnmiddelverdier for klimadataene istedenfor data med bedre tidsoppløsning, men en av forutsetningene har hele tiden vært at en skulle kunne bruke data fra vanlige meteorologiske stasjoner. Selv om det er litt større avvik mellom målt og simulert teledyp klarer en fortsatt å få en brukbar tilpasning til målt grunnvannsstand. I samme område som Kvithamar ligger en annen markvannsstasjon på sandjord (Værnes) som viser samme trend for snø- og telesimuleringer.

Figur 5 viser at det er en relativt bra sammenheng mellom simulerte teledyp med HBV-modell og observasjoner på Abrahamsvoll (Aursunden, Sør-Trøndelag). HBV-modellens telerutine er foreløpig ikke testet under andre klimaforhold.

Kart over frostforhold i Norge

Kart som viser markvannsforhold basert på både COUP- og HBV-simuleringer og observasjoner kan lages for hver dag i perioden 1990-2008. Det nåværende systemet er semi-automatisk. Kartene som produseres er basert på statistikk i perioden 1990-2006 både for COUP- og HBV-simuleringer, samt for observasjoner. Kartene i figur 6 fremstiller teledybdeforholdene for 1.4.1996, i en periode hvor det ble observert ekstremt dyp frost. Kartene som viser aktuell frostdybde og avvik fra normalt frostdybde simulert med HBV blir tilgjengelig på www.seNorge.no.

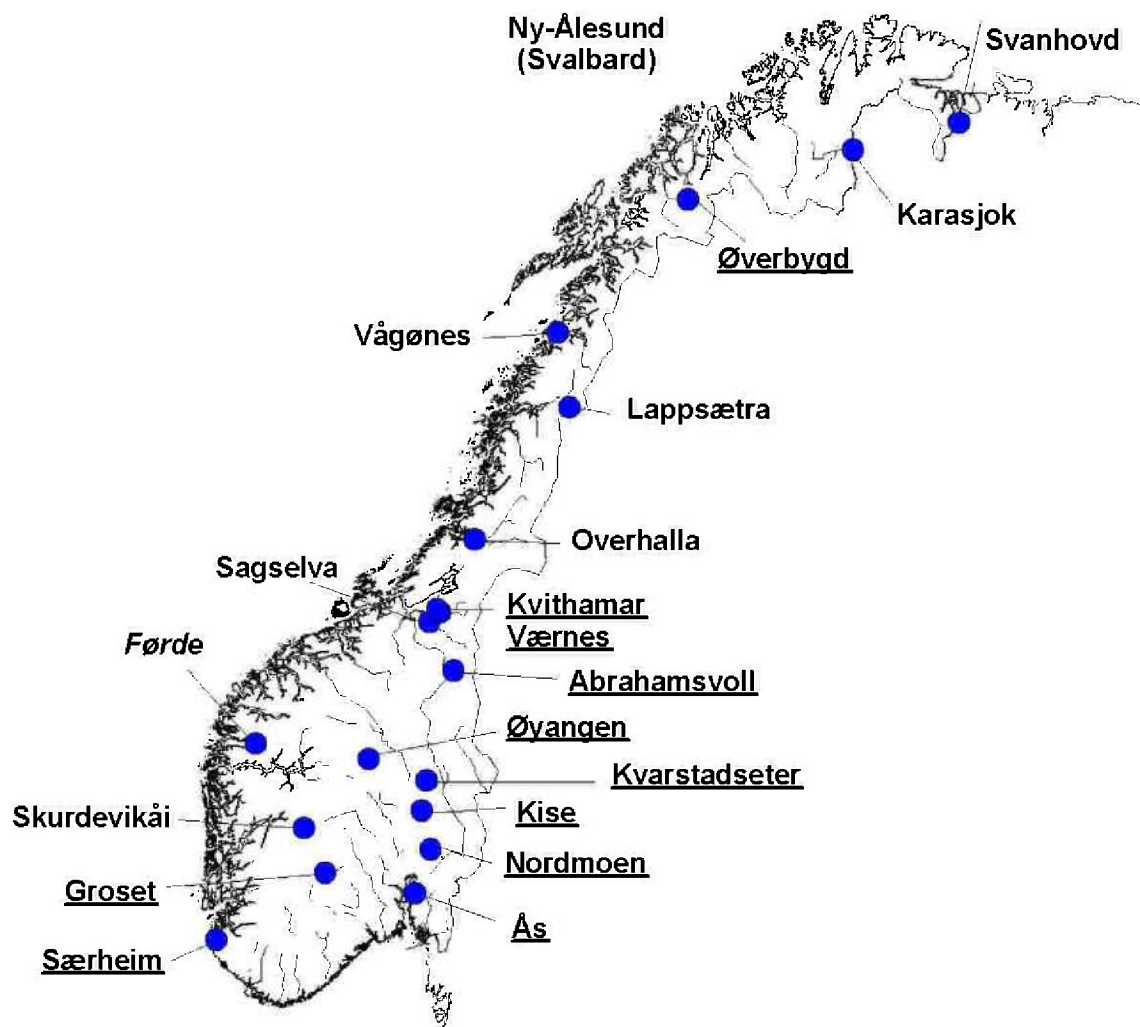
Konklusjon

Frost i bakken kan ha stor betydning for tilsig, oppfyllingen av reguleringsmagasin, flom og skred. NVE, Hydrologisk avdeling, er i ferd med å utvikle et operativt system for automatisk oppdatering av status for grunnvann og markvann (Colleuille et al., 2007; Colleuille et al., 2008). Med status for markvann og grunnvann menes grunnvannsstand, markvannsunderskudd og teledybde i forhold til normalt. Oppdateringen baseres på en kombinasjon av daglige observasjoner og to uavhengige modellsimuleringer: en fysisk basert modell (COUP) og en konseptuell hydrologisk modell (HBV). Systemet er ment å fremstille den naturlige tilstanden i naturen dvs. med snødekke og vegetasjon. Målet med dette arbeidet er å utvikle et system som vil gjøre NVE bedre i stand til å følge opp, analysere og prognosere ekstreme hydrologiske situasjoner (flom, skred, tørke) og analysere tilsig og kraftsituasjon.

Resultater fra utprøving av COUP-modellen på ulike markvannsstasjoner viser at simuleringene gir et brukbart estimat av snø, tele og grunnvannsforholdene i jord. Parametriseringen av vinterforholdene har tatt utgangspunkt i at en ønsket en god forutsigbarhet for tidspunkt for snøsmelting samt økt grunnvannsstand om våren. Erfaringene hittil tilsier at en konsentrerer seg spesielt om en forbedring av parametrisering for milde vintre. De første resultatene av den nye telerutinen i HBV-modellen viser også en relativt bra sammenheng mellom målt og simulert teledyp. Kart som viser daglige naturlige frostforhold i Norge fra 1990 blir tilgjengelige i Web-portal www.seNorge.no.

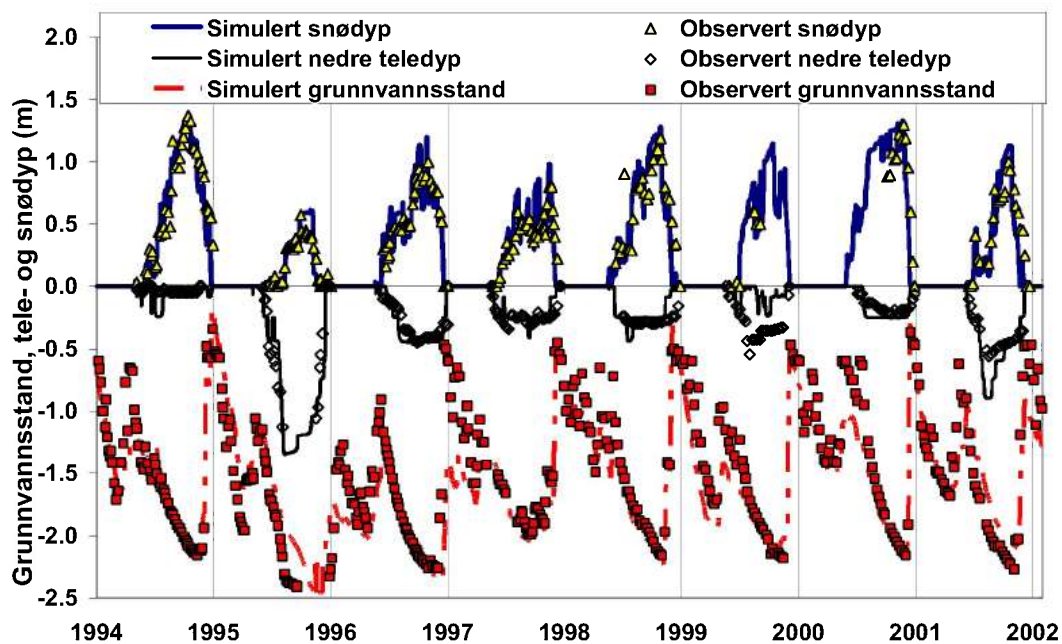
Referanser

- Andersen T. og L. G. Ruud, 1977. Teledybdemålinger ved utvalget for tilsigsprognoser 1973-1976. NVE rapport NR 1-77.
- Beldring S., Engeland K., Roald L.A., Sælthun N.R., Voksø A., 2003. Estimation of parameters in a distributed precipitation-runoff model for Norway. *Hydrology and Earth System Sciences*, 7, 304–316.
- Beldring S., Colleuille H., Haugen L.E., Roald L.A., Øverlie T., 2005. Climate change impacts on hydrological processes in headwater catchments. Headwater Control IAHC konferanse. Bergen, Juni 2005.
- Colleuille H. og E. Gillebo, 2002. Nasjonalt observasjonsnett for markvann. Etablering og vedlikehold av målestasjoner. Måleprosedyrer. Datautarbeiding og dataformidling. NVE rapport 6-2002.
- Colleuille H., Beldring S., Mengistu Z., Wong W.K., Haugen L.E., 2007. Groundwater and Soil Water for Norway based on daily simulations and real-time observations. Chapter 43 (567-579). Series IAH-Selected papers. *Aquifer Systems Management Darcy's Legacy in a World of Impending Water Shortage*. Ed. L. Chery and G. de Marsily.
- Colleuille H., Haugen L.E. og Øverlie T., 2007. Vann i jord. Simulering av vann- og energibalansen på Kise markvannsstasjon, Hedmark. NVE Rapport 8-2007.
- Colleuille H., Haugen L.E. og Øverlie T., 2007. Vann i jord. Simulering av vann- og energibalansen på Groset markvannsstasjon, Telemark. NVE Rapport 19-2007.
- Colleuille H., Holmqvist E., Beldring S. og Haugen L.E., 2008. Betydning av grunnvanns- og markvannsforhold for tilsig og kraftsituasjon. NVE rapport 12-2008.
- Colleuille H., Beldring S., Mengistu Z., Haugen L.E., Øverlie T., Andersen J., and Wong W.K. 2008. Monitoring System for Groundwater and Soil Water based on simulation and real-time observations: The Norwegian Experience. NHC 2008, Iceland. NHC report No. 50.
- Corneliussen E., 1959. Prognose av teledyp. *Teknisk ukeblad* 19-1959.
- Jansson P.E., Karlberg L., 2004. Coupled heat and mass transfer model for soil-plant- atmosphere systems. Royal Institute of Technology, Dept of Civil and Environmental Engineering, Stockholm.
- Engeset R, Tveito O.E., Mengistu Z, Udnæs H.C., Isaksen K., Førland E.J., 2004. Snow Map System for Norway. XXIII Nordic Hydrological Conference. Tallinn. NHP Report No.48, Tartu.
- Hansson, K. 2005. Water and Heat Transport in Road Structures. Development of Mechanistic Models. *Acta Universitatis Upsaliensis. Digital Comprehensive Summaries of Uppsala Dissertations from the Faculty of Science and Technology* No. 23. 69 pp. Uppsala.
- Vehviläinen B. and Motovilov Y., 1989. Simulation of soil frost depth and effect on runoff. *Nordic Hydrology* 20, pp 9-24.
- Øverlie T., Colleuille H., Haugen L.E., 2007. Vann i jord. Simulering av vann- og energibalansen på Kvithamar markvannsstasjon, Nord-Trøndelag. NVE Rapport 18-2007.

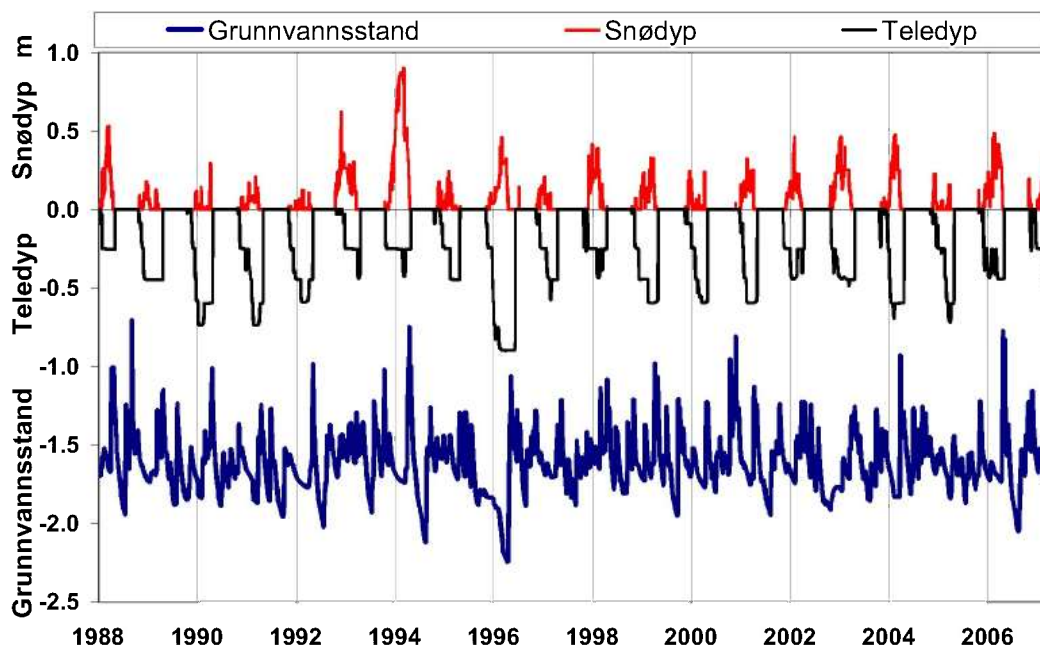


Figur 1. Kart over markvannsstasjoner¹ og parametrisert COUP-modeller (understreket navn).

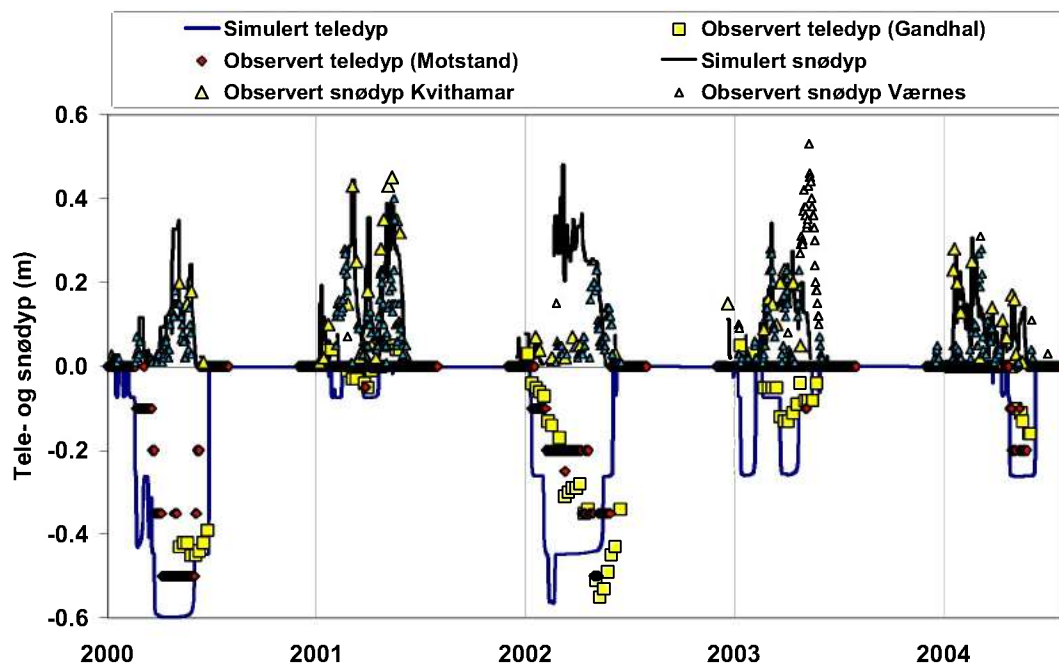
¹ Det måles pr. i dag kun grunnvannsstand på Øyangen og Kvarstadseter.



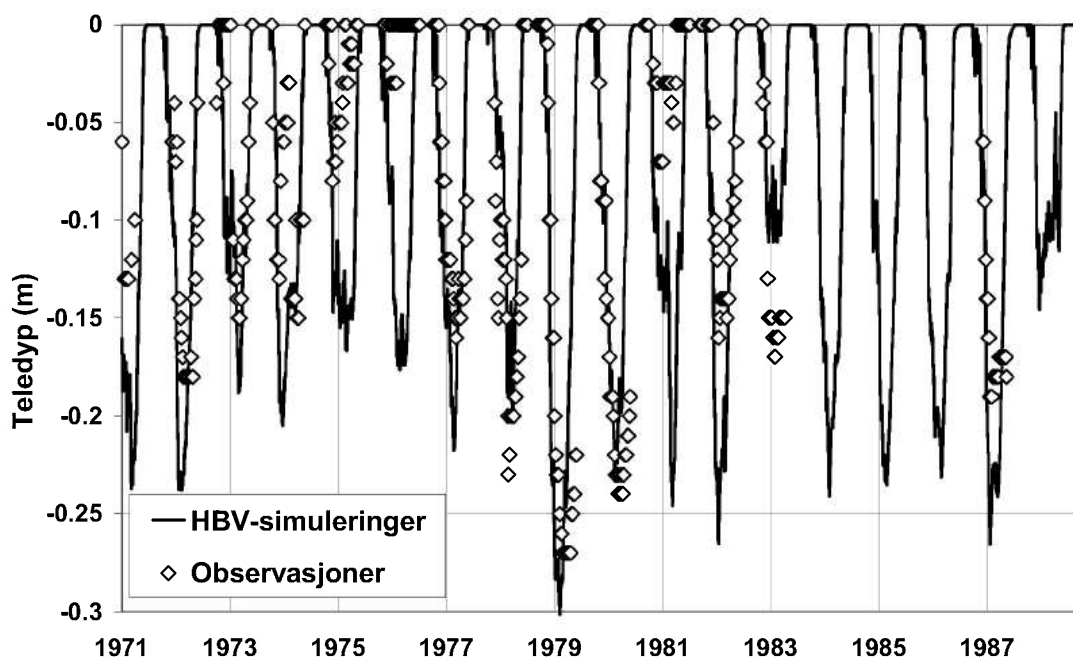
Figur 2. Simulert (COUP) og observert grunnvannsstand, snø- og teledyp på markvannsstasjon Groset (morenejord 950 m o.h.) for perioden 1994 til 2002 (Colleuille et al., 2007).



Figur 3. Simulert (COUP) snø- og teledyp, samt grunnvannsstand på markvannsstasjon Kise (morenejord 127 m o.h.) i perioden 1988-2006 (Colleuille et al., 2007).



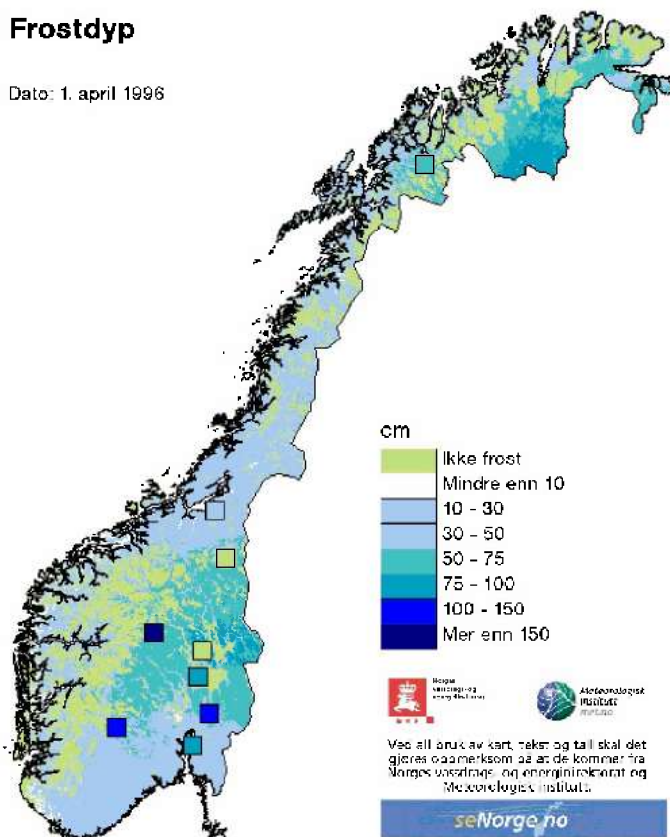
Figur 4. Simulert (COUP) og observert snø- og teledyp på markvannsstasjon Kvithamar (siltig mellomleire 40 m o.h.) i perioden 2000-2006 (Øverlie et al., 2007).



Figur 5. Simulert (HBV) og observert teledyp på markvannsstasjon Abrahamsvoll (morenejord 750 m o.h.) i perioden 1971-1988 (Beldring et al., 2005).

Frostdyp

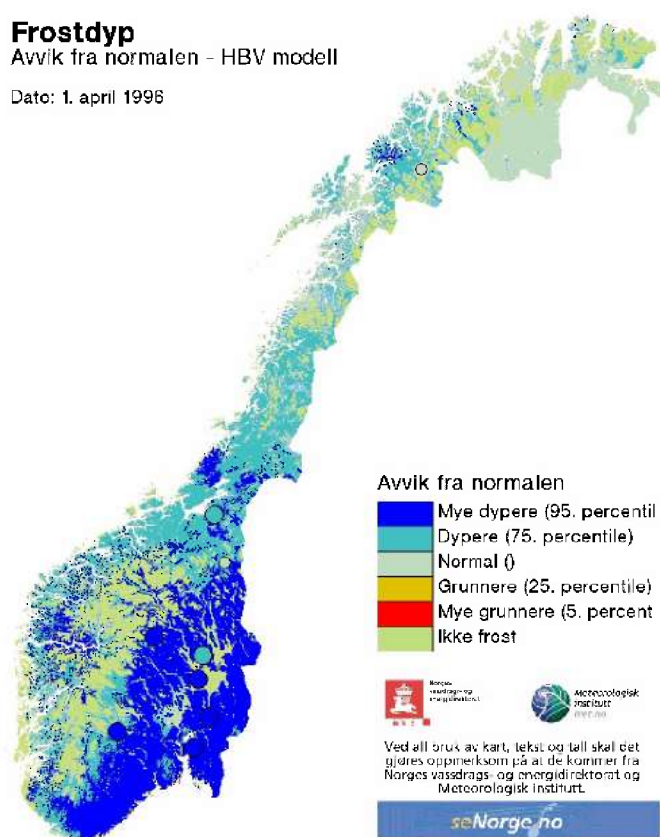
Dato: 1. april 1996



Frostdyp

Avvik fra normalen - HBV modell

Dato: 1. april 1996



Figur 6. Frostdyp angitt i cm under bakken og frostdyp i forhold til normalt (1990-2006) simulert med HBV og COUP (fargede punkter).

Fjellskred og permafrost: Kartlegging av ustabile område med GNSS-målingar og temperaturloggarar

Rockfall and permafrost: Mapping of unstable areas by use of GNSS survey and temperature data loggers

*Trond Eiken, Institutt for geofag, Universitetet i Oslo (trond.eiken@geo.uio.no)
Ketil Isaksen, Meteorologisk institutt, met.no (ketil.isaksen@met.no)*

Summary

Large rock avalanches, which can generate devastating flood waves (tsunamis), are most common in western Norway and in the Troms area in northern Norway. On average, more than one large rock avalanche occurs each century in Norway, some with great consequences. Knowledge of source areas for possible rock slides and avalanches can enable monitoring of such areas to reduce the risk of loss of lives. Use of repeated GNSS measurements of single points over several years can identify movements in rock slopes as a first sign of a rock slope failure in progress. Through early identification of dangerous areas, continuous monitoring systems can be established, and early warning given in a dangerous situation. One method for measurements and analysis has been used and is presented in this paper.

Thawing of permafrost can be one factor in the initiation of rock falls and rockslides, and simple monitoring of ground surface temperatures in a particular area gives a good indication whether permafrost is present or not.

Samandrag

Store fjellskred er hendingar ein har ein eller fleire gongar kvart hundreår i Noreg, ofte med svært store konsekvensar dersom dei går ned i vatn og lagar flodbylgjer. Kunnskap om kvar moglege fjellskred vil kunne gå, og overvaking av slike område, vil kunne redusere risiko for tap av liv ved slike hendingar. Bruk av repeterte GNSS-målingar av punkt over fleire år kan avsløre om det er rørsele i fjellet som eit teikn på at fjellskred kan vere i utvikling. Gjennom tidleg identifisering av fareområde kan kontinuerleg overvaking settast inn for tidleg varsling i ein faresituasjon. Ein metode for måling og analyse som har vore nytta vert presentert. Ein faktor som kan vere med på å utløyse fjellskred er tinande permafrost, og enkle målingar av bakkeoverflatetemperatur gir ein god peikepinn om det kan vere permafrost i eit område.

Permafrostgrenser er ein faktor å ta omsyn til i vurdering av fareområde for fjellskred. Spesielt i Troms er det truleg permafrost i nokre aktuelle område, serleg nordvende fjellsider i høgder på kring 800-1000 meter.

Innleiing

Globale Navigasjons Satellitt System (GNSS), som omfattar det amerikanske GPS (Globalt Posisjons System) og det Russiske GLONASS har vore bruka av landmålarar for presis landmåling i meir enn to tiår. For nokre år sidan tok Lars Harald Blikra ved NGU initiativ til eit nettverksprosjekt mellom NGU, Institutt for geofag ved UiO og met.no, mellom anna for å sjå om GNSS målingar kunne nyttast til kartlegging av stabilitet/rørsle i fjellsider, med omsyn til store fjellskred. Nettverksprosjektet tok og sikte på å kartlegge om permafrost var ein faktor ein måtte ta med i vurderingane i fjellskredsamanheng, både på Møre og i Troms.

Bakgrunn

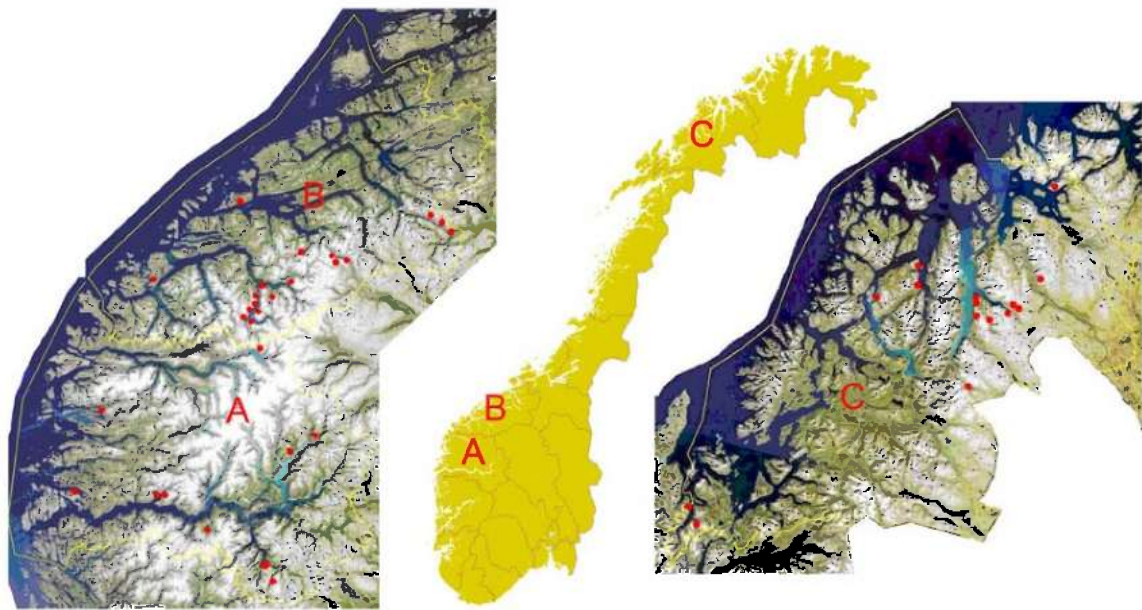
I mange fjellområde kan ein finne stader med større eller mindre sprekker som kan indikere at det har vore eller er rørsle i området. Ofte er det svært vanskeleg å vurdere om rørsle er av ny eller gamal dato. Dersom det er eit område som kan utvikle seg til eit fjellskred, vil kunnskap om det er rørsle vere eit viktig grunnlag for vidare vurdering av eventuell skredfare.

I eit slikt tilfelle vil målingar av nokre punkt med GNSS kunne stadfeste om det er påviseleg rørsle eller ei, og vere ein av fleire faktorar som kan avgjere om det er eit objekt som må fylgjast opp med nærare undersøkingar, eller om det utgjer liten eller ingen fare. Metoden for slik kartlegging er bruka av fleire, til dømes Gili (2000) og Moss (2000), men då med meir fokus mot jordskred.

Dei fyrste målingane i nettverksprosjektet vart i 2003 utført i Møre og Romsdal på Opstadhornet på Otrøya og Børa i Romsdalen. Seinare er det gjort målingar på ei rekkje stader, både i Sogn og Fjordane, Møre og Romsdal og Troms, slik at det til no er gjort repeterte målingar på til saman meir enn 30 stader i desse fylka. Me vil her gi eit lite oversyn over metodar som er nytta i arbeidet og litt om resultatane ein har fått.

Kunnskap om utbreiinga av permafrost og eventuell temperaturutvikling i bratte fjellsider i Noreg er lite studert. Permafrost som tiner verker inn på stabiliteten til bratte skråningar og fjellsider (Kääb 2007). På kort sikt kan ekstremt varme periodar om sommaren og hausten føre til auka fare for steinsprang og fjellskred i område med permafrost, som fylgje av auka tinedjup i det aktive laget over permafrosten. I grenselaget mot permafrosten er det normalt større innhald av is som fyller sprekker og porerom i fjellet. Under oppvarming og tining vil denne sona verte meir ustabil (Davies m.fl. 2001). I bratte fjellskråningar vil dermed ein tjukkare del av fjellet verte utsett for å kunne gli ut. Dette kan i seg sjølv vere nok til at eit skred vert utløyst.

Dei fleste av områda som er undersøkt for mogleg rørsle ligg i høgder på kring 1000 m o.h. Modellar for utbreiing av permafrost i Noreg tilseier at grense for permafrost ligg vesentleg høgare enn dette. I Sør-Noreg er det liten grunn til å tru at permafrost er ein aktiv faktor i dei områda der det har vore gjort GNSS-målingar av rørsle i moglege fjellskred, kanskje med unntak for det høgaste området på Børa/Mannen i Romsdalen som ligg på ca. 1300 m o.h. Dette vil og normalt vere under grensa for permafrost, men lokalitet i nordvendt bratt fjellside med lite innstråling gjer at permafrost kan vere ein faktor. I Troms er det derimot mogleg permafrost i nokre aktuelle område, serleg nordvende fjellsider i høgder på kring 800-1000 meter.



Figur 1. Måleområde for GNSS målingar på moglege fjellskred. Raud prikk indikerer område der det er gjort målingar minst ein gong.

Metode

GNSS, som omfattar både GPS, GLONASS og det framtidige europeiske GALILEO er system for navigasjon og fastlegging av posisjon ved hjelp av satellittar. GPS og GLONASS har eksistert sidan 1980-talet, men berre GPS er i dag fullt utbygt med mange nok satellittar til å gi full dekning 24 timar i døgeret. GLONASS er under oppbygging etter at det i nokre år ikkje har vorte vedlikehalde. GALILEO er i oppstartfasen, og vil ikkje vere utbygt før om fleire år. Dei tre systema brukar ulike satellittar og signal, men signala er like nok til at moderne geodetiske mottakarar kan nytte dei ulike systema samstundes. Føremonene med dette er at det er fleire og betre geometrisk fordelte satellittar på himmelen, noko som er viktig serleg i bratte fjellside der berre deler av himmelen er synleg. Fleire satellittar og betre geometri gir betre presisjon i måleresultata.

Ved navigasjon, der oppgåva er å fastlegge posisjon, måler ein mottakar avstand frå si antenne til minst fire satellittar ved hjelp av eit koda signal sendt frå satellittane – kodemåling i GNSS terminologi. Normalt er presisjonen til denne metoden nokre meter. I geodesi eller landmåling såg ein alt på 1980- talet då GPS systemet var i testfasen at det var mogleg å bruke GPS-signala til langt meir presise målingar enn det systemet eigentleg var laga for. Ved å måle fasen til beresignalet frå satellittane i staden for det tidskoda signalet, og gjere målingar med to mottakarar samstundes kunne ein fastlegge vektoren mellom mottakar- antennene og auke presisjonen frå nokre meter til millimeternivå for den aktuelle vektoren.

Det same prinsippet for presise målingar, statisk relativ fasemåling, vert nytta i dag. GNSS-målingar med denne metoden fastlegg ein presis vektor mellom to punkt ved å plassere ein mottakar med antenne presist plassert i kvart av punkta og samle inn samtidige data over ein periode, ein halv til ein time eller meir. Data vert seinare brukt som grunnlag for å rekne den presise tredimensjonale vektoren mellom punkta. Ved å måle vektorar mellom punkt slik at ein

dannar eit nettverk av vektorar, kan ein få til resultat presise koordinatar for eit punkt relativt til eitt eller fleire andre punkt. Punkta bør om mogleg vere fastmonterte i fjell slik at dei ikkje vert påverka av lokale fryse og tineprosessar gjennom året, og punkta bør vere representative for eit større volum.

Markering - punkt

I eit område vel ein ut nokre punkt som ein vil undersøke. Desse vert saman med minst eitt punkt utanfor området som kan ha rørsle, markert slik at eksakt dei same punkta kan brukast til målingane fleire gonger. Eit punkt i eit "fast" område trengs sidan målingane vert gjort relativt mellom punkt og "absolutt" rørsle vert difor målt i høve til eitt eller fleire fastpunkt som er utanfor det området som ein trur flytter seg.



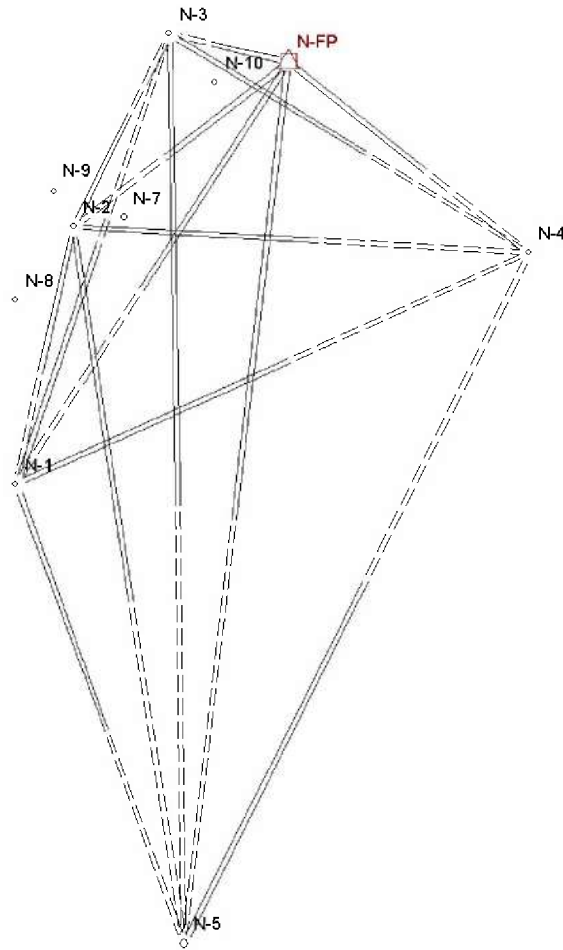
For at målingane skal kunne repeterast eit seinare år er markering av punkta, og metode for å stille opp antennene som fastlegg "målepunktet", ein kritisk faktor. Til å markere målepunkta vert det nytta gjenga boltar som vert bora ned og limt fast i fjellet. GNSS-antennene kan ved måling skruvast direkte på bolten med minimale feil i sentrering. Antenna vert normalt sett på ein "trefot" (figur 2) som kan stillast horisontal, slik at antenna vert stilt sentrisk loddrett over sentrum av bolten. Dette sikrar at målepunktet i antenna får tilnærma eksakt same plassering ved kvar oppstilling i punktet.

Figur 2. Trefot med antenne

Måling

Til målingar er det nytta Javad/Topcon tofrekvente GNSS-mottakarar, og opptil sju mottakarar er nytta samstundes. Mottakarane vert sett opp i dei ulike punkta og innsamling av data starta. Mottakarane gjer kontinuerlege målingar mot alle satellittar som er synlege på himmelen. Målingane er både kode- og fasemåling på begge dei to frekvensane satellittane sender ut, og målingar for kvart femte sekund (epokeintervall), vert lagra i mottakarane. Etter at siste mottakar er starta samlar ein eit datasett på minst 30 minutt, og helst ein time. Deretter kan ein eventuelt slå av og flytte ein eller fleire mottakarar til andre punkt dersom ein skal måle i fleire punkt enn talet på mottakarar.

Mottakarar som gjer samtidige målingar fastlegg vektorar mellom antennesentera, og målet er å byggje opp eit nettverk av vektorar mellom eitt eller fleire fastpunkt og dei punkta som kan flytte på seg slik at alle punkt har samband til minst tre andre punkt, men dette vil variere med talet på punkt som vert målt. I nokre tilfelle er det berre to eller tre punkt totalt, medan i andre område er det målt meir enn 20 punkt.



Figur 3. Eksempel på nettverk av vektorar (Nordnesfjellet i Troms)

Prosessering

Etter ein måledag ute vert data frå mottakarane lasta ned til ein datamaskin, og måledata frå mottakarar med samtidige målingar vert rekna om til vektorar i programmet "TPS-Pinnacle". Resultatet for datafiler frå to mottakarar som har samla data samstundes vert ein 3D-vektor med estimert standardavvik (σ) for vektorkomponentane mellom punkta. Fleire vektorar til kvart punkt som dannar eit nett(verk), gir overskytande målingar som kan nyttast til utjamning, kontroll mot feil og eit best mogleg resultat. Ei utjamning etter minste kvadraters metode, der observasjonane vert gitt vekt etter estimert standardavvik frå vektor-rekninga, gir dei mest sannsynlege verdiane for koordinatane til punkta og i tillegg vert standardavvik og korrelasjonar for koordinatar estimert.

Koordinatane vert fastlagde relativt til dei eller det lokale fastpunkt(et) som vert halde fast, dvs. har same koordinat frå år til år. I mindre område er det oftast berre eitt fastpunkt, medan i større område er det gjerne fleire fastpunkt. Koordinatar for fastpunkta vert referert til eit system som ligg nær opptil EUREF89, gitt ved presis absolutt fastlegging av posisjonen til punktet ut frå GPS-målingane og presise banedata (ITRF2000/2005 referanseramme). Alle høgder er referert til ellipsoiden og avvik frå "normale" høgder over havet (h.o.h.) med 30-45 meter alt etter kvar ein er i Noreg.

Temperaturmåling – kartlegging av permafrost

Til å kartlegge utbreiinga av permafrost i dei aktuelle områda er det nytta såkalla mini- loggarar av typen UTL-1 (Hoelzle m.fl. 1999). I dette prosjektet er dei i hovudsak nytta til å måle temperaturen på bakkeoverflata. Loggaren registrerer temperatur i ein ytre sensor fleire gonger i døgeret, til vanleg med 6 timars intervall. Data vert lagra i loggaren som kan gjere registreringar over meir enn eitt år utan tilsyn. Måleresultatet er ein enkel fil med tidspunkt og temperatur. Presisjonen til målingane er ca. 0,1°C. I tillegg er det gjort temperaturmålingar i borhøl, 1-32 m djupe, og UTL-1 loggarane er og nytta til måling av lufttemperatur, ved at dei er plassert inne i strålings skjermar.

I Møre og Romsdal er det etablert seks stasjonar som måler lufttemperatur i ulike høgdenivå. Tre stasjonar er etablert i Romsdalen (60, 1030 og 1470 m o.h.) og tre i Geiranger (70, 740 og 1470 m o.h.). I tillegg til lufttemperatur vert bakketemperatur målt i ulike djupner på ei rekke utvalde lokalitetar. Tilsvarende måleopplegg er etablert i deler av Troms og Finnmark. Data frå disse stasjonane har gitt ny kunnskap om temperaturtilhøve i deler av høg fjellsonn på Vestlandet og i Nord-Noreg og har gitt eit viktig bidrag til koplinga mellom klima og utbreiinga av permafrost i området. Målingane starta i 2001.

RESULTAT

Målingane av punkta i felt gir etter prosessering tre dimensjonale vektorar mellom punkta. Referansesystemet for GNSS-vektorane er eit tredimensjonalt koordinatsystem med origo i jordsenteret, XY-plan i ekvatorplanet og Z-akse i jorda sin rotasjonsakse. I tillegg til koordinatskilnad (XYZ) vert standardavvik og korrelasjon mellom desse estimert ved vektorprosesseringa. I dette koordinatsystemet vil ikkje XY representere plane koordinatar og Z ikkje høgder, og ved utjamninga vert difor koordinatane rekna om til eit kartplan med N (Nord), E (Aust) og h (Høgde).

Resultata frå vektorprosesseringa gir estimert presisjon (standardavvik) i X og Y oftast betre enn 1 mm og i Z oftast betre enn 2 mm, men i ein del tilfelle dårlegare enn dette. Variasjonen i presisjon kjem av geometrien i satellittane og talet på målingar. Inklinasjonsvinkel for satellittane er 55° for GPS og ca. 65° for GLONASS. Ein GPS-satellitt vil difor aldri stå i senit i Noreg, og dei fleste satellittar vil ha langt lågare elevasjon. Dette gjer at høgdekomponenten i vektorane vert svakare fastlagt enn den plane komponenten. Komponenten i høgde har normalt ca. 2-3 gongar høgare standardavvik, dårlegare di lengre måleområdet er mot nord. Høgdekomponenten i vektorane er og serleg vår for dårleg satellittgeometri, utan at dette kjem til uttrykk i standardavvika til resultatet. For resultata i høgde er det og andre faktorar som verkar inn; ulike meteorologiske tilhøve ved måling i ulike år kan gi systematiske skilnader på høgderesultata mellom år.

Endringar – punkt som flytter seg

Proessen med måling, prosessering og utjamning fører fram til eit koordinatsett med estimert presisjon for kvart år som så vert analysert i høve til tidlegare års målingar med omsyn til endringar. Endring i koordinatar frå eitt år til neste kan vere uttrykk for at punktet har flytta på seg eller skuldast målestøy.

Alle målingar har visse innslag av feil, og feil på dei einskilde vektorane som vert målt vil forplante seg til feil i koordinatane som er resultatet. Verknaden av tilfeldige feil kjem til uttrykk gjennom standardavvika til koordinatane. Sjølv om det ikkje er noko som har flytta på seg kan ein ikkje forvente å få identiske resultat kvar gong, eller null endring. Ein må difor teste om endringa i koordinatar er så stor at den ikkje sannsynleg kan forklarast med manglande målepresisjon.

Ein analyse for å vurdere endringar (om punkt flytter seg) vert gjort i fleire steg:

- Fyrste måling gir posisjonen $(N,E,h)_1$, estimert standardavvik $(\sigma_N, \sigma_E, \sigma_h)_1$ og korrelasjon $(R_{NE})_1$ mellom N og E- koordinat.
- Neste måling gir posisjon $(N,E,h)_2$, standardavvik $(\sigma_N, \sigma_E, \sigma_h)_2$ og korrelasjon $(R_{NE})_2$
- Ut frå dei to fastleggingane kan ein finne endringa i koordinatar som "endringsvektorar" i plan og høgd. Vektorane er gitt ved:

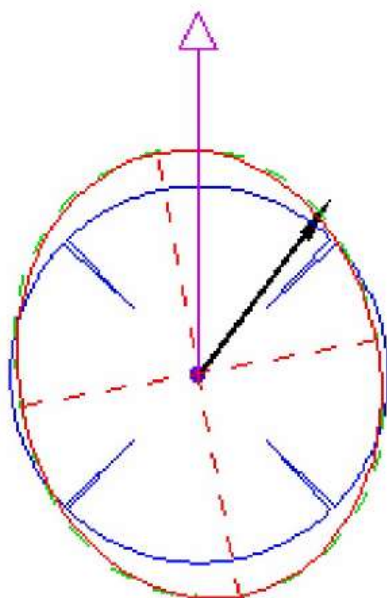
$$\text{Vektorlengd (kartplan):} \quad dS = \text{sqrt}[(N_2-N_1)^2 + (E_2-E_1)^2]$$

$$\text{Vektorretning (kartplan):} \quad r = \text{atan}[(E_2-E_1)/(N_2-N_1)]$$

$$\text{Høgdeendring:} \quad dh = h_2 - h_1$$

På bakgrunn av dette kan ein vurdere kvaliteten på resultatene, i lys av noen generelle reglar:

- Endringsvektoren i kartplanet vil ha grannsemde (presisjon) som er ein funksjon av standardavvik til koordinatane, $(\sigma_N, \sigma_E)_1$ og $(\sigma_N, \sigma_E)_2$ og korrelasjonane $(R_{NE})_1$ og $(R_{NE})_2$.
- Testen om eit punkt har signifikant flytting vil vere om dS er større enn det tilhøyrande standardavviket. Standardavvik til endringsvektoren i ulike retningar kan framstillast som ein ellipse (eigentleg fotpunktkurva til ein ellipse).
- Standardavvik har eit konfidensnivå på 67%, dvs det er 67% sjans for at ein tilfeldig observasjon ligg innanfor eitt standardavvik. For å sikre mot at ein gjer feil slutning er det vanleg å nytte 95 eller 99% nivå for ein test, eller 5 eller 1% sjans for feil slutning.
- Varierende testnivå vil endre storleiken til ellipsen, men ikkje forma. Ein kan difor grafisk framstille endringsvektoren i høve til konfidens-ellipsen slik at om vektoren går utanfor ellipsen så er det signifikant endring på det nivå feilellipsen er skalert til, og tilsvarende ikkje signifikant om vektoren endar inne i ellipsen.
- For vertikale endringar er det differansen mellom målingane, og tilhøyrande standardavvik på differansen, som vert estimert og testa tilsvarende.



Figur 4. Konfidensfigur

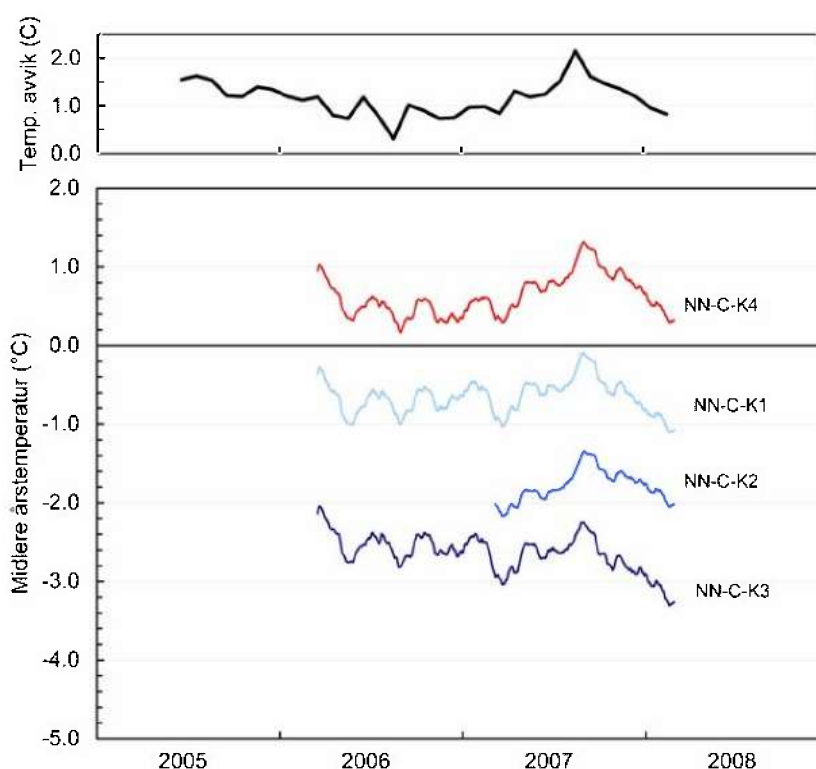
For å gjere analysen av moglege rørsler enklast mogleg vert det nytta ei grafisk framstilling i eit GIS-program der punkt vert plotta med sine koordinatar, og endringar og signifikansnivå vert framstilt med grafiske figurar tilknytt punktet. Dei grafiske figurane vil syne kva for endring ein har i eit punkt, og vil og syne om denne er signifikant og korleis endringa er i høve til grensene for signifikans. Grensene for signifikant endring vil variere med presisjonen til målingane som ligg til grunn og den geometriske utforminga av nettet. Til vanleg vil ein ha aukande grenser for signifikant endring di lengre ein kjem bort frå fastpunkt, og fleire godt fordelte fastpunkt er difor ein stor føremun. Figur 4 syner eit eksempel på eit plott av eitt punkt. Horisontal endring, svart pil som gir retning og lengda gir storleik for endringa, feilellipsen (her synt med raud farge, og er i praksis samanfallande med fotpunktkurva som er stipla med grøn farge) gir signifikansnivå for horisontal endring. Dersom ei endringsspil går utanfor fotpunktkurva er den horisontale endringa signifikant, om pilspissen ligg innanfor er endringa ikkje signifikant på det gitte testnivået.

Endring i høgd er framstilt som sirkclar. I figur 4 representerer den blå sirkelen med taggar innover senking (rørsle ned), raude sirkclar med taggar utover, heving (rørsle opp). Grensa for signifikant endring i høgd er gitt med ein fiolett vertikal pil. Dersom radien i sirkelen er større enn lengda på pila, dvs. går forbi enden på denne, er den vertikale endringa signifikant.

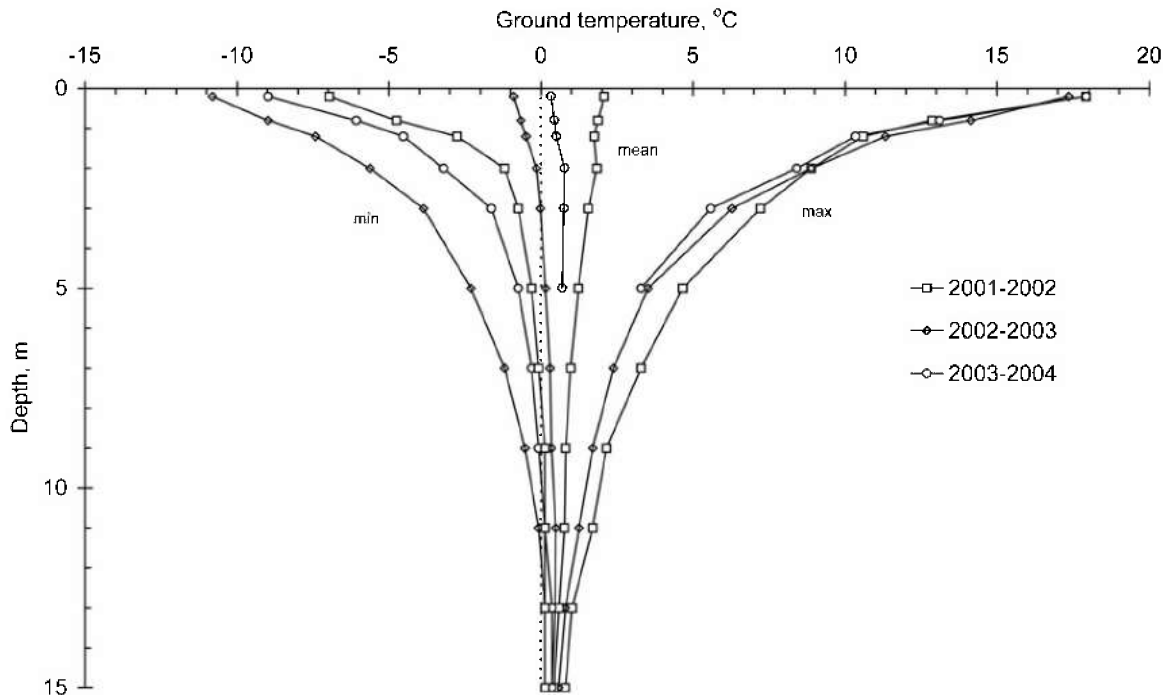
Eksempelet i figur 4 syner at den horisontale endringa er på grensa signifikant, medan den vertikale endringa ikkje er signifikant på det gitte testnivået. Framstillinga kan gjerast anten med XY og høgd kvar for seg eller alle tre saman som i figur 4.

Temperaturmålingar

Resultata frå målingane av bakketemperatur har synt at nokre av dei undersøkte områda kan ha permafrost. Figur 5 syner resultat frå fire miniloggarar plassert i eit område i Kåkfjord i Troms (655-1150 m o.h.), som er undersøkt for mogleg rørsle. Figuren syner sannsynleg permafrost ved fleire av punkta. Punkta er dels i ei nordvend fjellsida som må forventast å vere litt kaldare enn område med meir solinnstråling, men resultata syner at i 8-900 meters høgd må ein forvente å finne permafrost.



Figur 5: Resultat frå 4 miniloggarar, som er plassert i bakkeoverflata i eit ustabilt fjellparti i Kåkfjord i Troms. Loggarane ligg i ulike høgder og er eksponert for ulik grad av solinnstråling pga delvis skjerming i den bratte nordaustvende fjellsida dei ligg i. Data syner 365-dagars glidande medelverde, og gir ein god indikasjon på om lokalitetane har permafrost, med årsmedeltemperatur under 0 grader. Den øvste kurva viser månadsmedeltemperatur i lufta som avvik frå 1961-1990 normalen, basert på data frå omkringliggende verstasjonar med lengre seriar. Data syner at perioden som det er målt i har vore ein relativt varm periode, og at temperaturen i gjennomsnitt er omlag 1 grad over normalen.



Figur 6. Resultat frå 3 år med temperaturmålingar, i eit 15 meter djupt borhøl i fjell på Dalsnibba (1476 m o.h.) i Møre og Romsdal. Medeltemperaturen i bakken på 15 m djup er berre ca 0,5 grader og er difor nær permafrost. Profilane syner minimums-, maksimums- og medeltemperatur for kvart av åra. Data indikerer at det er store variasjonar frå år til år på serleg minimums- og medeltemperatur, noko som i hovudsak skuldast store år til år-variasjonar i tjukna til snødekket. 2002-2003 vinteren hadde lite snø, noko som resulterte i frost ned til vel 11 meters djup.

DISKUSJON GNSS-målingar

Er resultata til å stole på? Er GNSS målingar så presise at dei kan nyttast til eit slik føremål? Eit lite eksempel som kan illustrere dette er å sjå på ein vektor som er målt mange gongar. På Nordnesfjellet i Troms er det gjort i alt seks målingar.

Resultata for ein av vektorane er gitt i tabell 1. Tabellen syner at sjølv om ein legg til grunn at punktet ikkje har flytta på seg er standardavvika for medeltal av vektorkomponentar på to til fire millimeter.

Tabell 2 syner kartplankoordinatar for det same punktet saman med endringar i høve til fyrste måling. Punktet har endra koordinatar frå den fyrste målinga til dei seinare, og endringane har retning mot sørvest og vest. Ein ser og at endringane i høgd er langt meir varierende mellom år, noko som reflekterer at presisjonen i høgd er langt dårlegare enn i planet.

År	Frå	Til	ΔX	ΔY	ΔZ	σX	σY	σZ
2003	N-FP	N-4	115.4985	302.7398	31.4712	0.0004	0.0004	0.0012
2004	N-FP	N-4	115.5003	302.7383	31.4721	0.0004	0.0004	0.0011
2005	N-FP	N-4	115.5034	302.7368	31.4737	0.0005	0.0004	0.0012
2006	N-FP	N-4	115.4995	302.7318	31.4668	0.0004	0.0003	0.0010
2007	N-FP	N-4	115.5017	302.7317	31.4684	0.0004	0.0003	0.0013
2008	N-FP	N-4	115.4995	302.7309	31.4665	0.0006	0.0004	0.0010
	Gjennomsnitt		115.5005	302.7349	31.4698			
	Standardavvik		0.0018	0.0039	0.0030			

Tabell 1. Observerte vektorkomponentar 2003-2008 mellom to punkt på Nordnesfjellet. $\Delta X, Y$ og Z er vektorkomponent i geosentrisk XYZ-system med tilhøyrande estimert standardavvik $\sigma X, \sigma Y, \sigma Z$ i vektorprosesseringa.

PUNKT	År	N	E	H	σN	σE	σh	Endring frå fyrste måling				
								dN	dE	Dist.	Retn. ⁹	Dh
N-4	2003	7716403.989	477434.489	832.053	0.001	0.001	0.002					
N-4	2004	7716403.988	477434.488	832.052	0.001	0.001	0.002	-0.001	-0.001	0.001	250.00	-0.001
N-4	2005	7716403.988	477434.486	832.053	0.001	0.001	0.002	-0.001	-0.003	0.003	279.52	0.000
N-4	2006	7716403.990	477434.482	832.045	0.001	0.000	0.001	0.001	-0.007	0.007	308.67	-0.008
N-4	2007	7716403.988	477434.481	832.048	0.001	0.000	0.001	-0.001	-0.008	0.008	292.96	-0.005
N-4	2007	7716403.989	477434.481	832.046	0.0004	0.0004	0.001	0.000	-0.008	0.008	301.55	-0.008

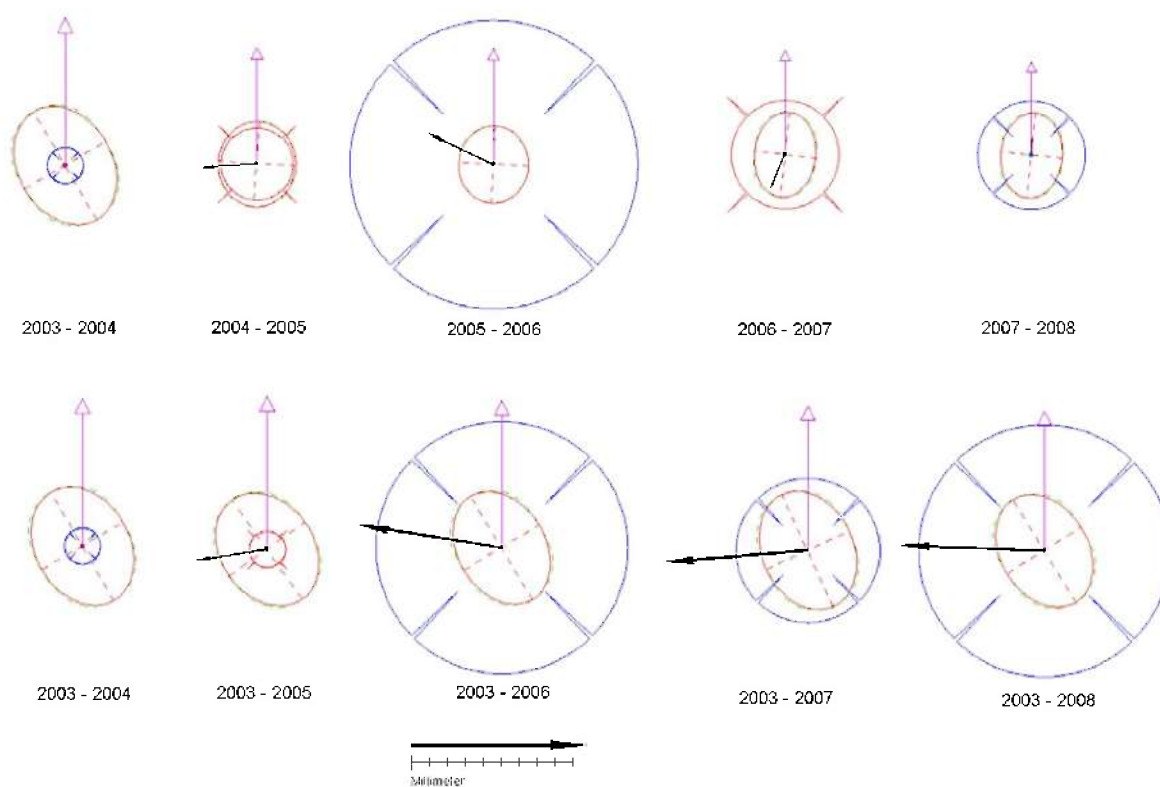
Tabell 2. Koordinatar frå endeleg utjamning for endepunktet av vektoren i tabell 1 (N-4). N og E er Nord og Aust koordinat i UTM, h er ellipsoidisk høgd, σ er estimert standardavvik for koordinatane, dN og dE er endring i koordinat frå fyrste måling til kvart av åra (akkumulert endring), $Dist$ og $Retn.$ kolonnane er plan endring som avstand og retning, dh er endring i høgd.

Tabell 3 syner endringane frå år til år. I plan er det små variasjonar frå år til år, men med nokre unntak er trenden ganske lik. I høgder ser ein derimot at det er grunn til å tvile litt på nokre av resultatane. Det er liten grunn til å tru at eit punkt kan gå opp og ned mellom år. Variasjonen her er meir sannsynleg eit uttrykk for manglande presisjon på høgderesultatane. Resultatane syner at for endringar mindre enn to-tre millimeter er det ikkje påviseleg at det er signifikant endring.

PUNKT	År	dN	dE	Dist.	Retn. ⁹	dh
N-4	2003					
N-4	2004	-0.001	-0.001	0.001	250.00	-0.001
N-4	2005	0.000	-0.002	0.002	300.00	0.001
N-4	2006	0.002	-0.004	0.005	327.72	-0.008
N-4	2007	-0.002	-0.001	0.002	225.37	0.003
N-4	2008	0.001	0.000	0.001	0.00	-0.003

Tabell 3. Endringar i koordinatar mellom målingar frå år til år. Tabellen syner endring i Nord og Aust koordinat i planet, og den same endringa uttrykt som avstand og retning (400^g system). Siste kolonne syner endring i høgd.

Endringane for punktet er og synt i figur 7. Den grafiske testfiguren syner rørsle mellom år og akkumulert endring for dei ulike åra. Her ser ein at berre to av målingane over eitt år gir signifikante rørsler, men om ein ser på endring frå fyrste år vert det så vidt signifikant horisontal endring etter to år og klart signifikant etter tre år. I høgd er det ikkje signifikant endring i perioden.



Figur 7. Grafisk framstilling av endringar i punkt N-4. Øvre rekke syner endringar mellom kvar måling (årleg endring), nedre rekke akkumulert endring (endring frå fyrste måling). Målestokk-pila gjeld for endringar og signifikansar.

Kvalitet på resultat

Resultat frå GNSS-målingar har ofte svært låge standardavvik, lågare enn det som er forventa presisjon til metoden. Ved utjamning av eit nett av vektorar vil ofte resultatet vere at endelege standardavvik vert estimert til å ligge typisk ein faktor 2 høgare. Dette er ein klar indikasjon på at a-priori standardavviket til vektorane er for optimistisk. Årsaka er truleg at det vert gjort mange GNSS-målingar med kort tidsintervall og at det er korrelasjon mellom målingane som det ikkje vert teke omsyn til. Dette lagar ein kunstig god presisjon.

Ved utjamninga av nett vert standardavvika til vektorane berre nytta som vekter, og endelege standardavvik vert estimert ut frå motseiingane mellom dei ulike vektorane i nettet, og verknaden av underestimerte standardavvik vert dermed eliminert. Ein kan få eit inntrykk av dette ved å sjå på vektorresultata i tabell 1 der standardavvika er betre enn 0,5 mm i X og Y og vel 1 mm i Z. Dei utjamna koordinatane for punkta i kartplanet har typisk ein faktor 2 høgare standardavvik.

Erfaringa frå mange område tilseier at ein med nokre unntak kan oppnå estimerte standardavvik på resultatkoordinatar på 1-2 mm i grunnriss, og 2-6 mm i høgde. Dette samsvarar godt med erfaringstal frå liknande målingar, men serleg for høgder vil det vere variasjonar med geometri som ikkje vert fanga opp, slik at standardavvika ikkje gir mål for uvisse i høve til "sanne" storleikar, men i høve til resultatata ein har fått (intern presisjon).

Sidan dei fleste målingane vert gjort innanfor eit relativt kort tidsrom vil fleire vektorar ha om lag den same geometriske konfigurasjon for satellittar, og dermed ha ei systematisk påverking frå denne. Ommåling nokre timar seinare kan gi litt andre resultat, og den systematiske skilnaden som kan oppstå i dette tilfellet vert lite reflektert av standardavvika til resultatata som kjem fram. Variasjon i presisjon på dei ulike lokalitetane gjer at endringar på t.d. 1 cm kan vere klart signifikant endring i eitt område, medan det ikkje er signifikant på ein annan lokalitet. Serleg for høgdekomponentane bør ein vere konservativ i tolking av endringar, serleg om alle målingar er gjort innanfor eit rimeleg kort tidsrom.

Resultata frå GNSS-målingar vil vere til hjelp for å vurdere om eit område er eit aktuelt fareområde i høve til eit stort fjellskred. Erfaringa så langt tilseier at ein etter tre-fire år med målingar har klare indikasjonar på om det er målbar rørsle eller ei i eit område. Fram til no har ein gjort målingar ein gong pr år, og i dei tilfella det ikkje synest å vere rørsle i eit område kan ein eventuelt vente og gjere om målingane etter fleire år. Erfaringane er at endringar i punkt må vere i storleik nokre millimeter for å gi utslag som signifikant rørsle. Tidsspennet mellom målingane som vert jamført kan vere eitt eller mange år. Med eit tiårs tidsspenn mellom målingar kan ein såleis påvise rørsler på nokre tidels millimeter per år.

GNSS-målingar over minst to år er utført på i alt 33 lokalitetar i tre fylke i Noreg innanfor dette prosjektet. På fire av lokalitetane er det påvist rørsler i storleik fleire cm per år. Fire andre område har og påvist rørsle, men med årlege endringar på mindre enn ein cm. Sju-åtte stader er funne å ha teikn til rørsle, men av ein slik storleik at det ut frå målingane så langt ikkje er klart signifikante endringar.

Frost og permafrost

Frå Alpane er det fleire nye studiar som knyter oppvarming og tining av permafrost til å vere ei mogleg kjelde for utløysing av fjellskred dei siste åra (t.d. Gruber og Haeberli 2007, Käab 2007). Under den ekstremt varme sommaren 2003 i Mellom-Europa og i Alpane vart det rapportert om fleire større fjellskred frå område med permafrost. Desse områda har vore rekna som stabile og

ein veit at hendingane ikkje vart ”trigga” av kraftig nedbør eller jordskjelv. Ved nærare inspeksjon kunne ein fleire stader finne massiv is synleg i dei eksponerte utløysingssone for desse fjellskreda. Desse hendingane støtta og fleire tidlegare observasjonar, og syner at permafrost er følsam for ekstremhendingar og eit varmare klima.

Sjølv om geologiske og mekaniske forhold er dei viktigaste for stabilitet, kan permafrost vere eit viktig element i vurderingane. Ikkje minst er dette viktig når vi no veit at den er i rask endring. Studiar frå borehøl i permafrost i Sør-Noreg og i Nord-Sverige syner at temperaturen på overflaten av permafrosten no i gjennomsnitt stig med 0,4-0,7 grader pr tiår (Isaksen m. fl. 2007). Det er grunn til å anta at temperaturauken er i same storleik i bratte fjellsider i Noreg. I norske høgfjell er permafrosten ”varm”, typisk 0°C til -3°C. Det skal difor berre til ei mindre oppvarming av bakken før større områder i permafrost kan verte ustabile.

Dei fleste områda som er undersøkt med GNSS målingar for å finne rørsle ligg i høgder under forventa permafrostgrense. I enkelte område syner likevel temperaturmålingane at ein lokalt kan finne permafrost. Permafrost eller djup sesongfrost kan vere faktorar som påverkar rørsler i fjellet. Punktet N-4 på Nordnesfjellet har ikkje vore undersøkt direkte, men høgda, ca 800 m o.h. kombinert med at det ligg på ein kolle med lite snø, indikerer at det kan vere nær permafrost eller ha djup sesongfrost. Dette kan vere ein årsak til rørsle i punktet.

KONKLUSJON

Metoden med statistisk relative GNSS målingar har synt at ein kan finne endringar i koordinatar til punkt i ei fjellside i storleik få millimeter. Presisjon varierer mellom ulike område og måletider. Det skuldast dels at satellittane varierer i tal slik at målegeometrien varierer. Meteorologiske tilhøve verkar og inn sidan det påverkar signalfarten. Store høgdeskilnader mellom punkt har synt å kunne gi vesentleg dårlegare resultat enn område der dei fleste punkta ligg i om lag same høgd. Metoden er likevel til god hjelp for å kartlegge om det er rørsle i fjellparti som kan skli ut.

Djup sesongfrost og permafrost er påvist i enkelte av de undersøkte områda. Ein framtidig temperaturauke i bakken, med fylgjande større tinedjup og tining av permafrost, er ein faktor en må ta omsyn til i ustabile fjellsider.

Resultata er så langt bruka av NGU til å stadfeste om det er aktivitet i område som syner geologiske indikasjonar på mogleg utvikling av fjellskred. Ei stadfesting av at det er rørsle eller ei i slike område er avgjerande for å kunne sette i verk tiltak for å kunne varsle auka fare for eit framtidig skred. I nokre område der det etter GNSS-målingar er påvist rørsler i storleik centimeter per år er det sett i gong kontinuerleg overvaking.

Til kontinuerleg overvaking er GNSS-målingar eitt av fleire system som kan nyttast. Slike målingar er i bruk på Åkneset i Stranda, Møre og Romsdal. Andre stader er enklare direkte avstandsmålingar eller strekkmålingar (ekstensiometer) nytta.

Det er stor sjanse for at nye fjellskred vil kome, men kartlegging av potensielle fareområde, både med omsyn til geologiske tilhøve og om det er aktive prosessar som resulterer i rørsler, vil kunne gjere at ein er klar over fareområde, og i dei mest utsette kan kontinuerleg overvaking vere med på dramatisk å redusere sjansen for at liv kan gå tapt.

Referansar

Davies, M.C.R., O. Hamza and C. Harris. 2001. *The effect of rise in mean annual temperature on the stability of rock slopes containing ice-filled discontinuities*. Permafrost Periglacial Processes. 12: 137-144.

Gili, J.A., J. Corominas and J.Rius. 2000. Using Global Positioning System techniques in landslide monitoring. Engineering Geology. 55: 167-192.

Gruber S. and W. Haeberli. 2007. Permafrost in steep bedrock slopes and its temperature-related destabilization following climate change. Journal of Geophysical Research. 112, F02S18, doi:10.1029/2006JF000547.

Hoelzle, M., M. Wegmann and B. Krummenacher. 1999. Miniature temperature dataloggers for mapping and monitoring of permafrost in high mountain areas - first experience from the Swiss Alps. Permafrost and Periglacial Processes. 10: 113-124.

Isaksen, K., J.L. Sollid, P. Holmlund and C. Harris. 2007. Recent warming of mountain permafrost in Svalbard and Scandinavia. Journal of Geophysical Research. 112, F02S04, doi:10.1029/2006JF000522.

Kääb, A. 2007. Remote sensing of premafrost hazards in mountains, Frost i Jord 2007. Statens vegvesen, Teknologivdelingen. 109: 51-57.

Moss, J.L. 2000. Using the Global Positioning System to monitor dynamic ground deformation networks on potentially active landslides. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. 2(1): 24-32.

Sustainability of the transport sector in Norwegian Arctic to climate change

Robusthet av transport-infrastruktur i arktisk Norge med hensyn på klimaendringer

Jan Otto Larsen, Associate professor, University Centre in Svalbard, Longyearbyen, Norway.
e-mail: Jan JL@unis.no

Summary

The annual average temperature in the Norwegian Arctic (north of 67° latitude) is expected to increase between 1.2° C and 5.0° C this century. The precipitation is expected to increase with up to 35 % together with higher storm activity. Slides and floods are a threat to traffic safety and regularity on roads and railways, and in Norway we have in average 2000 slide events on roads during the year. As there is a close connection between weather and slide/flood activity we expect higher frequency of these events with high influence on traffic security and regularity. The regularity on our wind exposed roads will also be reduced with increasing storm frequency and intensity.

Another consequence of a warmer climate is higher frequency of slush avalanches and debris slides in the Norwegian Arctic where dry snow avalanches have been predominant today.

Change in slide and flood pattern can together with increasing traffic enlarge the risk for fatalities and reduced regularity in the future. To meet this challenge we have made plans for mitigation and physical protection which will be adjusted to the climate in the future.

This article is earlier presented at the Asian Conference on Permafrost in Lonzhou, China in 2006.

Sammendrag

Den årlige gjennomsnittstemperaturen i norsk arktisk (nord av 67. breddegrad) er forventet å stige med mellom 1,2° C og 5,0° C i dette århundret. Nedbøren er forventet å øke med 35 % i tillegg til en økt intensitet av stormer. Skred og flommer er en trussel for trafikksikkerheten og regulariteten på veier og jernbane, og i Norge har vi gjennomsnittlig for de siste årene hatt 2000 skred på veier årlig. Siden det er en nær sammenheng mellom vær og skred- og flom-aktivitet forventer vi en økt hyppighet av slike hendelser med store følger for trafikksikkerhet og regularitet.

En annen konsekvens av et varmere klima i norsk arktisk er en høyere frekvens av skred som består av snøsrøpe og blokker, der tørrsnøskred har vært dominerende tidligere. Endringer i skred- og flom-mønster kan sammen med økt trafikk øke risikoen for dødsfall samt redusere regulariteten i framtiden. For å møte denne utfordringen har vi lagt planer for dempende tiltak og fysisk beskyttelse som vil bli tilpasset framtidens klima.

Introduction

A major part of the Norwegian transport sector in form of roads, highways and railways are located in coastal and mountainous areas with terrain prone to natural hazards as slides, avalanches, storms and floods. With an average of more than 2000 slide- and avalanche- events on roads and highways every year the land based transport sector has problems with safety and regularity. In addition there is today neglect in maintenance, making the structure of many roads and highways vulnerable to erosion, water infiltration and frost/thaw cycles which are reducing their bearing capacity for transport.

As the second most important export industry fishery is located at the coast with high demand of regular access to the European market closed highways and railways due to natural hazards are serious obstacles already today. A rough estimate of necessary recourses to protect the most exposed highways and roads are 20 billion NOK.

As most of the hazards affecting our transport sector is weather related a change in climate will easily have influence on safety and regularity and can in the future hurt one of our main industries if necessary precautions are neglected.

The Norwegian coast is an exposed sea route from wind in the Atlantic and Barents sea. Added the coast area is today vulnerable because of oil and gas production. Change in climate with higher frequency of storms, and storm intensity will easily make restrictions on this traffic and access to the oil and gas installations.

Climate change

Norwegian Meteorological Institute has predicted a change in climate in the next fifty years (RegClim 2005). In this scenario they expect increase in annual mean temperature of between 0.2 °C and 0.5 °C pr. decade. The increase will be highest in winter and lowest in autumn and summer. There is an expected regional difference with highest increase in areas with continental climate, and especially high increase in the high Arctic (Svalbard and Barents sea).

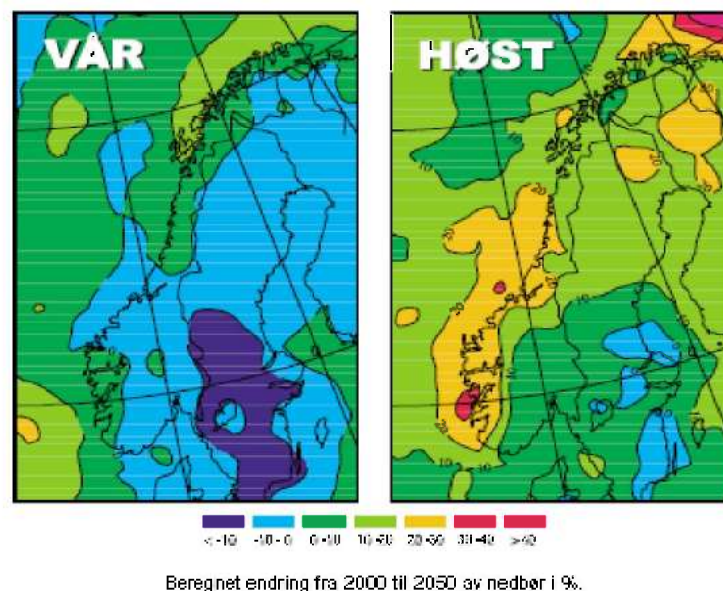


Figure 1: Change in precipitation in Scandinavia in Spring ('Vår') and Autumn ('Høst')

Precipitation is also expected to change with regional and seasonal differences. The highest increase is expected at the west coast and the high Arctic, and autumn when we already have most of our precipitation will be still more humid with an increase in precipitation of about 20 – 35 %. The winter season will however be shorter, and the amount of snow reduced at lower altitude (below 1000 m). This means a decreasing number of days for skiing which is an important out door activity in the Norwegian winter (fig. 2).

Storm activity is also expected to change in the future, but we have no good prediction of how much the wind speed and storm frequency will increase. The RegClim report from 2005, estimate an increase in storm activity at the coast of Mid- Norway, in the mountain region in South Norway and high Arctic Ocean (Iversen et al 2005).

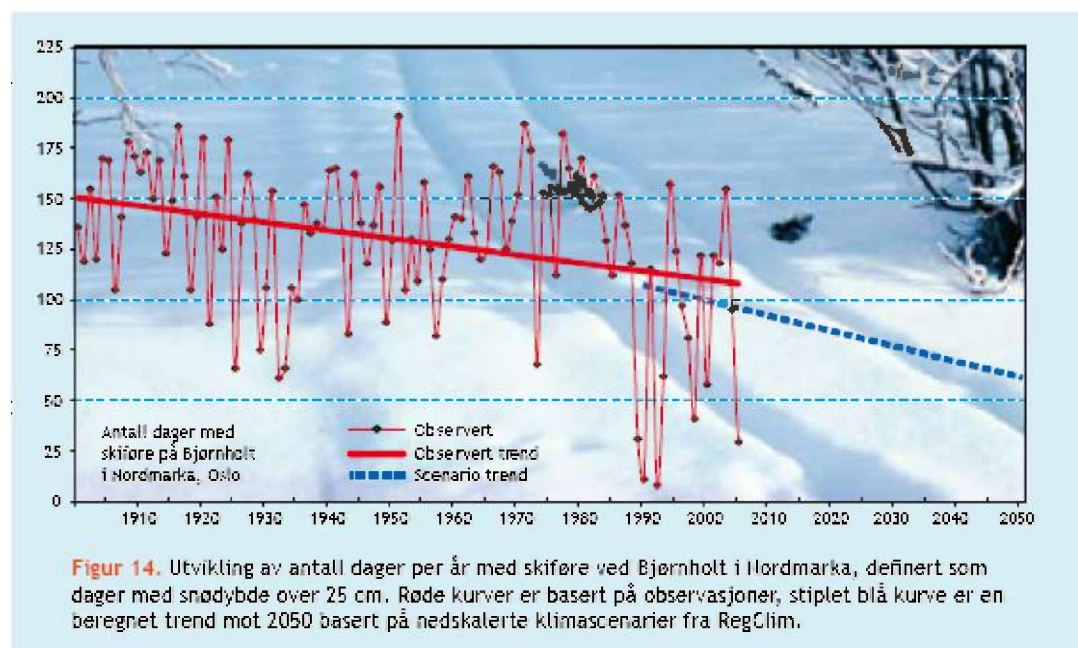


Figure 2: Number of days with skiing possibilities in Nordmarka by Oslo 1900 – 2005, and expected trend the next fifty years.

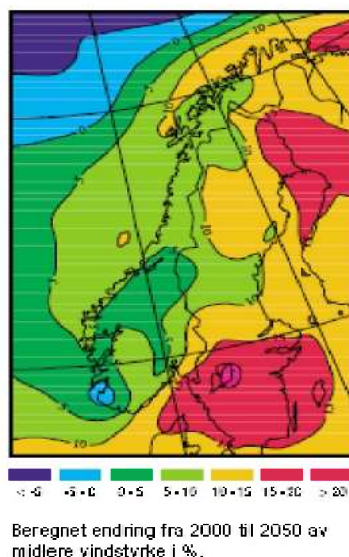
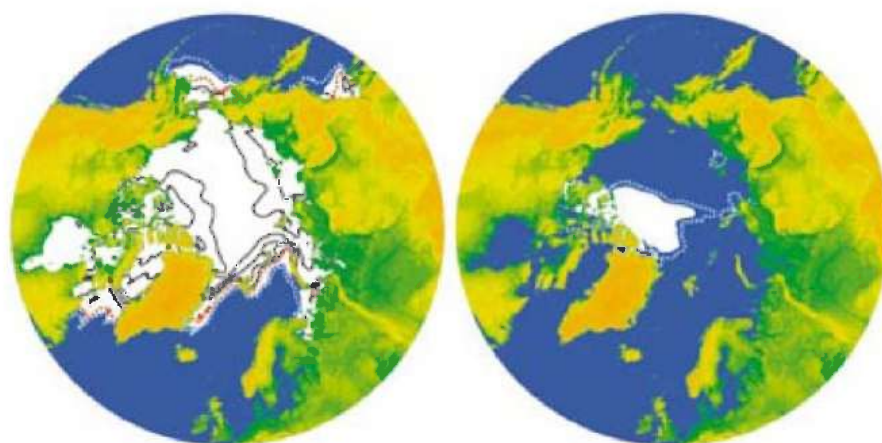


Figure 3: Calculated change in average wind velocity between 2000 and 2050.

As the temperature in the Arctic is expected to increase the Arctic ice is slowly disappearing, and it is expected a serious reduction in sea ice in the next fifty years (figure 4).



Figur 9. Utbredelse og tykkelse av isdekket i mars (til venstre) og september (til høyre) ved doblet CO₂ beregnet med BCM. Det hvite området angir gjennomsnittlig utbredelse. Stiplet blå kurve viser maksimal og stiplet rød kurve viser minimal utbredelse i de fem eksperimentene. Den gjennomsnittlige istykkelsen er gitt med svarte koter for hver 20 cm.

Figure 4: Calculated maximum and minimum sea ice extend with a climate where the CO₂ content in the atmosphere is doubled.

Weather related influence on transport

The Norwegian Road Administration is doing systematic registration of all events causing closure and near closure of highways and roads under their responsibility. County roads and private roads are not included. On these highways there has been a registration of about 18 000 events in the period 1996 – 2004, or an average of more than 2000 events annually.

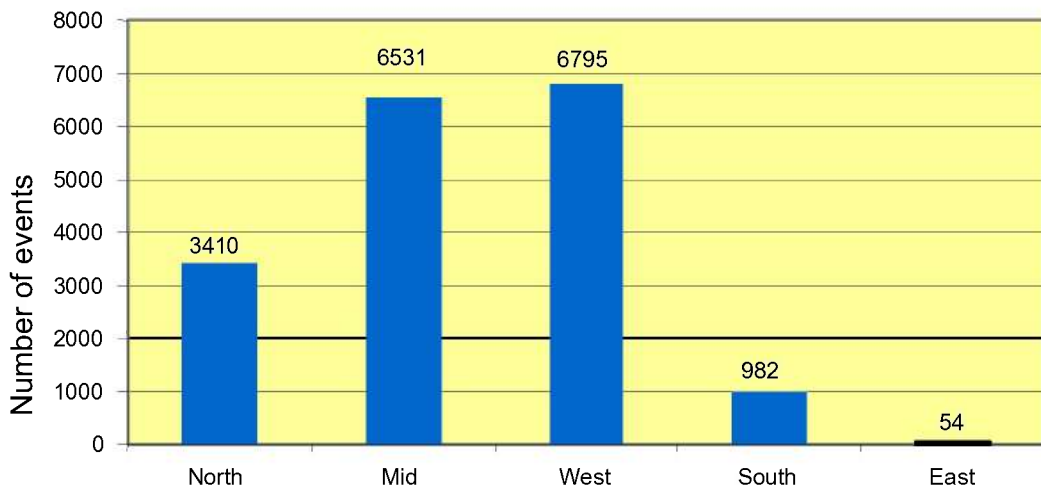


Figure 5: Slide events on Norwegian highways and roads between 1996 and 2004 for the five regions North, Mid, West, South and East (Harila 2006).

Most common events threatening the traffic are avalanches and rockfalls as shown in figure 6.

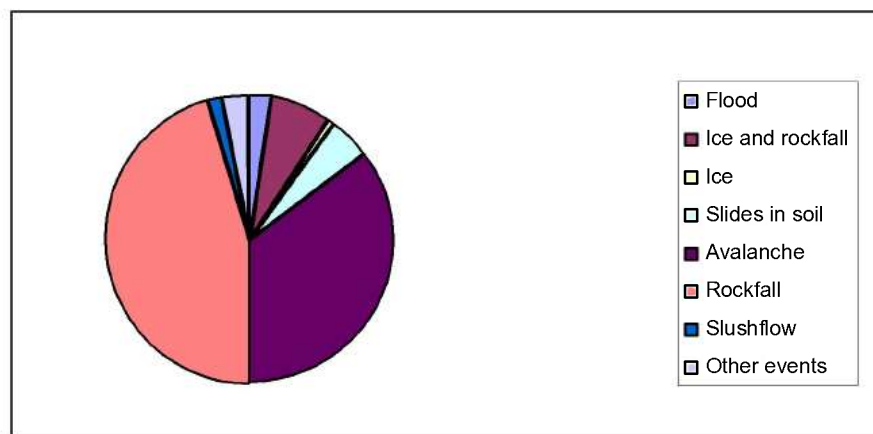


Figure 6: Registration of slides, avalanches and floods on highways and main roads 1975- 2005

All types of slides are weather related where precipitation, wind and temperature are main factors. Especially is precipitation intensity, rapid change in temperatures from below freezing to above, and frequency and magnitude of storms/blizzards correlated to slide and avalanche activity. Floods and erosion are partly dependent on precipitation, and snow melt intensity, but is also related the grounds ability to absorb water, glacier water discharge, and erosion protection of river beds.

Regularity on high mountains roads, railways, airports (especially small ones at the coast) and coastal boat/ship traffic is highly dependent on storm frequency, duration and intensity. The fishery at the coast is also highly dependent on weather. Fishery together with fish farming, which is the second largest export industry in Norway, is also dependent on open roads and railways to the market in Europe for swift delivering of their fresh products.

In the Norwegian Arctic in Svalbard the harbours are normally closed all winter from November or December to May due to sea ice. This is a major problem in export of coal, and limit the production capacity.

Infrastructures on permafrost are designed for present situation based on historic records of thaw and freezing indexes. We are already facing problems with foundations in the Arctic where an increasing thaw depth and insufficient drain causing problems.

Construction of roads and railways has to be done with respect to frost/thaw cycles, and run off from watersheds. Already insufficient design of drain and construction with frost sensitive materials together with neglect of maintenance has reduced access to many locations in thaw periods and rainy seasons with reduced bearing capacity and insufficient drainage conditions.

Transport sector's vulnerability to climate change

Higher average temperatures and fluctuation of temperatures around the freezing point will be a threat to the construction material of roads and railways where we have frost sensitive materials. We have to expect increasing cost in reconstruction and maintenance in warmer climate due to increasing cycles of freezing/thawing in the winter period. Increasing freezing/ thawing cycles will also lead to more ice on roads during the winter with higher demand for friction improvement means as salt, sand etc.

Increasing temperatures will also increase the thaw depth in permafrost areas, and lead to reconstruction of infrastructures designed after historic recorded thawing indexes.

Another effect of increasing temperature will be more rain in the coastal regions where we today have snow part of the winter. It is expected to be higher frequency of rain storms below 1000 m altitude, where we have snow today. A positive consequence is probably decreasing number of snow avalanches where the release areas are at lower altitudes.

Another positive effect of higher temperature is opening of a new sea routes in the Arctic oceans due to reduction in ice, and longer access season to Arctic harbours in Svalbard (figure 8). On the other hand, increasing sea transport along the biological vulnerable Arctic coast will require high protection security in case of oil spill, ship wreckage etc. Another positive effect will also be easier access to oil and gas production facilities in the Barents sea due to shorter periods with sea ice around the off shore constructions.

Increasing precipitation with 20 to 35 %, and increasing number of rain storms with high precipitation intensity will probably increase the ground water table in some districts. This can lead to increasing number of landslides and slope failure events (fig. 7). Another effect is increasing number of water related slides as mud flows, slush flows and debris flows (fig. 9 and 10). Another effect can be deeper accumulation of snow in the high mountains with possibilities for longer run out and increasing threat to infrastructures in exposed settlements. In the high Arctic as Svalbard where we have Arctic desert with relatively low precipitation today, increasing snow depth and rapid snow melt due to change in climate can lead to catastrophic avalanches and slides (fig. 11).



Figure 7: Rockslides as a threat to highways and settlements (Photo: Jan Otto Larsen)



Figure 8: Longyearbyen in Svalbard at 78°N (Photo: Jan Otto Larsen)



Figure 9: Mud flow as a consequence of a high intensity rainstorm at highway no. 5. Kjøsnesfjorden in Jølster, West Norway (Photo: Svein Helge Frøkaland)



Figure 10: Debris flow as a consequence of a rain storm destroyed 300 m road. in Eikesdalen, West Norway (Photo: Jan Otto Larsen)



Figure 12: Infrastructures in Svalbard exposed to slides and avalanches under more precipitation and deeper snow cover. (Photo: Jan Otto Larsen)

In a changing climate storm activity is supposed to increase. This will make the high mountain roads and railways vulnerable with higher frequency of closure. As main connections north-south and east-west depends on open roads and railways this will hurt the businesses at the coast depending on daily access to the markets in Central Europe.

Coastal transport by ship and boats and fishery are also vulnerable to storm activity at the long Norwegian coast. Increasing storm activity will lead to more difficult coastal traffic, and could limit fisheries in their most beneficial periods in the winter season.

More water runoff from watersheds due to high precipitation intensity or intense snow melt will cause more frequent floods in rivers with erosion at river banks. Bridges are designed for historic recorded floods, and can easily be a weak point on the transport route under flood situations.

The Norwegian highway and road system has in parts of the country a neglect of maintenance which make the bearing capacity for the old constructions sensitive to frost/ thaw cycles. Increasing frequency of these cycles will reduce the bearing capacity, and make transport sector in parts of the country seasonally useless in connection to the market.

Conclusions

Estimated change in climate in the next 50 to 100 years will probably rise temperature in Norway with 0.2°C to 0.5°C pr. decade depending on region. The rise in temperature will give essentially more precipitation especially in the coastal areas, and probably increase storm frequency and intensity. The consequences of these changes can be increasing traffic problems both on roads, railways, sea and air transport if precautions and maintenance are neglected. To meet this challenge road and railway constructions has to be designed for the new warmer weather with more precipitation by sufficient drainage systems, new guidelines for building materials to take higher frequency of frost/thaw cycles, new guidelines for bridge constructions with higher focus

on erosion and floods. Slide and avalanches can get a pattern with more water related slides as slush flows, debris flows and mud flows threatening on new places which require new mitigation methods and design. New guidelines for slide- and avalanche- protection can be necessary.

Increasing storm frequency and intensity can lead to rebuilding of exposed highways and rail-ways in the mountains, and lead to increasing security requirements for ship- and boat transport at the long coast.

Increasing thaw depth in areas with permafrost can lead to new guideline for construction of roads and other infrastructure in the high Arctic. Increasing frequency of frost/thaw cycles will require higher focus on maintenance of the highway and road system to maintain and improve bearing capacity.

Positive effects of a warmer climate is reduced sea ice in the Arctic and better access to the Arctic ocean with possibilities for shorter transport route between Europe and Asia, and better access to harbour and infrastructures in the Arctic ocean.

References

ACIA, 2005, Arctic Climate Impact Assessment, Cambridge University Press, 1042 p.

Iversen, T., R. Benestad, J. E. Haugen, A. Kirkvåg, A. Sorteberg, J. Debenard, S. Grønås, I. Hansen-Bauer, N. G. Kvamsø, E. A. Martinsen and T. E. Skaugen, 2005, RegClim, project report: Norges klima om 100 år, Usikkerhet og risiko, 10 p.

Iversen, T. and M. Lystad, 2006, Regional Climate Development Under Global Warming, General technical report no. 9.

Norwegian Polar Institute, NPI, 2005: Klimaendringer i Nord- Norge og Svalbard, Kunnskapsbehov og tilpasningsstrategier for infrastruktur. Presentasjoner og oppsummering fra fagmøte i Tromsø 21-22 juni 2005, NPI kortrapportserie no. 3, 30 p.

Roald L. A., S. Beldring, T. E. Skaugen, E. Førland and R. Benestad, 2001: Climate change impacts on streamflows in Norway, Norwegian Water Resources, NVE, consultancy report A no. 1, 74 p.

Schuler, D. V., S. Beldring, E. J. Førland, L. A. Roald and T. E. Skaugen, 2006: Snow cover and snow water equivalent in Norway: -curent conditions (1961 – 1990) and scenarios for the future (2071 – 2100). Norwegian Meteorological Institute, report no. 1, 34 p.

Road icing - Norwegian experience and design practice

Ising på veg – Norske erfaringer og dimensjoneringspraksis

Geir Refsdal, Norwegian Public Roads Administration, Oslo (geir.refsdal@vegvesen.no)
Geir Berntsen, NCC Roads, Oslo (geir.berntsen@ncc.no)

Summary

The Norwegian pavement design manuals have gradually put more emphasis on avoiding road icing. The present manual of 2005 presents possible measures and minimum requirements to prevent hazardous road icing on

- *insulated roads*
- *expanded polystyrene (EPS) in the form of geofam road block embankments*

The widespread use of open-graded, unbound materials is known to create icing conditions. Until now it has, however, been assumed that the use of open-graded, unbound materials will not introduce hazardous winter conditions for the road user as this type of material is mainly used on high-volume roads where the winter strategy is based on keeping the surface free of ice and snow at all times. However, an increased number of insulated road sections or lightweight embankments of insulation materials has emphasized the need to design the pavements in a manner that minimizes icing hazards. This paper describes the susceptibility to road icing for different pavement types in three situations, i.e. time of the year in relation to seasons:

- *late autumn / early winter*
- *established winter, and*
- *late winter / early spring*

The ranking of the icing susceptibility of the different pavement structures will vary depending on the situation, of which the late autumn/early winter is considered a critical period for the road user. The paper describes the key measures aimed at preventing or reducing road icing. The use of dense-graded, unbound materials having a good ability to contain moisture is recommended, and the nearer the surface such materials are placed, the better. This is not always in agreement with the quality requirements for pavement materials and the need for high strength, as set out in the design manual. In most cases the knowledge of, and a conscious focus on, the hazards of icing will however lead to solutions that accommodate both requirements.

This article has been presented at the Transportation Research Board 2008 Annual Meeting, Washington, D.C.

1. Introduction

The design of road pavements for high volume roads includes to a great extent the use of open-graded, unbound materials. Norwegian design practice also requires that frost protection is considered for high volume roads.

Layers of crushed rock, bringing the total pavement thickness up to 1.5 to 1.8 m, are used when the road alignment takes the road through rock cuts. An alternative is to use frost insulating materials, like extruded polystyrene (XPS), light expanded clay aggregate or even more common now: foamglass, produced from recycled glass (1), (2). Such materials will bring down the thickness of the road structure to between 0.5 and 1.0 m, but will, at the same time, increase the risk of road icing.

The use of expanded polystyrene (EPS) in the form of geofoam blocks for lightweight road embankments also represents a potential risk of icing in isolated areas as the EPS effectively stops the heat transfer to the road surface. This type of embankments has since 1972 been used in nearly 500 locations on the road network.

This means that the present pavement design in Norway for high volume roads increases the risk for roads icing. However, the winter maintenance policy for these high volume roads includes the use of de-icing chemicals, so that the road user should, in theory, not experience problems with icy roads.

2. Present pavement design practice

The Norwegian design manual (of 2005, 1992, 1980) has gradually put more emphasis on avoiding road icing. The present design practice of 2005 related to road icing is described in the Norwegian Pavement and Materials Design Manual (3). This manual presents possible measures and minimum requirements to prevent harmful road icing on

- insulated roads
- EPS-block geofoam road embankments

However, up to now it has been assumed that the use of open-graded unbound materials will not introduce winter hazards which could represent a problem for the road user.

2.1. Insulated roads

The ordinary pavement design ensures sufficient pavement strength by prescribing pavement layers above the XPS insulating boards, that will at the same time reduce the risk of icing to tolerable levels. A minimum thickness of 30 cm is required for the subbase layer above the XPS. This means that the total thickness for an insulated pavement will be minimum 50 cm. It is also stressed that the icing potential on insulated roads should be reduced by using materials that contain a certain amount of fines in the base and subbase layers, without exceeding the maximum allowed fines contents, in general < 8% fines below 0,063 mm.

For roads with expanded clay aggregate or foamglass similar requirements are laid down.

2.2. EPS-block geofoam road embankments

For pavements on EPS blocks it is assumed that the design for providing sufficient bearing capacity will also take care of icing problems to an extent that these will not be substantially different from the adjoining road. The minimum pavement thickness is 40 to 60 cm for a low traffic road and 60 to 80 cm for a high traffic road, depending on the icing conditions on the adjoining road. This thickness includes a concrete slab that will normally be placed on the EPS. The design (shown in Table 1) is, however, valid where the base and subbase layers over the concrete slab contain gravely materials with a certain amount of fines.

Icing susceptibility for the adjacent road	Minimum pavement thickness over EPS-blocks (including the concrete slab) (cm)		
	ADT < 1500	1500 < ADT > 15 000	ADT > 15 000
High	1)	1)	1)
Medium	40	50	60
Low	50	60	70
Very low	60	70	80

1) Pavement thickness can be read off a design table. Where an open-graded unbound material or a bituminous material is used in the base, the subbase thickness should be increased by 10 cm

Table 1. Thickness requirements for pavements overlying EPS blocks

2.3. Roads with open graded, unbound materials

The use of open graded unbound materials is common, and the possible risk of road icing that such pavements may create is considered a daily challenge which the road user is exposed to and will be aware of. Even if it is experienced that such pavements present a greater risk for road icing in comparison to a similar pavement where the layers are built up with more gravely materials, the design manual places no restrictions on the use of open-graded materials.

3. Road icing situations

Road icing may occur during late autumn in the form of hoarfrost and later throughout the winter period. However, a pavement structure which will exhibit poor icing performance during late autumn or early winter may show good performance during late winter or early spring. It is therefore not possible to rank the various pavement structures in one precise way which covers all climatic conditions.

However, it should be assumed that the most critical period of icing is late autumn, when the road user is not yet prepared for icy conditions. The summer tires will still be on the car, and the first icy road will always come as a surprise to the driver.

3.1. Late autumn / early winter situation

This is a period when hoarfrost may appear as a result of low temperatures during the night. The frost index (frost load) during a night may typically be below 100 h°C. In terms of frost penetration this represents 5 to 20 cm. This means that the critical layers are the asphalt surfacing and the base layer. These layers will have to provide the required heat flow to the surfacing in order to prevent the surfacing temperature to fall below the air temperature. This means that pavements with thick asphalt layers will react in a different way than pavements with thin asphalt layers and pavements with dense-graded unbound materials in the base course will react in a different way than pavements with an open graded base course.

3.2. Established winter situation

During the winter period the overall temperature of the frozen pavement is decisive for the development of the surface temperature. Pavement structures with high heat capacity, or with good ability to transfer earth heat to overlying layers, will also show the best behaviour related to road icing.

3.3. Late winter / early spring situation

During late winter/early spring the overall temperature of the thawed pavement will be decisive for the development of the surface temperature. An insulated pavement structure, where non-frozen subgrade layers will not be capable of influencing the upper layers in this period, will result in a higher pavement temperature than a traditional road pavement. Insulated roads will therefore show better road icing performance during this period compared with traditional road pavements. However, we are still in a period when winter tires are used and icy roads will still be expected.

4. What the frost penetration equations tell us

The Watzinger frost penetration equation ((5), page 29) describes the surfacing frost index in the following way:

$$F = \sum_{i=1}^n \left\{ L_i \cdot \Delta Z_i \cdot \left(\frac{\Delta Z_i}{2\lambda_i} + \sum_{j=1}^{i-1} \frac{\Delta Z_j}{\lambda_j} \right) \right\} + Wt \cdot Q_o \cdot \sum_{i=1}^n \frac{\Delta Z_i}{\lambda_j} \quad (\text{h}^\circ\text{C})$$

Here the frost resistance of the layers is

$$\Omega = \sum_{i=1}^n \left\{ L_i \cdot \Delta Z_i \cdot \left(\frac{\Delta Z_i}{2\lambda_i} + \sum_{j=1}^{i-1} \frac{\Delta Z_j}{\lambda_j} \right) \right\}$$

The released heat capacity is

$$E = Wt \cdot Q_o \cdot \sum_{i=1}^n \frac{\Delta Z_i}{\lambda_j}$$

$$F = \Omega + E$$

ΔZ = layer thickness, m

λ = thermal conductivity, W/mK

$L = w \cdot \rho_d \cdot l$ = volumetric heat capacity, Wh/m³

w = moisture content by weight, (%)

ρ_d = dry unit weight, (kg/m³)

l = heat capacity for water, 93 Wh/kg

Wt = Watzinger parameter, Wt

Q_o = Earth heat capacity, Wh/m²

It is seen that the water content is a key parameter in limiting the freezing depth. At least for the assumed critical period, late autumn/early winter, when the frozen depth is restricted to 15 – 20 cm, this parameter will dominate the icing tendency.

Later, during an established winter period, the thermal conductivity for frozen layers will also influence the surface temperature / icing tendency. The thermal conductivity for different frozen pavement materials may not be very different, in which case the water content will still be the dominating factor, even if we know that the thermal conductivity for individual minerals (e.g. quartz vs other minerals) may vary considerably, as shown in (6) and (7).

The formation of hoarfrost may be very clear when there are differences in the pavement structure, especially through the introduction of insulated road materials or through the use of open graded, low-moisture materials.

Figure 1 shows the formation of hoarfrost in an area where open graded materials have been used for backfilling of a new pipeline. Figure 2 shows hoarfrost forming on a 100 m long pavement section on Road No. 35 where the asphalt surfacing (20 cm thickness) is placed directly on extruded polystyrene boards.



Figure 1. Hoarfrost forming following the excavation for a new pipeline. (Photo: Geir Refsdal)



Figure 2. Hoarfrost forming on an insulated road section (Photo: Geir Refsdal)

Figure 3 uses the Frost Penetration Equation to illustrate the expected penetration for dense- and open-graded materials. It shows that small changes in the frozen thermal conductivity can change the susceptibility to road icing, which in general would be in favour of the dense-graded pavement structure. In the example it can be seen that a drop in lambda value of only 0,15 W/mK for the dense-graded pavement would bring the accumulated frost index down to the value of the open-graded pavement, where the two pavements should be expected to behave fairly similarly with respect to road icing.

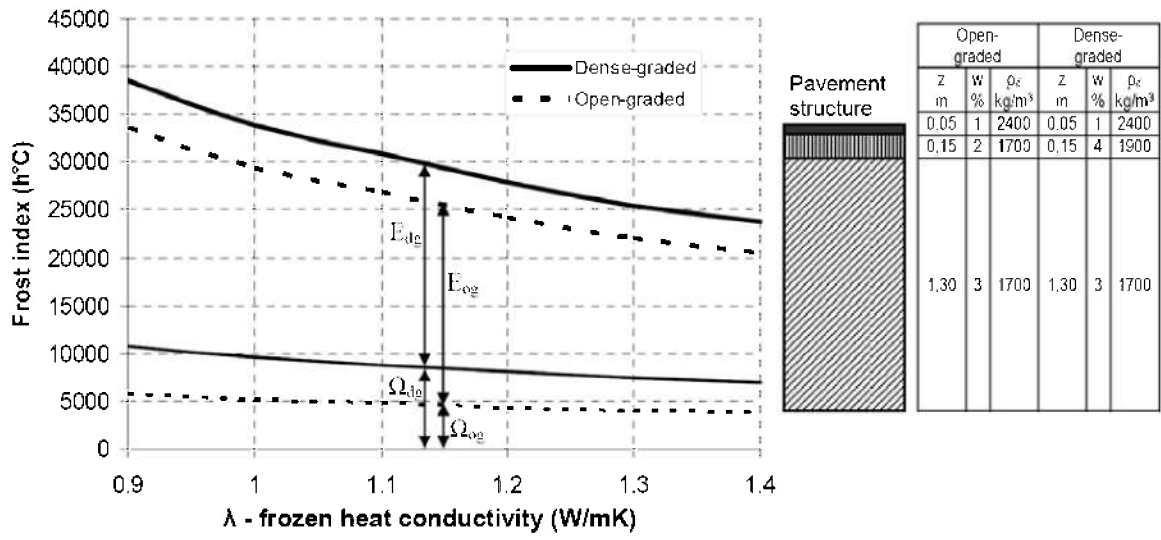


Figure 3. Illustration of the effect of the frozen thermal conductivity

5. Assessment of road pavements according to icing susceptibility

In general, pavements which can transfer heat to the road surfacing in the largest quantities, and in the shortest time, will be the best pavements in relation to road icing. When the road pavement is no longer capable of maintaining the surface temperature at the air temperature level, the conditions for the appearance of road icing is present.

The performance of the different types of pavements will depend largely on the period where icing may occur:

5.1. Late autumn / early winter situation

With frost indices typically below 100-150 h°C during the night it may be relevant to compare pavement constructions in terms of the heat quantity they can provide at a freezing depth of 20 cm.

The thermal conductivity for different types of pavement layers is not very different in a frozen state. It is therefore - for this situation - relevant to compare the icing susceptibility with the frost index which can be mobilized in the upper 20 cm of these pavements.

Figure 4 shows how different road pavements can be ranked according to road icing susceptibility during an late autumn / early winter situation.

During this period it is not of significant importance whether the subbase layer is constructed of well graded gravel or open graded crushed stone, as the heat capacity related to the water content in these layers will not be capable of influencing the surface temperature.

This means that whether pavements have frost insulation or deep open graded unbound materials, will not have the effect of significantly lowering the surface temperature, and thereby create surface icing during this period.

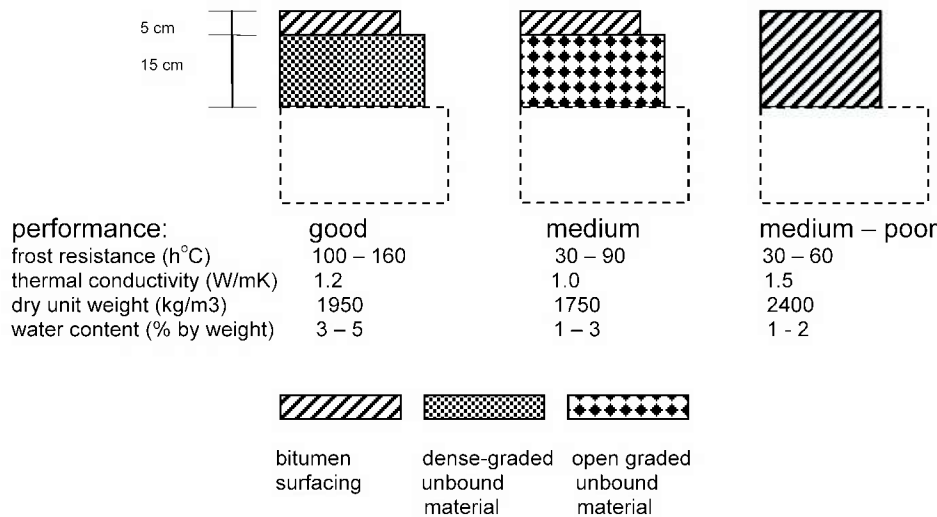


Figure 4. Ranking of pavement structures related to road icing – late autumn / early winter conditions

5.2. Established winter situation

Winter maintenance on Norwegian roads is divided into two classes. For low traffic roads a carpet of snow and ice is accepted. For medium to high traffic roads it is required that the road surface should be “black” throughout the winter, i.e. falling snow should be cleared within few hours. For certain roads “black wheel tracks” are accepted.

During this period the effect of the heat flow from layers underlying the freezing zone will significantly influence the temperature regime for the pavement. If this heat flow is restricted, as it will be if the pavement is frost protected with insulation boards, this could, for short periods, be the reason for surfacing temperatures below air temperature and road icing. Pavement structures with a high heat capacity or with a good ability to transfer earth heat to overlying layers will, during this period, be the best suited ones for providing high surface temperatures. An example of such a pavement is one that contains dense-graded, unbound materials.

Figure 5 shows how different road pavements can be ranked according to road icing susceptibility during an established winter situation. The ranking is most relevant for medium to high traffic roads, which should be kept black through the winter. However, such situations may also occur for low traffic roads in periods where the surfacing is clear of snow and/or ice.

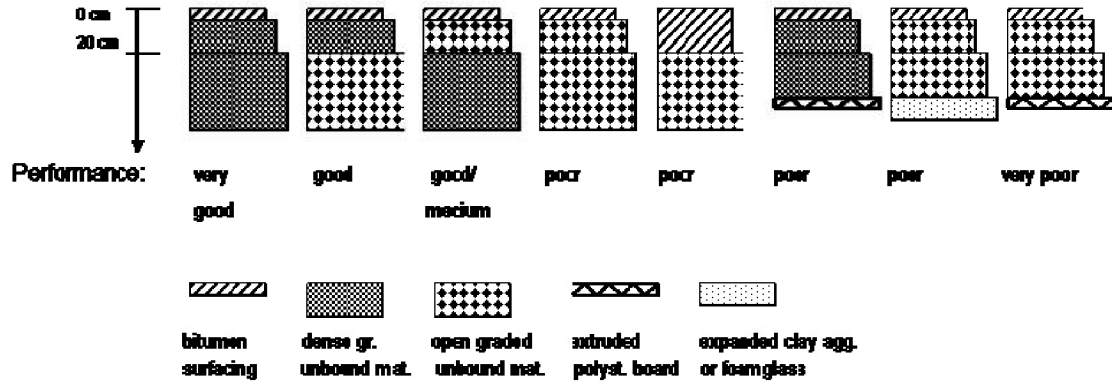


Figure 5. Ranking of pavement structures related to road icing – established winter conditions

Old roads

Old roads with limited traffic will often be of the type shown to the left in figure 5, i.e. with gravel base course and subbase. Such roads will only rarely present conditions which could create road icing.

Other old low traffic roads where the base course is substituted with open graded unbound material will also show good performance against icing.

Roads with open graded unbound materials

New roads are normally constructed with both base course and subbase layers of open graded unbound materials. Due to low water contents, such materials will not be able to produce sufficient heat through freezing that can compensate for a sudden drop in surface temperature. Road icing is often the consequence. However such roads are normally in the “black” road surface category, which means that these roads will be salted whenever required in order to prevent the formation of ice or even thin snow layers. All Norwegian motorways with dual carriageway are constructed with open graded unbound materials, often in deeper layers for frost protection, i.e. 1.5 to 2.0 m. In terms of icing susceptibility this is one of the worst types of structure possible, but the “black road” winter maintenance strategy makes it possible to utilise such a type of pavement successfully. If this will be acceptable also in the future remains to see. The high icing susceptibility of these roads is not well known, not even in the Roads Department.

Insulated roads

Insulated roads, using extruded polystyrene (XPS), alternatively expanded clay aggregate or foamglass, fall into the “poor performance” category with regards to icing. Structures containing expanded clay aggregate or foamglass will perform slightly better than those with XPS because there is water present around the aggregate particles in the expanded clay and the foamglass. The general pavement design requirements, which call for a minimum thickness of material above the polystyrene boards, are not sufficient to cope with the road icing problems.

The main criteria for counteracting icing will be the type of material that is used above insulating boards. Design criteria which are limited to providing a minimum depth for the insulation board is therefore not sufficient to avoid road icing. The general rule is that materials with a high proportion of water, which normally will be equivalent to a high proportion of fines, will be the key factor. If we can place this moisture in the base, we have done the maximum possible to

prevent road icing. Such measures are in contrast to the general material requirements for high traffic roads, and cannot always be followed.

Roads on lightweight embankments

What is said above about the use of frost insulating materials, is also valid for pavement structures above lightweight embankments of expanded polystyrene (EPS), expanded clay aggregate or foamglass. Such materials are commonly used and EPS embankments are now found on nearly 500 sections on the Norwegian road network.

Roads with white stone aggregate or concrete pavements

The surfacing color will influence the absorption of short waved radiation, mainly in the form of direct sunlight. It is not uncommon to add a certain amount of white aggregate in the asphalt mix in order to be able to reduce the need for road lightening or as an argument for increased traffic safety. This practice can be questioned when we know that such surfacings will lead to reduced surface temperatures during clear nights. Typical temperature differences between light and dark road surfacings has been measured to 5°C. In the Eastern Region of Norway this practice has now been abandoned for a while in order to investigate further this dilemma.

Road tunnels

For road tunnels - of which Norway has some 2000 km on the national road network, icing will never be a problem, whatever the pavement structure should be. Certainly it may happen that water flows over the road surface and freezes, however road icing as a result of radiation will completely disappear once you are inside the tunnel. No pavement type, including those that utilise insulating boards or granular insulating materials, will cause icing in road tunnels.

5.3. Late winter / early spring situation

As mentioned above late winter/early spring is not a critical period for road icing, but sudden temperature drops may nevertheless create situations in favour of icing. During this period the insulated pavements will show excellent icing behaviour. However, this period is not critical for motorists.

6. Conclusions – how to avoid road icing

In Norway we have today the knowledge to eliminate or reduce road icing to a tolerable level in the way we design our road pavements. This knowledge is not yet well established among road planners and pavement consultants. However, to some extent the icing problem is taken care of in the Norwegian Pavement and Materials Design Manual (3).

Good practice to avoid or reduce road icing will include the following:

6.1. Water is a key issue - and the closer to the surface the better

Dense-graded, unbound materials will provide better performance than open graded, unbound materials and the higher up in the pavement this material can be placed, the better. The reason for this lies in the higher moisture contents such materials can accommodate. Other materials, which also contain water, will result in similar performance.

The common use of open-graded, unbound, materials in high traffic road pavements contradicts the desired use of materials with high contents of fines and moisture in the pavement. However, the present winter maintenance practice, which provides all medium to high traffic road with a “black surfacing” during the winter, makes the current design practice possible. Nevertheless, it remains to be seen whether this construction method is viable.

6.2. Insulated pavements

Insulated pavements effectively reduce the heat flow to the surface. The icing problem can however be brought to a tolerable level by introducing materials which contain water into the layers above the insulation board or insulation materials.

Road icing on insulated pavements is not taken care of by the requirement of a minimum depth to the insulating layer. This will not prevent the occurrence of road icing, but the use of densely graded materials which contain water will be very effective. Normally it is possible to introduce such layers.

6.3. White aggregates or concrete pavements

White aggregates in the surfacing have been utilized in order to reduce the need for road illumination or as an argument for increased traffic safety (visibility). This practice is now terminated in order to investigate if this positive effect on traffic safety outweighs the increased risk of road icing on account of the lower surface temperature such surfacings will create due to increased radiation.

6.4. Road tunnels

In road tunnels there is no radiation that could create road icing problems, regardless of the type of pavement construction, including the use of insulating boards. The effect is immediate once you are inside the tunnel.

References

1. Aabøe, R, Øiseth, E, Hägglund, J, *Granulated Foamed Glass for Civil Engineering Applications*, BCRA Conference, Trondheim, 2005
2. Aabøe, R, Øiseth, E, *Foamed Glass – an Alternative Lightweight and Insulating Material*, Conference on Sustainable Waste Management and Recycling, Kingston, England, Sept. 2004
3. Norwegian Directorate of Roads. *Pavement and Materials Design Manual*. Manual No 18. January 2005 (in Norwegian)
4. Refsdal, Geir, *Norwegian Experience with both Thermal Insulation and Non Earth Fills beneath Roads, with Emphasis on Road Icing*. Transportation Research Board Annual Meeting 1995.
5. Committee on Frost Action in Soils. Vol. 17. Frost Action in Soils. Nov. 1976 (in Norwegian)
6. Landolt-Börnstein, *Thermal Conductivity of the most Important Materials*. Zahlenwerte und Funktionen. 6. Auflage, IV. Band 4. Teil, Wärmetechnik, Bandteil b. Springer Verlag, Berlin, Pp. 409 – 615. (in German)
7. Johansen, Øystein. *Thermal Conductivity og Soils*. Doctor Thesis, Technical University of Trondheim. Report No. 69. Institute for Thermodynamics (in Norwegian)

Utfordringer knyttet til frost for landkarløse bruer

Frost related problems and integral bridges

Alexander Slobodinski, Statens vegvesen Region vest (alexander.slobodinski@vegvesen.no)

Summary

Piles and piers in frozen soil represent a complex problem when it comes to design. When soil freeze it gains stiffness, so piles can not move freely. This situation can result in large bending moments and shear forces in piers. This phenomenon is especially significant for integral bridges, due to how the bridge reacts on horizontal forces and longitudinal movement. Bridges without expansion joints and bearings between the superstructure and piers and abutments are defined as integral bridges.

The program Group PSI has been used to model a pile in soil with a frozen top layer. Horizontal loads of 50 kN and 100 kN are applied in top of the pile to see how the system reacts. Normal stresses in the surrounding soil, bending moments, shear forces and horizontal displacement is the output of each analysis. The model have also been analysed with an unfrozen top layer for comparison.

Innledning

Bakgrunnen for denne artikkelen er prosjektoppgaven Landkarløse bruer – Utførelse av slike og vurdering av testfundament (2006). Prosjektoppgaven var direkte knyttet opp til Langbakk bru på nye rv. 2 Kløfta – Nybakk i Skedsmo kommune. I oppgaven ble det blant annet sett på hvordan et frossent jordlag påvirker en horisontalt belastet pel. Dette ble gjort med beregninger i programmet Group PSI.

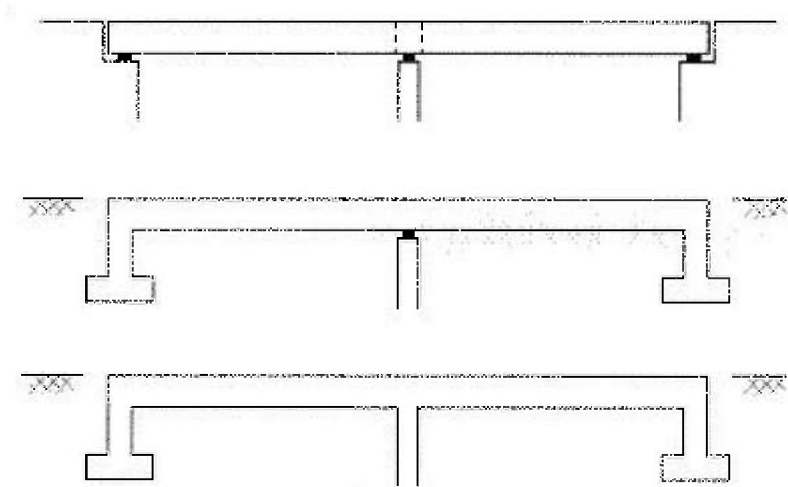
Innledningsvis bør det belyses hva landkarløse bruer er. Landkarløse bruer er bruer som er prosjektert på en slik måte at fugeskjøter for utvidelse er utelatt både mellom bruspen, og mellom bruspen og endefundamenter. Motstand mot sideveis termisk utvidelse og bremskrefter, kommer stort sett fra stivheten til jordmaterialet som er tilstøtende med landkarene, men i noen tilfeller også av stivheten til brukarene (Slobodinski 2007).

De viktigste fordeler med landkarløse bruer (Slobodinski. 2006);

- Mer økonomiske å bygge
- Nesten vedlikeholdsfrie grunnet mangel på lager og fugeskjøter
- Kortere byggetid enn ordinære bruer

Noen ulemper og problemer knyttet til landkarløse bruer (Slobodinski. 2006);

- Endring av fyllmassene over tid ved endefundamentene pga. utvidelse og sammen-trekking av brua i lengderetning.
- Drenering ved endefundamentene
- Setninger bak endefundamentene som en følge av bruas oppførsel



Figur 1: Noen løsninger for landkarløse bruer, (O' Brien & Keogh 1999).

Bakgrunn for prosjektoppgaven er at Vegdirektoratet instrumenterte Langbakk bru. Årsaken til instrumenteringen var å oppnå økt innsikt i hvordan en norsk landkarløs bru oppfører seg.

Instrumenteringen dekket:

- Bruas posisjon i et vist antall punkter langs brua.
- Lufttemperatur
- Jordtrykksmåling i hver ende av brua.
- Krefter som virker på setningsplate/overgangsplate

Det har under bygging blitt utført horisontal oppspenning av peler i akse 4. Etter bygging har det med hjelp fra Forsvaret blitt påført horisontale laster med stridsvogner og bergingsvogner for simulering av bremselast.

Problemstilling

Siden landkarløse bruer mangler fuger og skjøter, så vil temperaturendringer føre til at de både utvider og trekker seg sammen i lengderetningen. Det finnes flere grunner til at brudekket utvider og trekker seg sammen, men temperaturendringer er den faktoren med størst betydning.

Motstanden som en landkarløs bro har mot bevegelse av en eller annen grad, avhenger i stor grad av hvilken type konstruksjon fundamentene er. I hvert tilfelle er det benyttet en påkjøringsrampe i bakkant av fundamentet. Vanlig praksis er å plassere disse over overgangssonen mellom brua og det tilstøtende jordmaterialet. (O' Brien & Keogh 1999).

For Langbakk bru ble det benyttet sprengt stein.

Et problem for landkarløse bruer er at jordmaterialet som er plassert bak landkaret forandres over tid. På grunn av utvidelse og sammentrekking knuses massene ned, og finstoff dannes. Dette kan igjen føre til økt passivt jordtrykk. (Slobodinski. 2006)

Et av hovedproblemene til søyler og peler i frossen jord er at disse kan bevege seg mindre fritt. Som en følge av dette kan man få store bøyemomenter og skjærkrefter i søylen, grunnet at jorden rundt pelen er mye stivere enn hvis den hadde vært ufrossen. Pelen holdes rett og slett fast og gis lite rom for bevegelse.

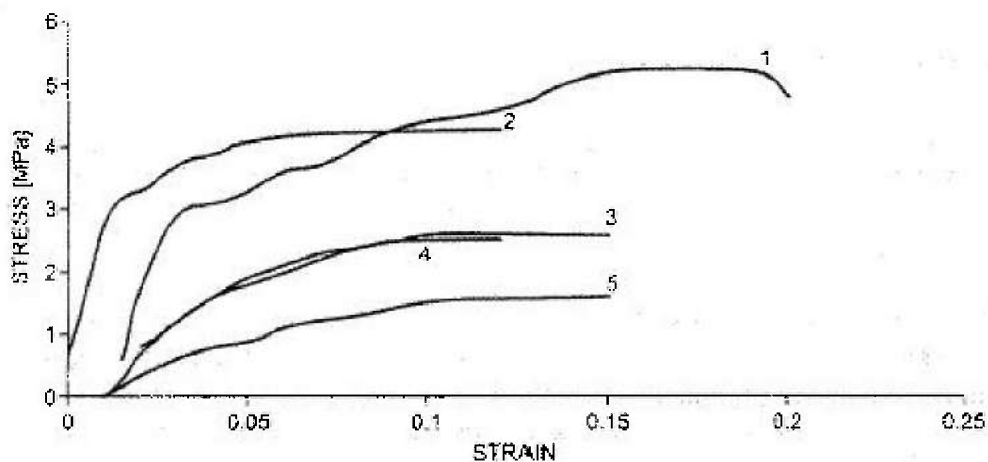
I Finland modelleres frossen jord rundt peler og søyler ved å legge en komplett fastlåst horisontal støtte ved grunnvannsnivå. (Kerokoski 2006).

Teorigrunnlag

Frossen jord er et komplekst system som består av komponenter med ulike egenskaper som varierer etter hvilken fase de befinner seg i (fast, plastisk, flytende eller gassform). Frossen jord sees som oftest på som et inkompressibelt materiale. Høyere grad av kryppoppførsel og høy styrke er hovedegenskapene som kan knyttes til frossen jord, sammenlignet med frostfri jord. Faktorer som spiller inn på oppførselen til frossen jord er tid, temperatur, spenninger og tilstedeværelse av is og ufrosset vann. Andre forhold som spiller inn på deformasjoner og bruddmekanisme er mobiliseringsgrad og pålastningshastighet.

Styrken til frossen jord kommer av kohesjon, friksjon mellom partikler og innbyrdes låsing mellom partikler. Størrelsesorden på styrken kan sammenlignes med den stryken som finnes hos betong, selv om denne varierer sterkt med tøyningshastighet, temperatur og jord. På grunn av sementering av is er kohesjonen betydelig, og strekkstyrken kan grovt sies å være 1/3 til 1/2 av kompresjonstyrken. (Berggren 1983).

Stivheten eller E-modulen for frostfrie kohesive jordarter kan finnes fra en rekke kilder, og verdiene kan ha betydelig variasjon. Det kan fastlås at en gjennomsnittlig verdi for ufrossen siltig leire kan være $E = 10 - 20 \text{ MPa}$.



Figur 2: Spenning - tøyningkurver for forskjellige tøyningshastigheter, (Kerokoski 2006).

Figur 2 viser at trykkstyrken til frossen jord øker med synkende temperatur for en gitt tøynings-hastighet. Kurvene som er merket fra 1 til 5 referer til;

1. tøyningshastighet = $9,9 * 10^{-6}$ 1/s, T = - 20 °C og $\sigma = 5,05$ MPa
2. tøyningshastighet = $11,2 * 10^{-6}$ 1/s, T = - 20 °C og $\sigma = 4,65$ MPa
3. tøyningshastighet = $25 * 10^{-6}$ 1/s, T = - 10 °C og $\sigma = 2,77$ MPa
4. tøyningshastighet = $9,9 * 10^{-6}$ 1/s, T = - 10 °C og $\sigma = 2,62$ MPa
5. tøyningshastighet = $9,9 * 10^{-6}$ 1/s, T = - 5 °C og $\sigma = 1,73$ MPa

Elastisitetensmodulen for frosne kohesive jordarter kan regnes ut fra å se på starten på kurvene i Figur 2.

- 5 °C, kurve 5: E = 0,56 MPa / 0,019 = 29 MPa
- 10 °C, kurve 3 og 4: E = 1,1 MPa / 0,019 = 58 MPa
- 20 °C, kurve 1 og 2: E = 2,1 MPa / 0,01 = 210 MPa

Fra dette har vi at forholdet $E_{\text{frossen}} / E_{\text{ufrossen}}$ er mellom 2 – 20. (Kerokoski 2006).

I Jessberger (1980) slås det fast at friksjonsvinkelen ikke forandrer seg mye med tid og temperatur. Dette vil være gjeldene så lenge ikke temperaturen er betydelig lavere enn frysetemperaturen for vannet i jorden. Men det konkluderes også med at friksjonsvinkelen er noe lavere for frossen jord enn for frostfri jord.

Programmet Group PSI

Group PSI er en videreutvikling av programmet Group, og er beregnet for å analysere pele-grupper. Beregningene utføres som en samvirkeanalyse av mellom pelene og omkringliggende jord. Det er mulig å velge mellom en rekke jordmodeller, eller definere egen jordmodell. Programmet fremstiller resultater både tabellarisk og grafisk. (Statens Vegvesen 2006). For de ulike parameterne som er benyttet i Group PSI vises det til brukermanualen for programmet.

Forsøksprosedyre

Modellen som er brukt er bygd opp som en enkelt pel på 20 m som er rammet til fjell. En hori-sontal last er satt på i toppen, henholdsvis 50 kN og 100 kN. Tolkede grunnforhold gir lagdeling og inngangsparametere som vist i tabell 1.

Kote	Materiale	Ufrossent tilfelle		Frossent tilfelle	
		a	tan ϕ	a	tan ϕ
136 – 134	Tørrskorpe, leirig silt	0	0,58	4000	0,55
134 – 126	Leirig silt	10	0,49	10	0,49
126 – 123	Siltig leire	10	0,49	10	0,49
123 – 116	Leire	10	0,50	10	0,50
116 -	Fjell				

Tabell 1: Lagdeling pel for modelleringsforsøk.

Input for pelen er;

- Lengde
- Type pel (sirkulær eller kvadratisk)
- Diameter
- E-modul og tverrkontraksjonstall
- Rammet til fjell / svevende

Programmet og de ulike jordmodellene som kan benyttes har mange parametere som ikke gjengis her. Alle parameterne utover attraksjon og friksjonsvinkel er antatt som for modellene som allerede finnes i programmet, henholdsvis etter om materialet er bløtt, soft-medium eller overkonsolidert. For de ulike parameterne som er benyttet i Group PSI vises det til brukermanualen for programmet.

Utførte modellforsøk

For prosjektoppgaven Landkarløse bruer, ble det laget to modeller, en med ren udrenert oppførsel, og en med delvis drenert oppførsel. Disse ble brukt for de to bruksene 4 og 5, hvor det skulle utføres konkrete oppspenningsforsøk.

Nr.	Modell	Akse 4	Akse 5
1	Ren udrenert modell	x	x
2	Delvis drenert modell	x	
3	Last forskyvningskurve		x
4	Beregning med frost	x	

Tabell 2: Modeller og bruksener.

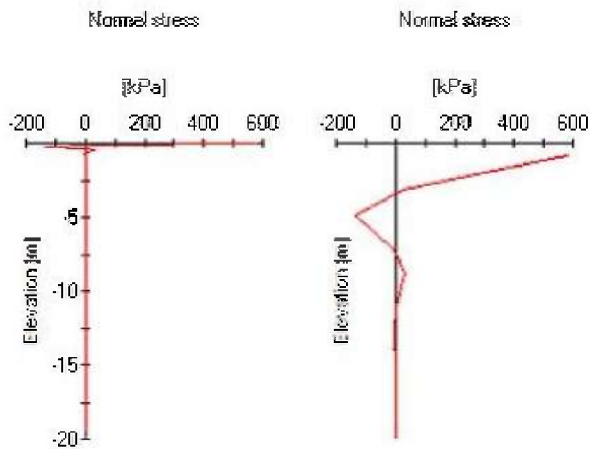
For den delvis drenerte beregningen ble det øverste jordlaget, tørrskorpen, skiftet ut med et drenerende lag som skulle simulere sand. Fra tabellen over har man at frostberegningene, bør sammenlignes med rent udrenerte beregninger for akse 4. Denne artikkelen går ikke videre inn på forsøk og resultater for modell nr. 2 og 3.

Påsetting av horisontale laster av 50 kN og 100 kN i to omganger, er i tråd med pelforsøkene som ble utført i desember 2006. For hver påsatte kraft, er det registrert normalspenninger, bøyemoment, skjærkraft og sideveis forskyvning.

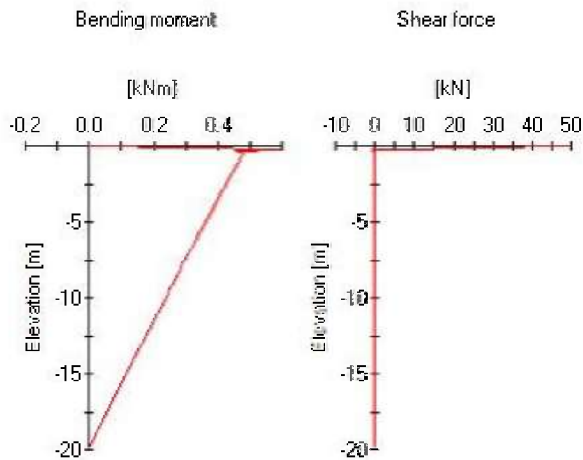
Resultater og sammenligning mot ufrossent tilfelle

Under er det vist resultater fra en pel som er påsatt en last på henholdsvis 50 kN (figur 3, 4 og 5) og 100 kN (figur 6, 7 og 8) i toppen for et frossent topplag, og for frostfritt topplag (figur 9 og 10). Det er ikke modellert hvilken kraft som skal til for å flytte pelen 50 mm i toppen med frossent lag.

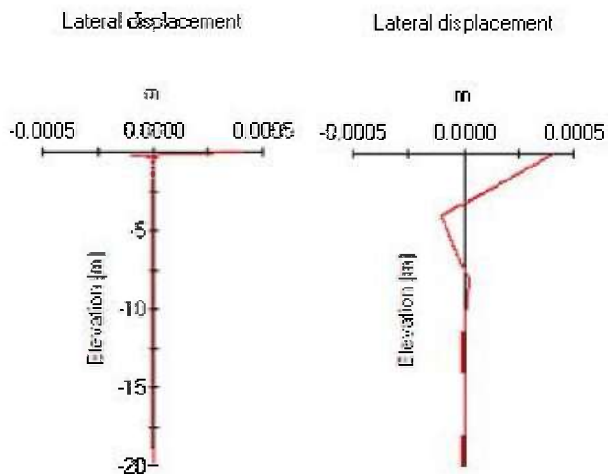
Frost i topplag, belastning 50 kN



Figur 3. Normalspenninger. Til venstre: for hele lengden. Til høyre: for øverste meter.

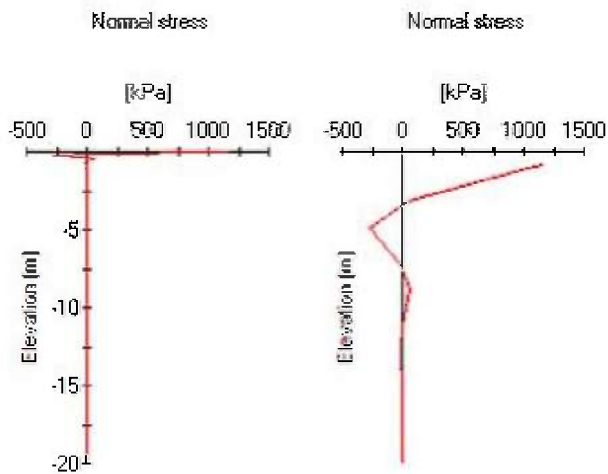


Figur 4. Bøyemoment og skjærkraft.

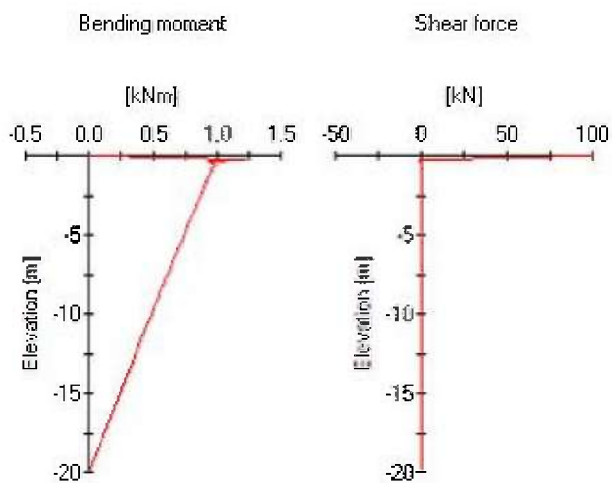


Figur 5. Sideveis forskyvning. Til venstre: for hele lengden. Til høyre: for øverste meter.

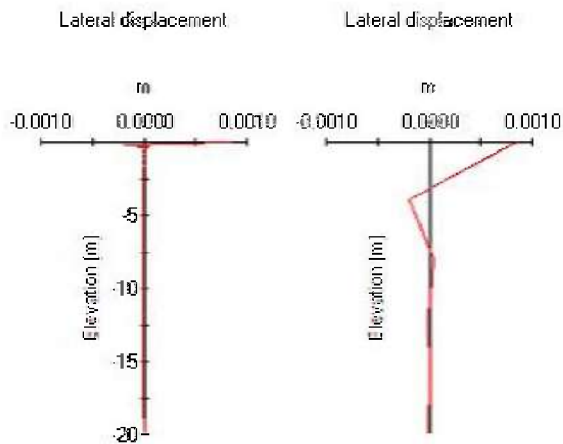
Frost i topplag, belastning 100 kN



Figur 6. Normalspenninger. Til venstre: for hele lengden. Til høyre: for øverste meter.

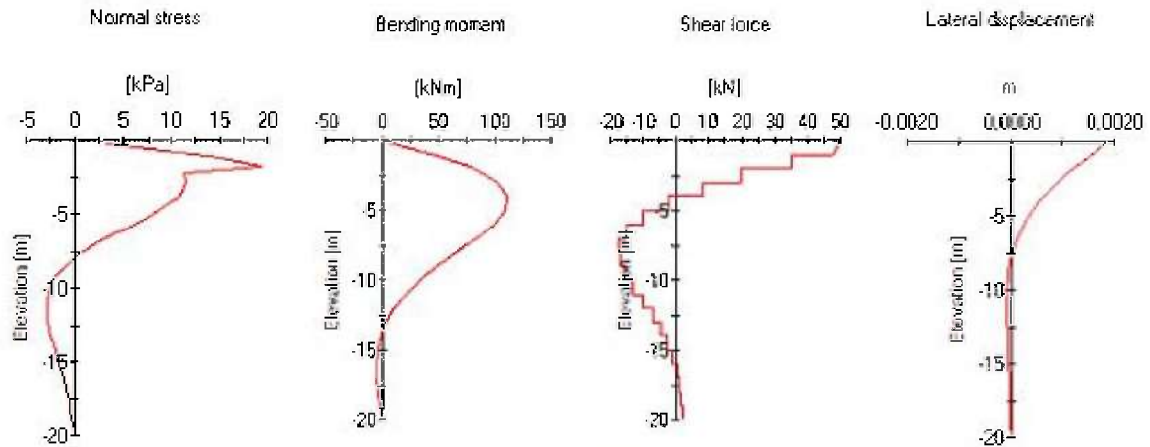


Figur 7. Bøyemoment og skjærkraft.

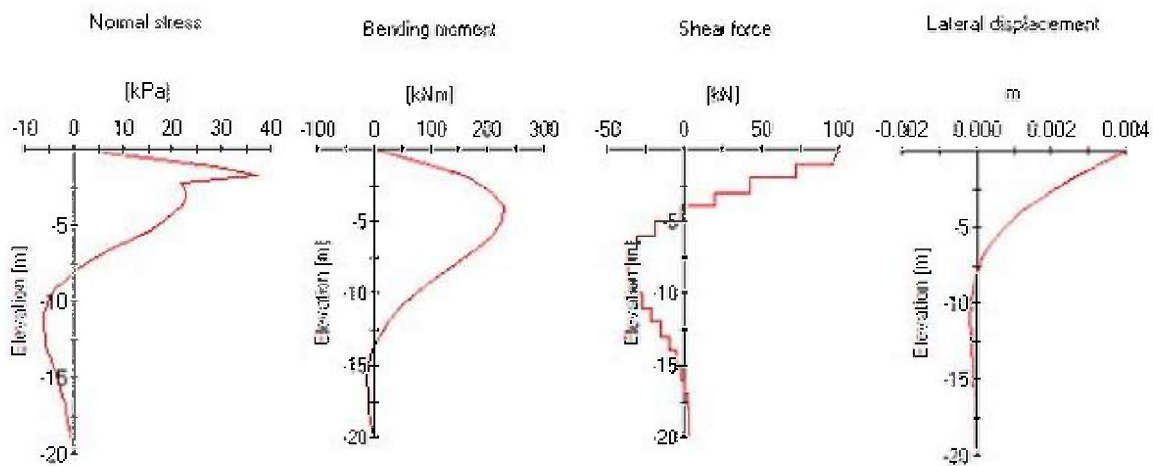


Figur 8. Sideveis forskyvning. Til venstre: for hele lengden. Til høyre: for øverste meter.

Frostfritt topplag, belastning 50 kN og 100 kN



Figur 9: Normalspenninger, bøyemoment, skjærkraft og sideveis forskyvning (ved 50 kN)



Figur 10: Normalspenninger, bøyemoment, skjærkraft og sideveis forskyvning (ved 100 kN)

Diskusjon

Normalspenningene blir svært store i toppen av pelen, og spesielt i de øverste 20 cm for beregningene hvor det øverste jordlaget er frosset, mens normalspenningene i dybden er tilnærmet lik null. For beregningene med et ufrossent topplag er ikke normalspenningene på langt nær så store, men med et jevnere forløp langs pelen. Bøyemomentene for beregningene med frossent jordlag er heller ikke av betydning. Skjærkreftene er tilnærmet like helt i toppen av pelen for beregningene med både frossent og ufrossent topplag, mens de for det frosne topplaget er lik null rett under toppen.

Kurvene for forskyvning viser tydelig at for beregningene med et frossent topplag holdes pelen fast med minimal forskyvning. Derimot for beregningene med ufrossent topplag, så er forskyvningene i pelen størst i toppen, og avtagende mot bunne av pelen.

For modellen er det valgt en attraksjon på 4000 kPa. Ved en så stor attraksjon kan man anta at jorden oppfører seg som en betong. Dette påvirker pelen ved at den holdes helt fast, som om man hadde støpt et 2 meters lag rundt toppen av pelen. Fra grafene ser man at hele forskyvningen skjer i den øverste meteren, men disse er minimale. For å få dette fram tydelig er det gjort en økning av antall jordelementer i modellen. Med dette får man også fram at pelen nesten ikke får noe bøyemoment og at skjærkraften er lik null i dybden.

Feilkilder og videre arbeider

De utførte beregningene med et frossent jordlag er nok i tynneste laget for å kunne trekke opp noen generelle konklusjoner, men kan sies å så vidt ha berørt temaet peler og søyler i frossen jord. Et mer omfattende opplegg med beregninger og langtidsinstrumentering ville

Hvorvidt det er riktig å bruke Group PSI til å beregne peler i frossen jord ved å angi parametere som kan være realistiske for frossen jord, ble ikke vurdert videre i prosjektet eller denne artikkelen. På den annen side viser resultatene at pelen holdes fast, så fra dette er den ønskede effekten er oppnådd. Problemstillingen burde nok også vært modellert i programmer hvor frost er en del av inngangsdata.

Tykkelsen på det frosne laget vil også være av betydning. Det ble ikke gjort beregninger hvor det frosne laget har varierende tykkelse. Det ville antageligvis gitt forskjellige resultater med variasjon i frostdybde.

Beregningene tar kun for seg pelen fra topp terreng og ned til fjell. Hadde det i tillegg vært lagt til en forlengelse av pelen som fungerte som søyle, og med variasjon i angrepspunkt på last, ville nok dette gitt andre resultater. Det ville også vært mer realistisk med tanke på at søylen og pelen er en del av en bru.

De utførte beregningene med et frossent jordlag er nok i tynneste laget for å kunne trekke opp noen generelle konklusjoner, men kan sies å så vidt ha berørt temaet peler og søyler i frossen jord. Et mer omfattende opplegg med beregninger og langtidsinstrumentering ville nok gitt en grundigere og bedre forståelse av denne komplekse problemstilling. Søyler og peler ved Langbakk bru ble ikke instrumentert for å måle de kreftene som virker i og rundt de, verken for korttid eller langtid. Det ideelle ville vært å følge opp instrumenterte peler og søyler over noen år, både sommer og vinter.

Referanser

Berggren. 1983. *Engineering Creep Models for Frozen Soil Behaviour*. Institutt for Geoteknikk, Norges Tekniske Høgskole, Universitetet i Trondheim.

Jessberger. 1980. *Ground Freezing: Mechanical Properties, Processes and Design*. The 2nd International Symposium on Ground Freezing, The Norwegian Institute of Technology. Trondheim.

Kerokoski. 2006. *Soil Structure Interaction of Long Jointless Bridges with Integral Abutments*. Publication 605, Tampere University of Technology. ISBN 952-15-1620-8, ISSN1459-2045. Tampere, Finland

O' Brien & Keogh. 1999. *Bridge Deck Analysis*. E & FN Spon., ISBN 0-419-22500-0. London, Storbritannia.

Slobodinski. 2006. *Landkarløse bruer – Utførelse av slike og vurdering av testfundament*. Prosjektoppgave, Geoteknikk fordypning. Institutt for bygg, anlegg og transport, Fakultet for ingeniørvitenskap og teknologi, Norges teknisk- naturvitenskapelige universitet (NTNU). Trondheim.

Slobodinski. 2007. *Landkarløse bruer. Langbakk bru*. Diplomoppgave, Geoteknikk fordypning. Institutt for bygg, anlegg og transport, Fakultet for ingeniørvitenskap og teknologi, Norges teknisk- naturvitenskapelige universitet (NTNU). Trondheim.

Statens Vegvesen. 2006. *Geoteknikk i vegbygging*. Håndbok 016, Statens Vegvesen, Vegdirektoratet – Teknologivdelingen. Oslo

En sammenstilling av grunnundersøkelser i Longyearbyen

Summary of geotechnical investigations in Longyearbyen

Marit Bratland Pedersen, stud.techn., NTNU (marit.bratland.pedersen@gmail.com)

Øyvind Skeie Hellum, stud.techn., NTNU (oyvihe@gmail.com)

Summary

A report containing a summary of results from several geotechnical investigations in Longyearbyen up to 2007 has been produced. To be able to make this, it has been necessary to take contact with several companies. Results from the reports are put together in a map, and references are made to the several reports. The map is available both digitally and in paper format. The map can be ordered at the local government in Longyearbyen, which are also keeping the map updated.

Sammendrag

Det er utarbeidet en rapport som inneholder en sammenstilling av geotekniske grunnundersøkelser utført i Longyearbyen til og med 2007. For å få tak i rapportene utarbeidet i forbindelse med de ulike undersøkelsene er aktuelle aktører kontaktet. Rapportene er så sammenstilt i et kart med kildehenvisninger til respektive rapporter. Kartet foreligger både i digital- og papirformat. Kartet kan skaffes hos Longyearbyen Lokalstyre og holdes oppdatert av dem.

Skredfarekartlegging inngår også i kartet med både aktuelle løseområder og utløpslinjer.

Innledning

Rapporten ”En sammenstilling av grunnundersøkelser i Longyearbyen” ble skrevet i faget ”TBA 4510 – Geoteknikk fordypningsprosjekt” ved NTNU høsten 2007. Oppgaven omhandler geotekniske undersøkelser utført i Longyearbyen og er utført ved Universitetssenteret på Svalbard, UNIS. Veileder for prosjektet var Lars Grande.

Arbeidet ble startet i juli med å kontakte alle aktører som vi mente kunne sitte inne med rapporter om grunnundersøkelser i Longyearbyen. Det viste seg da at det generelt var liten oversikt over hva som tidligere var blitt utført, også innad i firmaene. Dette kan nok skyldes den forholdsvis store utskiftningen i folk som det lenge har vært på Svalbard. Mange tilbringer bare noen få år her oppe før de flytter ned igjen, og tar dermed med seg mye kunnskap ned når de drar. De aller fleste av rapportene vi har fått tilgang til finnes kun i papirformat, noe som kan gjøre det vanskelig å søke dem opp om de ikke er lagt inn firmaenes nyere databaser.

Tilbakemeldingene fra både bedrifter og enkeltpersoner var i hovedsak veldig positive, og de aller fleste var veldig hjelpsomme. Likevel kan det være rapporter som ikke har kommet med i kartet.

Utarbeidelse av kart

Kartet er utarbeidet i ArcGIS 9.2. Programmets analysefunksjoner er også benyttet til å lage kart over potensielle løснеområder for skred. I kartet er det lagt inn data som punkter og linjer. Vanlige grunnboringer er registrert som punkter, mens utløpslinjer for skred, seismikk- og georadar-profiler er registrert som linjer. Til hver registrering følger attributter om hvor punktet kommer fra, hvem som har rettigheten, hva som er gjort osv. Se tabell 1. Til sammen er 291 punkter registrert ved prosjektavslutning. I kartet vises punktene med standard geoteknisk symbolbruk.

Også laget med linjedata har tilsvarende attributttabell. Kolonnen *Id* i tabell 1 angir et nummer som finnes igjen ovenfor og til høyre for hver enkelt punkt i kartet. Dette peker også på rapportnummeret i rapportlista. Se tabell 2.

Selve kartet er mest praktisk å bruke i digitalt format, men finnes også i papirversjon. Ved bruk av digitalkartet kan man kjapt få listet opp data om de punktene man er interessert i. Kartet kan åpnes med gratisprogrammet ArcReader.

Strukturen i kartet er:

Grunnundersøkelser

Punkter	Det viktigste laget i denne framstillingen.
Profiler	Viser undersøkelser langs linjer, f eks seismikk.

Skredfarekartlegging

Skredfare	Maksimalt utløp for ulike typer skred.
Løsneområder	Viser områder med helning større enn 30 grader.

Kart

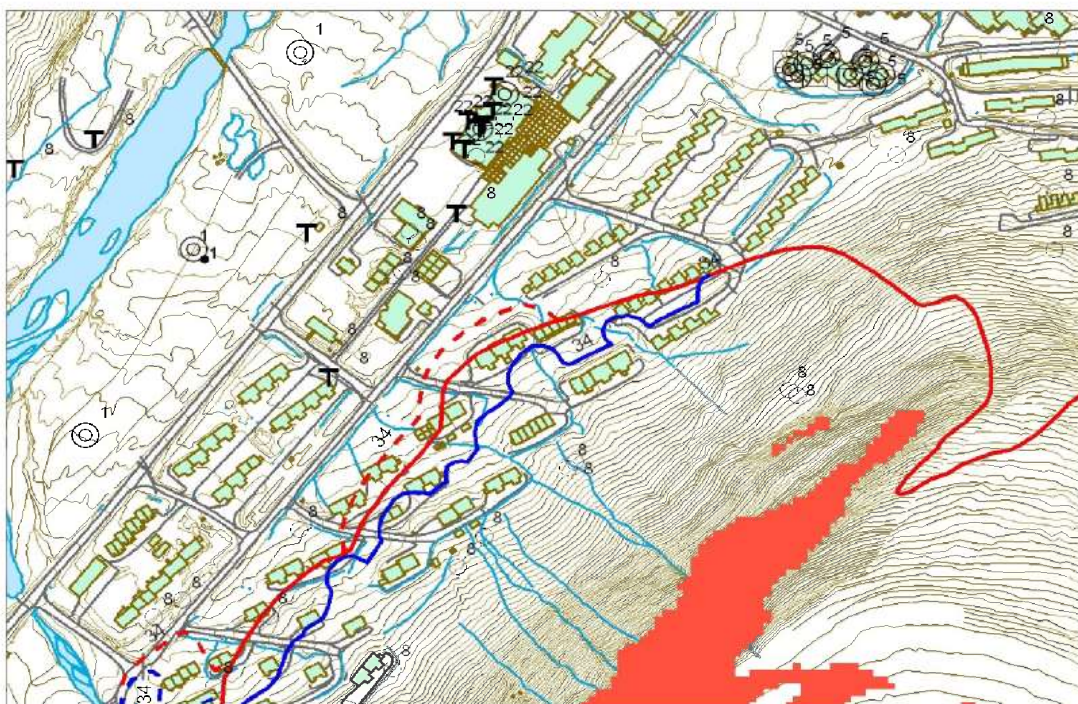
Viktige lag	De essensielle lagene i underlagskartet.
Mindre viktige lag	Diverse punktlag, f eks terrengpunkter.

Figur 1 viser et kartutsnitt fra kaiområdet der det er utført mange ulike undersøkelser – både seismikk og ordinær grunnboring.

Figur 2 viser sentrumsområdet og Lia inkludert løснеområder for skred markert som rødt, og utløpslinjer for skred. Grunnundersøkelsespunktene for området vises også.



Figur 1: Kartutsnitt fra kaia i Longyearbyen



Figur 2: Skredutløp og grunnundersøkelser i Sentrum og Lia

Hovedtrekk for grunnen i Longyearbyen

Som kartet viser er det forholdsvis stor geografisk spredning mellom grunnundersøkelsene i Longyeardalen. I deler av dalen finnes det ingen informasjon om utførte grunnundersøkelser, noe som blant annet gjelder hele området sør for Longyearbyen Skole. Mange av de eldre undersøkelsene som er utført er grunne, da det tidligere ble benyttet relativt grunn fundamentering, som 5 m ved Longyearbyen Sykehus. Området ved skolen med undersøkelser på 8 m, ned til 12 m på Elvesletta og 15 m ved UNIS er de dypeste.

Med så stor variasjon i undersøkelsene er det derfor svært vanskelig å trekke noen konklusjoner om stratigrafien i området. Å interpolere resultater mellom de utførte undersøkelsene vil kunne gi store feil, da det er relativt få undersøkelser i området og dybden varierer mye fra undersøkelse til undersøkelse. Vi velger derfor å ikke interpolere noen resultater.

Hvis man likevel skal si noe generelt om grunnforholdene i Longyeardalen, er det gjennomgående at grunnen består av mye leire med innslag av grus og sand. Dette gjelder de 15 øverste meterne. I elveleiet finner man et gruslag øverst som har en tykkelse på rundt 2 meter.

Ved UNIS ligger tykkelsen på det aktive laget rundt 1,5 m, mens temperaturen fra ca 8 m under terreng er konstant lik $-4,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ og uavhengig av sesongvariasjonene.

I områdene nær havet har porevannet høyt innhold av salt, noe som øker mengden ufrosset vann og gir lavere heft ved dyp fundamentering.

Oppdatering og tilgjengelighet

Longyearbyen Lokalstyre har påtatt seg å oppdatere kartet med nye grunnundersøkelser i framtida. Hvis man sitter på rapporter som ikke er med i kartet, kan derfor disse sendes dit for å få dem registrert. Oppdatert kart kan hentes hos dem. Opprinnelig rapport kan også lånes fra biblioteket ved UNIS i Longyearbyen, Institutt for bygg, anlegg og transport (BAT) ved NTNU i Trondheim eller ved å ta kontakt med en av artikkelens forfattere.

Referanser

En sammenstilling av grunnundersøkelser i Longyearbyen, prosjektoppgave i fagTBA 4510 – Geoteknikk fordypningsprosjekt, NTNU høsten 2007, Universitetscenteret på Svalbard, UNIS. (Veileder: Lars Grande)

Attributes of Punkter										
FID	M	POINT X	POINT Y	m.o.h.	Hull ID	typehoring	aar	Rettlighet	hull dybde	Kommentar
189	19	514902	8683494	10,2 19,9		1	04.02.1994	Instanes Svalbard AS	11,5	
190	19	514896	8683481	10,3 19,10		1	04.02.1994	Instanes Svalbard AS	11,5	
191	19	514841	8683531	8,1 19,1		2	04.02.1994	Instanes Svalbard AS	3,5	
192	19	514867	8683506	9,3 19,11		2	04.02.1994	Instanes Svalbard AS	4	
193	19	514887	8683492	9,8 19,11		2	04.02.1994	Instanes Svalbard AS	4	
194	19	514902	8683494	10,2 19,9		18	04.02.1994	Instanes Svalbard AS	11,5	
195	20	514923	8683500	11 20,102		1	03.10.2002	Statsbygg	15	
196	20	514905	8683540	8 20,101		1	03.10.2002	Statsbygg	10	
197	20	514943	8683460	10,9 20,103		1	03.10.2002	Statsbygg	15	
198	20	514968	8683522	8,4 20,104		1	03.10.2002	Statsbygg	15	
199	20	514959	8683485	10 20,105		1	03.10.2002	Statsbygg	15	
200	20	514979	8683430	10,7 20,106		1	03.10.2002	Statsbygg	7,8	
201	20	515017	8683505	7,9 20,107		1	03.10.2002	Statsbygg	15	
202	21	513892	8684121	-4,2 21,PR1		1	25.11.1999	Bydrift	10	
203	21	513916	8684085	-4,8 21,PR2		1	25.11.1999	Bydrift	7	
204	21	513988	8684049	-2,2 21,PR3		1	25.11.1999	Bydrift	8	
205	21	513868	8684079	-3,8 21,301		20	25.11.1999	Bydrift	4,2	Hulldybde er boring i løsmasser
206	21	513895	8684126	-4,3 21,305		20	25.11.1999	Bydrift	14	Hulldybde er boring i løsmasser
207	21	513890	8684052	-3,4 21,306		12	25.11.1999	Bydrift	1,2	Hulldybde er boring i løsmasser
208	21	513902	8684067	-4,2 21,307		12	25.11.1999	Bydrift	5,6	Hulldybde er boring i løsmasser

Record: 14 4 175 > < Show: All Selected Records (0 out of 291 Selected) Options

Tabell 1: Punktlagets attributtetabell

Rapportnummer	Titel	Dato	Utført av	Rettlighetslagen	Lant fra	Kommentar
1	960080-1	Elvesletta, Longyearbyen - Grunnundersøkelser	19851206	NGI	Bydrift	
2	980011-1	Sjøområdet Longyearbyen - Grunnundersøkelser og stabilitetsvurderinger for utfyllingsområde og ny kai	19890131	NGI	Bydrift	
3	990074-1	Longyearbyen - Bestivelse av grunnforhold og geotekniske beregninger for ny kai	19910212	NGI	Bydrift	
4	980011-2	Hedellneset, Longyearbyen - Grunnundersøkelser og stabilitetsvurdering for ny lastekai	19890214	NGI	SNSK, nå Bydrift	
5	81025-1	Grunnundersøkelse for tåkelys 1, Longyearbyen	19810513	NGI	SNSK, nå Bydrift	
6	SB GEO 0710	Grunnundersøkelser for ny havn i Longyearbyen - Totalsoneringer og prøvetaking	20070626	Sinlet Byggtorsk	Instanes Svalbard AS	
T	Feltundersøkelser og lab. AT205(2007), Flere rapporter	20070411	UNIS	UNIS	UNIS	Rapporter vedlagt på CD

Tabell 2: Rapportliste

Vedlegg 1

Komité for Frost i Jord

Tilknyttet Norsk Geoteknisk Forening

Komit medlemmer

Anne-Lise Berggren, Geofrost AS
Geir Berntsen, NCC Roads AS
Lars Grande, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU)
Ivar Horvli, ViaNova Plan og Trafikk AS (leder av komitéen)
Gisle H land, Statoil ASA
Arne Instanes, Instanes Polar AS
Ketil Isaksen, Meteorologisk Institutt
Øystein Myhre, Statens vegvesen Vegdirektoratet
Truls M lmann, Barlindhaug AS
Anne Gunn Rike, Norges Geotekniske Institutt (NGI)
Even Øiseth, Rambøll Norge AS
Rune Ødegård, Høgskolen i Gjøvik (HiG)

Mandat

Søke   øke vår kunnskap om frostens art og utbredelse og dens effekt på geomorfologi og menneskelige aktiviteter. Bidra til miljømessig og teknisk gode løsninger for samfunnet og nødvendig infrastruktur i kalde strøk.

Tema: Vitenskap og teknologi i kalde strøk.

Klima

Geomorfologi

Sesongmessig frost

- Frostmengde og teledybder
- Telehiv og telekrefter
- Infrastruktur
 - Bygg
 - Konstruksjoner
 - Rørledninger
 - Vann og avløp
 - Veger
 - Jernbane
 - Trafikktunneler
 - Flyplasser

Permafrost

- Art og omfang
- Terrengstabilitet
- Infrastruktur
- Forurensing
- Avfallsbehandling

Grunnfrysing

Materialer

- Termiske egenskaper
- Styrke og deformasjon
- Permeabilitet
- Telef rlighet

Produkter

- Publikasjon om Frost i jord
- Foredrag og kurs
- Internasjonal kontakt

Forholdet til IPA

Komitéen vil fungere som "the Norwegian Adhering Body" i International Permafrost Association (IPA).

Appendix 1

Committee on Frost in Ground

Affiliated Norwegian Geotechnical Society

Committee members

Anne-Lise Berggren, Geofrost AS
Geir Berntsen, NCC Roads AS
Lars Grande, Norwegian University of Science and Technology (NTNU)
Ivar Horvli, ViaNova Plan og Trafikk AS (chair)
Gisle H land, Statoil ASA
Arne Instanes, Instanes Polar AS
Ketil Isaksen, Norwegian Meteorological Institute
 ystein Myhre, Norwegian Public Roads Administration (NPR)A
Truls M lmann, Barlindhaug AS
Anne Gunn Rike, Norwegian Geotechnical Institute (NGI)
Even  iseth, Ramb ll Norway AS
Rune  deg rd, Gj vik College

Mandate

Increase our knowledge about frozen ground and its effect on geomorphology and human activities. Contribute to satisfactory solutions, technically and environmentally, for infrastructure and social development in cold regions.

Topics: Science and technology in cold regions.

Climate

Geomorphology

Seasonal frost

- Freezing index and frost depths
- Frost heave and heaving forces
- Infrastructure
 - Buildings
 - Structures
 - Pipelines
 - Water and sewage
 - Roads
 - Railways
 - Traffic tunnels
 - Airfields

Permafrost

- Types and distribution
- Terrain stability
- Infrastructure
- Soil contamination
- Waste handling

Ground freezing

Properties of materials

- Thermal properties
- Strength and deformation
- Permeability
- Frost susceptibility

Products

- Publication on Frost in Ground
- Lectures and short courses
- International contacts

International contact

The committee will act as "the Norwegian Adhering Body" of the International Permafrost Association (IPA).

Vedlegg 2 / Appendix 2

Publikasjoner fra Frost i Jord

Publications from Frost in Ground

Alle publikasjonene i serien er utsolgt, men kopier kan fremskaffes ved henvendelse til Statens vegvesen, Vegdirektoratet, Arkivet, Postboks 8142 Dep., 0033 Oslo. Alle artiklene har engelsk resymé.

All the publications in the series are out of print, but copies can be produced on demand. Please contact Norwegian Public Roads Administration, Directorate of Public Roads, P.O.Box 8142 Dep., NO-0033 Oslo, Norway. All papers are provided with English summary.

Nr. 1. – *Sv. Skaven-Haug*: Teleteknisk forskning – Historikk (Frost Research in Soils. Historical Review). *R. Sætersdal*: Utvalg for frost i jord. Virksomheten i årene 1968-70 (Committee on Frost Action in Soils. Activities in the Period 1968-70). *Ø. Johansen*: Varmeledningsevne av forskjellige vegbyggingsmaterialer. Del I. Varmeledningsevnes betydning i frostsammenheng (Thermal Conductivity of some Highway Construction Materials. Part I. The Role of the Thermal Conductivity in the Frost Problem).
Nov. 1970, 24 s.

Nr. 2. – Symposium: Frost i jord. Del I. Hurdal 23.-24. november 1970. Beregningsmetoder for frostens nedtrengning i jord – Meteorologi – Telemekanismen – Metoder for reduksjon av frostdybder – Måling av varme-parametre (Symposium: Frost Actions in Soils. Part I. Norway 23.-24. Nov. 1970 Meteorology – The Mechanism of Frost Heaving – Methods for Reduction of the Frost Depth and Frost Heaving – Measuring of Heat Parameters).
Feb. 1971, 84 s.

Nr. 3. – Symposium: Frost i jord. Del 2. Hurdal 23.-24. november 1970. (Symposium: Frost Action in Soils. Part 2. Norway 23.-24. Nov. 1970). *Sv. Skaven-Haug*: Dimensjonering av frostfundamenter. Frysevarme og jordvarme (Design of Frost-Foundations). *R. Sætersdal*: Varmeisolasjonsmaterialer i vegoverbygningen (Insulation Materials in Road Construction). *Å. Knutson*: Frostsikre vegger med bark. Orientering om pågående undersøkelser (Frost Protection of Highways by a Subbase of Bark).
Juli 1971, 48 s.

Nr. 4. – *H. Ruistuen*: Kostnader ved frostsikring av vegger (Cost with Frost Protection of Roads). *Ø. Johansen*: Varmeledningsevne av forskjellige vegbyggingsmaterialer. Del II. Varmeledningsevne av grovkornige jordarter (Thermal Conductivity of some Highway Construction Materials. Part II. Thermal Conductivity of Sandy Soils).

T. Werner-Johannessen: Varmebalansen i jordoverflaten og frostens nedtrengning i jorden (The Heat Balance of the Earth's Surface and the Penetration of Frost into the Soils).
Nov. 1971, 40 s.

Nr. 5. – *R. Gandahl*: Några svenska erfarenheter från användning av bark i väg (Bark as Road Building Material in Sweden). *Å. Knutson*: Termisk dimensjonering av barklag i veg (Thickness of Bark Layer in Frost Proof Roads). *G.S. Klem*: Bark i Norge. Tilgang på bark til vegbygging (Bark in Norway). *K. Solbraa*: Barkens bestandighet i veifundamenter. Feltobservasjoner (The Durability of Bark in Road Constructions. Field Observations).
Des. 1971, 36 s.

Nr. 6. – *R. Orama*: Värmeisolering på finska vägar och flygfält (Thermal Insulation in the Finnish Highways and Airports). *R.L. Berg*: The Use of Thermal Insulating Materials in Highway Construction in the United States. *K. Solbraa*: Barkens bestandighet i veifundamenter. Laboratorieforsøk (The Durability of Bark in Road Constructions. Laboratory Experiments).
April 1972, 32 s.

Nr. 7. – *Å. Knutson*: Dimensjonering av vegar med frostakkumulerende barklag (Design of Roads with a Frostaccumulating Bark Layer). *Ø. Johansen*: Beregningsmetode for varmeledningsevnen av mineraliske jordarter. Del I. Teoretisk grunnlag (A Method of Calculation of Thermal Conductivity of Soils. Part I. General Theory). *P. Gundersen*: Frostsikring av vannledninger ved hjelp av elektriske varmekabler (Frost Protection of Water Pipes by Means of Electric Heating Cables). *O.M. Benestad*: Teledybdemåling (Frozen Earth Indication).
Okt. 1972, 40 s.

Nr. 8. – *S.D. Svendsen*: Moderne småhusfundamentering (New Ways of Small House Foundation). *L. Nordgård*: Teleproblemer ved småhuskjeller (Frost Problems in Basement Constructions). *B. Adamson*: Frostnedtrengning og bjälklagsisolering vis kryprumsgründläggning (Foundation with Crawl Spaces. Frost Penetration and Equivalent U-value of Floor Slab). *K. Kløve og J.V. Thue*: Plate på mark (Slab-on-Ground Foundation). *F. Færøyvik*: Gulv på grunnen – fra en praktisk synsvinkel (Slab Directly on Ground – From a Practical Point of View). *J.R. Herje*: Pilarer og peler i jord. Frostproblemer (Pilares and Piles in the Ground. Frost Problems). *P. Gundersen*: Frostisolering av rørgrofter (Frost Insulation of Pipe Trenches). *J.V. Thue*: Vinterbygging (Winter-Construction).
Des. 1972, 68 s.

Nr. 9. – *P. Borg-Hansen*: Frostbeskyttelse av eksisterende vegger med toppisoleringemetoden (Frost Protection of Existing Roads by a Top Insulating Layer). *Per-Erling Frivik*: Termisk analyse av frost i jord. Elementer og prinsipper. Del 1 (Thermal Analysis of Frost in Soils. Elements and Principles. Part 1). *G. Refsdal*: The Use of Thermal Insulating Materials in Highway Engineering (Results from Norwegian Test Roads).
Mars 1973, 40 s.

Nr. 10. – *R. Gandahl*: Styrencellplast i väg (Road Construction with a Layer of Polystyrene Foam). Ø. *Johansen*: Beregningsmetode for varmeledningsevnen av fuktige og frosne jordmaterialer. Del II (A Method for Calculation of Thermal Conductivity of Soils. Part II). *A. Knutson*: Praktisk bruk av bark i vegbygging (Specifications for Use of Bark in Highway Engineering). *M.R. Thompson*: Lime Stabilization of Frost-Susceptible Soils. Juli 1973, 54 s. + figurbilag.

Nr. 11. – *G.M. Shakhunjants*: Soviet Experience in Handling Harmful Frost-Heaving Effects on Railways. *V.S. Lukjanov*: Application of Hydraulic Analogue Method to Investigation of Physical Processes in Soils. *Akin Önalp*: A Study of the Mechanism of Frost Heave and Stabilization by the Use of Deflocculation Agents. *Bjarne Korbøl og Per Jørgensen*: Faktorer som er bestemmende for kvartære sedimenters innhold av kvarts (Factors which Determine the Quartz Content in Norwegian Pleistocene Sediments). *Seiiti Kinoshita*: Water Migration in the Soil During the Frost Heaving. September 1973, 40 s.

Nr. 12. – *W. Schmidt*: Results of Insulating a Highway Test Section with Rigid Polyurethane Foams. *W. Schmidt*: Opportunities for the Use of Rigid Polyurethane Foams in Roadbuilding to effect Savings in Frost Blanket Gravel. *M.B. Korsunsky, V.N. Gaivoronsky and P.D. Rossovsky*: Moisture Content and Frost Heaving of Highway Subgrade Soils. *Y.M. Vasilyev*: Factors affecting the Heaving of Subgrade Soils at Freezing. *Tore Østeraas*: Kvartærgeologisk kart – En presentasjon med vurdering av nøyaktighetsgrad og begrensninger (Quaternary Maps – A presentation and Evaluation of Exactness and Restrictions). *C. Apostolopoulos, H. Kuhle und W. Schneider*: Theoretische Untersuchung möglicher frostbeständiger Strassenkonstruktionen hinsichtlich ihrer thermo-dynamischen Eigenschaften (Theoretical Investigation of some Possible Frostresistant Pavement Constructions in Relation of their Thermal Properties). Des. 1973, 44 s.

Nr. 13. – *Jan V. Thue*: Om utforming av grunne fundamenter (Thermal Design of Shallow Foundations). *Eli I. Robinsky and Keith E. Bessflug*: Design of Insulated Foundation. *Per Gundersen*: Frostisolering av rørgrøfter (Frost Insulation of Pipe Trenches). *M.B. Korsunsky, V.N. Gaivoronsky and P.D. Rossovsky*: Determination of Temperature and Depth of Frost Penetration in Pavements and Subgrades. *Reidar Sætersdal*: Utvalg for frost i jord. Årsberetning for 1973 (Committee on Frost Action in Soils. Annual Report of 1973). Mai 1974, 58 s.

Nr. 14. – *Kenneth A. Linell and G.H. Johnston*: Teknisk planlegging og bygging i permafrostområder (Engineering Design and Construction in Permafrost Regions: A Review). *J. Aguirre-Puente, A. Dupas and A. Philippe*: Frost Heaving and the Classification of Soils in accordance with their Frost Susceptibility. *Frode Færøyvik*: Frostsikring gully på grunnen (Frost Protected Shallow Foundations). *Lars-Erik Janson*: Undersökning av frysrisker för

vattenledningar ovanför tjälgränsen (The Freezing Risk for Water Mains in Frozen Ground). Oktober 1974, 68 s.

Nr. 15. – *Roy Scott Heiersted*: Ingeniørens rolle i klimaforskningen (A Brief View on Engineering Climate Research). *Roy Scott Heiersted*: Måling av termisk klimabelastning på mark (Field Stations for Recording of Climatic Regime on Ground. *Inge Berg*: Flyplassprosjektet på Svalbard – Anleggstekniske arbeider (The Airfield at Svalbard). *Bjarne Instanes*: Svalbard lufthavn – hangar og kontrolltårn (Svalbard Airport – Hangar and Control Tower). *M.B. Korsunsky, V.N. Gaivoronsky and P.D. Rossovsky*: Thermal Insulation of Motorway Subgrades using Foam Plastic. *Y.M. Vasilyev and M.G. Malnikova*: Frost-Protective Layers made of Stabilized Soils. *Svein L. Alfheim*: Skumplast i vegbygging, - ikke bare til isolering (Plastic Foams in Road Construction – not only for Insulation). *Reidar Sætersdal*: Utvalg for frost i jord. Årsberetning for 1974 (Committee on Frost Action in Soils. Annual Report 1974). Mai 1975, 60 s.

Nr. 16. – *Roy Scott Heiersted*: Thermal Climate Regime on Road and Ground Surface. *Øistein Johansen*: Thermal Conductivity of Soils and Rock. *Sofus Linge Lystad*: Meteorologiske data. Det norske meteorologiske institutt sett i sammenheng med ulike brukergrupper (Meteorological data and The Norwegian Meteorological Institute). *Vigleif Næss, Øystein Salthaug*: Grunne ledninger og forenklede kumløsninger i utbygging av vannforsynings- og avløpsnett (Possibilities with Shallow Trenches and simplifies Manhole Constructions in Water Supply and Sewage Systems). *Arild Aa. Andresen*: Pilar i telefarlig grunn bør forankres (Pillars in Frost Susceptible Soil ought to be Anchored). *N.A. Peretruhin*: Frost Heaving Forces in Soils. Oktober 1975, 60 s.

Nr. 17. – Frost i Jord-prosjektets sluttrapport: *Sikring mot teleskader*. *Reidar Sætersdal*: Problemer ved frysing av jord. Forsikringsaktivitet. *Øistein Johansen*: Grunnlag for termisk dimensjonering. *Roy Scott Heiersted*: Klimadata til frostsikring. *Øistein Johansen m.fl.*: Varmetekniske egenskaper av jord og bygningsmaterialer. *Reidar Sætersdal*: Jordarters telefarlighet. *Geir Refsdal m.fl.*: Frostsikring av veg. *Håkon Hartmark*: Frostsikring av jernbane. *Knut Borge Pedersen m.fl.*: Frostsikring av kulvert, undergang, støttemur og brufundamenter. *Per Gundersen*: Frostsikring av ledninger. *Svein Erik Torgersen*: Frostsikring av gully på grunnen. *Erik Algaard*: Frostsikring av kalde konstruksjoner. Frostsikring av gully, fundamenter og grunn i byggeperioden. *Erik Algaard*: Kryperom. *Svein Erik Torgersen*: Frostsikring ved åpen fundamentering. Nov. 1976, 400 s.

Nr. 18. – *E.E. Ziegler*: The Trans-Alaska oil pipeline. *H.R. Peyton and E.E. Ziegler*: Permafrost. *Sofus Linge Lystad*: Noen betraktninger over snødekke, snødyp og deres sammenheng med meteorologiske parametre (Some remarks on snowcover and snowdepth in relation to other meteorological elements). *Erik Sandegren*: Cellplast anvandning för lösande av ingenjörgeologiska problem

inom Statens Järnvägar (The use of cellular plastics in the Swedish State Railways to isolate against frost). *Olle Andersson and Sven Freden*: The influence of a plastic fabric upon the pavement at frost break. Juli 1977, 52 s.

Nr. 19. – *Tory L. Péwé*: Permafrost research. A workshop survey of some recent activities. *Reidar Sætersdal*: Overslagsberegning av tykkelse på aktivt lag (tinedybde) på Vest-Spitsbergen (An approximate method to calculate the thaw depth on Vest-Spitsbergen). *Knut Borge Pedersen*: Litt om frostsikring av norske vegtunneler (Frost protection of Norwegian road tunnels). *R.S. Heiersted*: Statistisk bestemmelse av klimapåkjenninger. Eksempler med frostmengde og tinmengde (Statistical treatment of climatic loads on constructions). Desember 1977, 38 s.

Nr. 20. – *O. Gregersen*: NTNFs Utvalg for permafrost. Virksomhet i årene 1976-78 (The Norwegian Committee on Permafrost. Activities in the Years 1976-78). *Tore I. Moen*: En generell omtale av vann- og avløpssystemer i permafrostområder (Utilities Delivery in Permafrost Regions. A general discussion). *J.P.G. Loch*: Influence on the Heat Extraction Rate on the Ice Segregation Rate of Soils. *J.P.G. Loch*: Suggestion for an Improved Standard Laboratory Test for Frost Heave Susceptibility of Soils. *R.S. Heiersted*: Risiko for lastoverskridelse i bygningers funksjonstid (Calculated Risk for Exceeding Design Load during Service Life of structures). *S. Outcalt*: The Influence of the Addition of Water Vapour Diffusion on the Numerical Simulation of the Process of Ice Segregation. Juni 1980, 60 s.

Nr. 21. – *O. Gregersen*: Permafrost engineering research on Spitsbergen. (Projects initiated by the Norwegian Committee on Permafrost.) *P. Gundersen*: Frostsikring av ledninger i praksis (Practical frost protection of buried pipes). *O. Liestøl*: Permafrost conditions in Spitsbergen. *M. Fukuda and J.N. Luthin*: Pore-water pressure profile of a freezing soil. *O.Th. Møllerud*: Permafrost og byggearbeider på Svalbard (Permafrost and construction work on Svalbard). *T. Førland and S. Kjeldstrup Ratkje*: On the theory of frost heave. Juni 1980, 48 s.

Nr. 22. – *P. Gaskin*: Review of frost susceptibility classification. *T. Hailikari*: The frost susceptibility test for public roads in Finland. *J. Livet*: Experimental method for

the classification of soils according to their frost susceptibility, France. *J. Livet*: Technical and regulatory aspects of traffic restrictions during thawing period for public roads in France. *H. Behr*: Criteria for the determination of the frost-susceptibility of soils in the Federal Republic of Germany. *R. Sætersdal*: Prediction of the frost susceptibility of soils for public roads in Norway. *H. Thorén*: Prediction of the frost susceptibility of soils for public roads in Sweden. *Linus B. Fetz*: Short-cut frost heaving test for soils. *P.T. Sherwood*: British experience with the frost-susceptibility of roadmaking materials. *Edwin J. Chamberlain and David L. Carbee*: The CRREL-frost heave test, USA. November 1981, 63 s.

Nr. 23. – *T.L. Pewe, D.E. Rowan and R.H. Pewe*: Engineering Geology of the Svea Lowland, Spitsbergen, Svalbard. Desember 1981, 16 s., Description of Geologic Units.

Nr. 24. – *S. Bakkehøi*: Datainnsamlinga på permafroststasjonen i Svea, Svalbard (Collection of data at the permafrost station in Svea, Spitsbergen). *S. Reimers*: Drilling and sampling in frozen ground. *M. Dysli and R. Pfister*: Test of bearing capacity during thaw. *S. Kjeldstrup Ratkje, H. Yamamoto, T. Takashi, T. Ohrai and J. Okamoto*: The hydraulic conductivity of soils during frost heave. *Ø. Johansen*: Termisk dimensjonering av jernbanefundamenter. Frostsikring med isolasjon (Thermal design of railway structures. Frost protection by insulation). Juni 1982, 40 s.

Nr. 25. – *Per Gundersen*: Rasjonelle grunnarbeider for småhusfelt (Provision of utilities and services for single-family housing areas). *Svein Erik Torgersen*: Småhusfundamentering (Foundations for single-family houses). April 1984, 49 s.

Nr. 26. – *G. Refsdal*: Frost protection of road pavements with insulating boards. Norwegian practice and experience. *Kaare Flaate*: Permafrost in the Northern Hemisphere. *Hans Christian Langager*: Permafrost and hydropower development in Greenland. *Ivar Torblaa*: Dam Rieppejavri, Troms – Dam foundation with permafrost. *Steinar Bakkehøi and Christina Bandis*: A preliminary analysis of climatic data from the permafrost station at Svea, Spitsbergen. *Odd Gregersen*: Foundation design on permafrost. *Lasse Sondbo and Alv Orheim*: Experiences from tunnelling in Svalbard. Desember 1987, 43 s.

Publikasjoner fra Teknologivdelingen

Publications from the NPRA, Technology division (most are out of print)

- 1 BRUDAL H., ROSENQUIST, I. TH. Hydro-glimmer (Hydrous Mica, Glimmerton). Angående norske leirers petrografi (Petrography of Norwegian clays). 8 p. 1942. Utsolgt (Out of print, copies available).
- 2 ROSENQUIST, I. TH. Petrografi and road construction). 6 p. 1943. Utsolgt (Out of print, copies available).
- 3 BRUDAL, H., KJOS A. En vegfundaments-plan. Telefrie vegger. Betongdekker på elastisk undergrunn. Fuktighetsgraden i masseutskiftings-materialer (Principles for pavement strength-ening. Frost-proof roads. Concrete pavements on elastic subgrade. Moisture content in replacement materials). 10 p. 1945. Utsolgt (Out of print, copies available).
- 4 HOLMSEN, G. Leirfalltyper (Types of slides in quick clay). HOLMSEN, P. Om leirfallene i Norge og kvikkleirenes betydning (Quick clay slides in Norway). ROSENQUIST, I. TH. Om leirers kvikk-aktighet (The sensitivity of clays). ROSENQUIST, I. TH. Om leirers plastisitet (The plasticity of clays). 15 p. 1946. Utsolgt (Out of print, copies available).
- 5 BRUDAL, H. Rapport om studiereise til USA i 1946 (Report from a study tour to US in 1946). 18 p. 1946. Utsolgt (Out of print, copies available).
- 6 SÆTHER, E. Om vedhefting mellom bituminøse bindemidler og steinmaterialer (On adhesion between bitumen and mineral aggregates). 14 p. 1948.
- 7 SÆTHER, E. Om svelling av støvsand-jordarter ved vannopptaking (The expansion of silt soils under water absorption). ROSENQUIST, I. TH. Elektrodialytiske forsøk ved Åsrumsvannet i Vestfold (Electrodialytic experiments on quick clays in the field) 9 p. 1948.
- 8 BRUDAL, H. Valg av vegdekktypen (Different pavement types and their uses). 13 p. 1948. Utsolgt (Out of print, copies available).
- 9 BRUDAL, H. Veglaboratoriet (Norwegian Road Research Laboratory). En ny jordstabiliseringsmetode ved bruk av diverse kjemikalier. Om gummi-asfalt som forseglingsmateriale for fuger i betongkonstruksjoner (Soil stabilization with the use of chemicals). 19 p. 1952. Utsolgt (Out of print, copies available).
- 10 BRUDAL, H. Ru vegdekker (Skid resistant pavements). 15 p. 1959. Utsolgt (Out of print, copies available).
- 11 BRUDAL, H. Noen fakta fra våre forsøksveier (Some facts from our test roads). 7 p. 1960.
- 12 NORDAL, R. S. Berelag for vegger (Design of road pavements). 11 p. 1960.
- 13 Vegdekkers ruhet. Referat fra møte i Nordisk Vegteknisk Forbunds Utvalg for bituminøse bindemidler og belegninger, 18-20 okt. 1960 (Skid resistant pavements. Papers delivered at the meeting of the Scandinavian Association of Highway Technicians, Oct. 18-20 1960). Utsolgt (Out of print, copies available). 60 p. 1961.
- 14 JØSANG, J. Dannelsemåten for en del av våre grusforekomster og leting etter disse (The formation of sand and gravel deposits in Norway). 12 p. 1963.
- 15 FLAATE, K. An investigation of the validity of three piledriving formulae in cohesionless material. 11 p. 1964.
- 16 FLAATE, K., RYGG, N. Sagflis i vegfylling på myr. Lettbetongavfall til vegfyllinger (Sawdust as road embankment on peat bogs. Cellular concrete as light fill materials in road embankments). 12 p. 1964.
- 17 FLAATE, K., RUISTUEN, H. Sikring av vegskråninger i jord (The protection of highway slopes in soils). 9 p. 1964.
- 18 FLAATE, K. Liquid limit determination. A comparison between Casagrande's apparatus and Uppal's penetrometer. 16 p. 1964.
- 19 GRØNHAUG, A. Steinmaterialers brukbarhet til vegbygging (Suitability of aggregates for road construction). 14 p. 1964. Utsolgt (Out of print, copies available).
- 20 FLAATE, K., WAAGE, S. Stabilitet av veg-fyllinger på leire (Stability of road embankments on clay). 9 p. 1964.
- 21 Steinmaterialet i bituminøse belegninger. Referat fra møte i Nordisk Vegteknisk Forbunds Utvalg for bituminøse bindemidler og belegninger, 21-22 aug. 1964 (The rock aggregates in bituminous mixtures. Paper delivered at the meeting of the Scandinavian Association of Highway Technicians, Aug. 21-22 1964.) 52 p. 1964. Utsolgt (Out of print, copies available).
- 22 NORDAL, R. S. Drenering for vegger (Highway drainage). 53 p. 1965. Utsolgt (Out of print, copies available).
- 23 NORDAL, R. S. Feltlaboratoriet for vegbygging (Mobile laboratories for road construction). 11 p. 1965.
- 24 FLAATE, K. A statistical analysis of some methods for shear strength determination in soil mechanics. 8 p. 1965.
- 25 NORDAL, R. S. Drenering av undergang for E75 i Stjørdal (Drainage for an underpass on E75 at Stjørdal). 8 p. 1966.
- 26 THURMANN-MOE, T., HATTESTAD, J. O. Bruk av salter og andre kjemikalier i vinter-vedlikeholdet for å bedre trafiksikkerheten (The use of salt and other chemicals for road maintenance under winter conditions). 9 p. 1966. Utsolgt (Out of print, copies available).
- 27 THURMANN-MOE, T. Hulrom i asfaltdekker (Void contents of bituminous surfaces). 9 p. 1966.
- 28 FLAATE, K. Factors influencing the results of Vane tests. 9 p. 1966.
- 29 FLAATE, K. Field Vane tests with delayed shear. 17 p. 1966.
- 30 GRØNHAUG, A. Grus-separasjon i USA (Gravel aggregates benification in USA). 8 p. 1967. Utsolgt (Out of print, copies available).
- 31 GRØNHAUG, A. Evaluation and influence of aggregate particle shape and form. 20 p. 1967.
- 32 THURMANN-MOE, T., WOLD, R. Praktiske forsøk med noen forskjellige vinterlappemasser og litt om lapping av asfaltdekker (Evaluation of bituminous patching materials for winter maintenance). 7 p. 1967.
- 33 OLSEN, R. E., FLAATE, K. Pile driving formulas for friction piles in sand. 18 p. 1968.
- 34 BRUDAL, H. Vegforskning i Norge (Road Research in Norway). 30 p. 1968.
- 35 A. SKOGSEID. Telesikring med isolasjons-materialer (Prevention of frostheave in roads with insulation materials). 15 p. 1968.
- 36 THURMANN-MOE, T. Slitasje på forskjellige vegdekketyper (Pavement wear caused by the use of studded tyres and snow chains). 10 p. 1970.
- 37 SKOGSEID, A. Frostsikring av vegger ved isolering. Litt om det fysiske grunnlaget (Prevention of frost heave in roads. An outline of the theory for the use of insulation materials). SÆTHERSDAL, R. Varmeisolasjonsmaterialer i vegoverbygningen (Insulation materials in road construction). KNUTSON, Å. Kostnader ved frostsikring av vegger (Costs with frost protection of roads). 34 p. 1971.
- 38 JOHANSEN, Ø. Varmeledningsevne av for-skjellige vegbyggningsmaterialer (The thermal conductivity of various road aggregates). 18 p. 1971.

- 39 NORDAL, R. S., HANSEN, E. Vormsund forsøksveg, Del 1: Planlegging og bygging (Vormsund Test road, Part 1: Design and Construction). 48 p. 1971.
- 40 NORDAL, R. S. Vormsund Forsøksveg, Del 2: Instrumentering (Vormsund Test road, Part 2: Instrumentation). 38 p. 1972.
- 41 FLAATE, K., PECK, R. B. Braced in sand and clay. 29 p. 1972.
- 42 THURMANN-MOE, T., DØRUM, S. Kompri-mering av asfaltdekker (Compaction of Asphalt pavements). Hurtige metoder for komprime-ringskontroll av asfaltdekker (Rapid methods for compaction control of asphalt pavements). 39 p. 1972.
- 43 KNUTSON, Å. Dimensjonering av veier med frostakkumulerende underlag (Design of roads with a frost accumulating bark layer). SOLBRAA, K. Barkens bestandighet i vegfundamenter (The durability of bark in road constructions). KLEM, G. S. Bark i Norge (Bark in Norway). 32 p. 1972.
- 44 HODE KEYSER, J., THURMANN-MOE, T. Slitesterke bituminøse vegdekker (Characteristics of wear resistant bituminous pavement surfaces). THURMANN-MOE, T., RUUD, O. E. Rustdannelse på biler (Vehicle corrosion due to the use of chemicals in winter maintenance and the effect of corrosion inhibitors). THURMANN-MOE, T., RUUD, O. E. Kjemikalier i vintervedlikeholdet (Norwegian saltpeter and urea as alternative chemicals for winter maintenance). RUUD, O. E., SÆTHER, B-E., ANGERMO, F. Understellsbehandling av biler (Undersealing of vehicles with various sealants). 38 p. 1973.
- 45 Proceedings of the International Research Symposium on Pavement Wear, Oslo 6th-9th June 1972. 227 p. 1973.
- 46 Frost i veg 1972. Nordisk Vegteknisk Forbunds konferanse i Oslo 18-19 sept. 1972 (Frost Action on Roads 1972. NVF Conference in Oslo 1972). 136 p. 1973.
- 47 KNUTSON, Å. Praktisk bruk av bark i vegbygging (Specifications for use of bark in highway engineering). GJESSING, E., HAUGEN, S. Barkavfall – vannforurensning (Bark deposits - water pollution). 23 p. 1973.
- 48 Sikring av vegtunneler (Security measures for road tunnels). 124 p. 1975.
- 49 NOREM, H. Registrering og bruk av klimadata ved planlegging av høgfjellsveger (Collection and use of weather data in mountain road planning). NOREM, H. Lokalisering og utforming av veier i drivsnø-områder (Location and design of roads in snow-drifta). NOREM, H., ANDERSEN, J. G. Utforming og plassering av snøskjermer (Design and location of snow fences). FIXDAL, K. G. Snøskredoverbygg (Snowsheds). SOLBERG, H. Snørydding og snøryddingsutstyr i Troms (Winter maintenance and snow clearing equipment in Troms county). 59 p. 1975.
- 50 LOCH, J. P. G. Frost heave mechanism and the role of the thermal regime in heave experiments on Norwegian silty soils. FLAATE, K., SELNES, P. Side friction of piles in clay. FLAATE, K., PREBER, T. Stability of road embankments in soft clay. SØRLIE, A. The effect of fabrics on pavement strength - Plate bearing tests in the laboratory. ALFHEIM, S. L., SØRLIE, A. Testing and classification of fabrics for application in road constructions. 48 p. 1977.
- 51 HANSEN, E. Armering av asfaltdekker (Reinforced bituminous pavements). THURMANN-MOE, T., WOLD, R. Halvsåling av asfaltdekker (Resurfacing of bituminous pavements). GRØNHAUG, A. Fremtidsperspektiver på fullprofilboring av vegtunneler (Full face boring of road tunnels in crystalline rocks). REINSLETT, E. Vegers bæreevne vurdert ut fra maksimal nedbøyning og krumming (Allowable axle load (technically) as determined by maximum deflection and curvature). 52 p. 1978.
- 52 THURMANN-MOE, T., DØRUM, S. Lyse vegdekker (High luminance road surfaces). ARNEVIK, A., LEVIK, K. Erfaringer med bruk av overflatebeandlinger i Norge (Experiences with surface dressings in Norway). JOHANSEN, J. M. Vegdekkeers jevnhet (Road roughness). REFSDAL, G. Vegers bæreevne bestemt ved oppgraving (indeksmetoden) og nedbøynings-måling. Er metodene gode nok? (Road bearing capacity as decided by deflection measurements and the index method). 44 p. 1980.
- 53 HANSEN, E., REFSDAL, G., THURMANN-MOE, T. Surfacing for low volume roads in semi arid areas. MTANGO, H. Dry compaction of lateritic gravel. THURMANN-MOE, T. The Otta-surfacing method. Performance and economy. REFSDAL, G. Thermal design of frost proof pavements. DAHLBERG, R. G., REFSDAL, G. Polystyrene foam for lightweight road embankments. SØRLIE, A. Fabrics in Norwegian road building. RUUD, O. E. Hot applied thermoplastic road marking materials. SÆTERS DAL, R., REFSDAL, G. Frost protection in building construction. 58 p. 1981.
- 54 ØSTLID, H. High clay road embankments. GRØNHAUG, A. Requirements of geological studies for undersea tunnels. FLAATE, K., JANBU, N. Soil exploration in a 500 m deep fjord, Western Norway. 52 p. 1981.
- 55 FLAATE, K. Cold regions engineering in Norway. NOREM, H. Avalanche hazard, evaluation accuracy and use. NOREM, H. Increasing traffic safety and regularity in snowstorm periods. REFSDAL, G. Bearing capacity survey on the Norwegian road network - method and results. DØRUM, S., JOHANSEN, J. M. Assessment of asphalt pavement condition for resurfacing decisions. THURMANN-MOE, T. The Otta-surfacing method for improved gravel road maintenance. SÆTERS DAL, R. Prediction of frost heave of roads. GRØNHAUG, A. Low cost road tunnel developments in Norway. 40 p. 1983.
- 56 NORDAL, R. S. The bearing capacity, a chronic problem in pavement engineering? REINSLETT, E. Bearing capacity as a function of pavement deflection and curvature. ØVERBY, C. A comparison between Benkelman beam, DCP and Clegg-hammer measurements for pavement strength evaluation. NORDAL, R. S. Detection and prediction of seasonal changes of the bearing capacity at the Vormsund test road. KONOW HANSEN, P. Norwegian practice with the operation of Dynaflect. REFSDAL, G., WARNINGSHOFF, C-R. Statistical considerations concerning the spacing between measuring points for bearing capacity measurements. REFSDAL, G., THOMASSEN, T. S. The use of a data bank for axle load policy planning and strengthening purpose. THOMASSEN, T. S., EIRUM, R. Norwegian practices for axle load restrictions in spring thaw. 80 p. 1983.
- 57 NORDAL, R. S., HANSEN, E. (red.). Vormsund forsøksveg. Del 3: Observasjoner og resultater (Vormsund test road, Part 3: Observations and results). 168 p. 1984.
- 58 NORDAL, R. S., HANSEN, E. (red.). The Vormsund test road. Part 4: Summary Report. 82 p. 1987.
- 59 LYGREN, E., JØRGENSEN, T., JOHANSEN, J. M. Vannforurensning fra veier. I. Sammendragsrapport. II. Veiledning for å håndtere de problemer som kan oppstå når en veg kommer i nærheten av drikkevanns-forekomst (Highway pollution). 48 p. 1985.
- 60 NRRL, ASPHALT SECTION. Surfacing for low volume roads. FRYDENLUND, T. E. Superlight fill materials. PEDERSEN, K. B., KROKEBORG, J. Frost insulation in rock tunnels. ØSTLID, H. Flexible culverts in snow avalanche protection for roads. FLAATE, K. Norwegian fjord crossings why and how. DEIZ, H. S. Investigations for subsea tunnels a case history. BEITNES, H.,

- BLINDHEIM, O. T. Subsea rock tunnels. Preinvestigation and tunnelling processes. 36 p. 1986.
- 61 Plastic Foam in Road Embankments: FRYDENLUND, T. E. Soft ground problems. MYHRE, Ø. EPS - material specifications. REFSDAL, G. EPS - design considerations. AABØE, R. 13 years of experience with EPS as a lightweight fill material in road embankments. REFSDAL, G. Future trends for EPS use. Appendix: Case histories 1-12. 60 p. 1987.
- 62 JOHANSEN, J. M., SENSTAD, P. Effects of tire pressures on flexible pavement structures - a literature survey. 148 p. 1992.
- 63 JUNCA UBIERNA, J. A. The amazing Norwegian subsea road tunnels. 24 p. 1992.
- 64 GRØNHAUG, A. Miljøtiltak ved vegbygging i bratt terreng (Environmental measures for road construction in mountain slopes). MYHRE, Ø. Skumplast uten skadelige gasser (The phase out of hard CFCs in plastic foam). JØRGENSEN, T. Vurdering av helsefare ved asfaltstøv (Evaluation of health risks of dust from asphalt wear). RYGG, N. Miljømessig vegtilpassing (Environmental road adjustment). 52 p. 1992.
- 65 HAUCK, C. The effect of fines on the stability of base gravel. ANDRESEN, A. A., RYGG, N. Rotary-pressure sounding 20 years of experience. 24 p. 1992.
- 66 EVENSEN, R., SENSTAD, P. Distress and damage factors for flexible pavement. 100 p. 1992.
- 67 STEINMATERIALKOMITEEN. Steinmaterialer (Aggregates). 20 p. 1993.
- 68 KNUTSON, Å. Frost actions in soils. 40 p. 1993.
- 69 VASLESTAD, J. Stål- og betongelementer i løsmassetunneler (Corrugated steel culvert and precast elements used for cut and cover tunnels). VASLESTAD, J. Støttekonstruksjoner i armert jord (Reinforced soil walls). 56 p. 1993.
- 70 SINTEF SAMFERDSELSTEKNIKK. Vegbrukers reduserte transportkostnader ved opphevelse av tele-restriksjoner (Reduced transportation costs for road user when lifting axle load restrictions during spring thaw period). 144 p. 1993.
- 71 EVENSEN, R., WULVIK, E. Beregning av forsterkningsbehov basert på tilstands-vurderinger - analyse av riks- og fylkes-vegnettet i Akershus (Estimating the need of strengthening from road performance data). 112 p. 1994.
- 72 Fjellbolting (Rockbolting). 124 p. 1994.
- 73 BÆKKEN, T., JØRGENSEN, T. Vann-forurensning fra veg - langtids effekter (Highway pollution - long term effect on water quality). 64 p. 1994.
- 74 VASLESTAD, J. Load reduction on buried rigid pipes. VASLESTAD, J., JOHANSEN, T. H., HOLM, W. Load reduction on rigid culverts beneath high fills, long-term behaviour. VASLESTAD, J. Long-term behaviour of flexible large-span culverts. 68 p. 1994.
- 75 SENSTAD, P. Sluttrapport for etatsingsområdet «Bedre utnyttelse av vegens bæreevne» («Better utilization of the bearing capacity of roads, final report»). 48 p. 1994.
- 76 FREDRIKSEN, F., HASLE, G., AABØE, R. Miljøtunnel i Borre kommune (Environmental Tunnel in Borre Municipality). FREDRIKSEN, F., OSET, F. GEOPLOT - dak-basert presentasjon av grunnundersøkelser (GEOPLOT - CAD-based presentation of geotechnical data). 48 p. 1994.
- 77 KOMPEN, R. Bruk av glideforskaling til brusøyler og -tårn (Use of slipforms for bridge columns and towers). 16 p. 1995.
- 78 KOMPEN, R. Nye regler for sikring av overdekning (New practice for ensuring cover). KOMPEN, R., LIESTØL, G. Spesifikasjoner for sikring av armerings overdekning (Specifications for ensuring cover for reinforcement). 40 p. 1995.
- 79 The 4th international conference on the «Bearing capacity of roads and airfields» - papers from the Norwegian Road Research Laboratory. 96 p. 1995.
- 80 ELKEY, W., SELLEVOLD, E. J. Electrical resistivity of concrete. 36 p. 1995.
- 81 KNUTSON, Å. Stability analysis for road construction. 48 p. 1995.
- 82 ARNEVIK, A., WULVIK, E. Erfaringer med SPS-kontrakter for asfaltering i Akershus (Experiences with wear-guaranteed asphalt contracts on high volume roads in Akershus county). 28 p. 1996.
- 83 Sluttrapport for etatsingsområdet «Teknisk utvikling innen bru- og tunnelbygging» («Technical development - bridge and tunnel construction, final report»). 20 p. 1996.
- 84 OFU Gimsøstraumen bru. Sluttrapport «Prøve reparasjon og produktutvikling» («Technical development - bridge and tunnel construction, final report»). 156 p. 1996.
- 85 OFU Gimsøstraumen bru. Sluttrapport «Klimapåkjøring og tilstandsvurdering» («Climatic loads and condition assessment, final report»). 248 p. 1998.
- 86 OFU Gimsøstraumen bru. Sluttrapport «Instrumentering, dokumentasjon og verifikasjon» («Instrumentation, documentation and verification, final report») 128 p. 1998.
- 87 OFU Gimsøstraumen bru. Anbefalinger for inspeksjon, reparasjon og overflatebehandling av kystbruer i betong (Recommendations for inspection, repair and surface treatment of coastal concrete bridges). 112 p. 1998.
- 88 OFU Gimsøstraumen bru. Anbefalinger for instrumentert korrosjonsovervåking av kystbruer i betong. (Recommendations for instrumental corrosion monitoring of coastal concrete bridges). 60 p. 1998.
- 89 OFU Gimsøstraumen bru. Hovedresultater og oversikt over sluttokumentasjon (Main result and overview of project reports). 24 p. 1998.
- 90 KROKEBORG, J. Sluttrapport for Veg-grepsprosjektet «Veggrep på vinterveg» («Studded tyres and public health, final report»). 52 p. 1998.
- 91 GRØNHAUG, A. Tunnelkleddninger (Linings for water and frost protection of road tunnels). 68 p. 1998.
- 92 LOFTHAUG, J. K., MYRE, J., SKAARDAL, F. H., TELLE, R. Asfaltutviklingsprosjektet i Telemark (Cold mix project in Telemark). 68 p. 1998.
- 93 ØVERBY, C. A guide to use of Otta seals. 52 p. 1999.
- 94 STORÅS, I. et al.: Prosjektet HMS - sprøyte-betong (Fullscale testing of alkali-free accelerators). 64 p. 1999.
- 95 WULVIK, E., SIMONSEN, O., JOHANSEN, J. M., EVENSEN, R., GREGER, B. Funksjons-kontrakt for lavtrafikkveg: Rv 169, Stensrud-Midtskog, Akershus, 1994-1999 (Performance-contract for the low traffic road Rv 169). 40 p. 2000.
- 96 Estetisk utforming av vegtunneler (Aesthetic design of road tunnels). 64 p. 2000.
- 97 DAVIK, K. I., BUVIK, H. Samfunnstjenelige vegtunneler 1998-2001. Sluttrapport (Tunnels for the citizen, final report). 94 p. 2001.
- 98 MELBY, K. et al. Subsea road tunnels in Norway. 28 p. 2002.
- 99 VASLESTAD, J. Jordnagling (Soil nailing). 52 p. 2002.
- 100 FRYDENLUND, T. E., AABØE, R. et al. Lightweight fill materials in road constructions. 52 p. 2002.
- 101 PALMSTRØM, A., NILSEN, B., BORGE PEDERSEN, K., GRUNDT, L. Miljø- og samfunnstjenlige tunneler; Riktig omfang av undersøkelser for berganlegg (Appropriate amount of investigations for underground rock). 134 p. 2003.
- 102 RØNNING, J.S. Miljø- og samfunnstjenlige tunneler; Delprosjekt A, Forundersøkelser – Sluttrapport (New geological and geophysical methods for tunnel investigations). 68 p. 2003.

- 103** KARLSRUD, K., ERIKSTAD, L., SNILSBERG, P. Undersøkelser og krav til innlekkasje for å ivareta ytre miljø (Requirements concerning tunnel leakages and environmental aspects) 100 p. 2003.
- 104** B. H. KLÜVER, A. KVEEN. Berginjeksjon i praksis (Practical pre-grouting). 68 p. 2004.
- 105** M. LINDSTRØM, A. KVEEN. Miljø- og samfunnstjenlige tunneler – Sluttrapport (Tunnel investigations and ground water control. Final report). 74 p. 2004.
- 106** T. BÆKKEN, P. J. FÆRØVIG. Effekter av vegforurensninger på vannkvalitet og biologi i Padderudvann (The effects of highway pollution on waterquality and biology in Lake Padderud). 92 p. 2004.
- 107** M. LINDSTRØM, A. KVEEN. Tunnel investigation and ground water control. 35 p. 2005.
- 108** Ø. MYHRE (red.). Frost i jord 2005 (Frost in Ground 2005). 80 p. 2005.
- 109** Ø. MYHRE (red.). Frost i jord 2007 (Frost in Ground 2007). 130 p. 2007.
- 110** Ø. MYHRE (red.). Frost i jord 2009 (Frost in Ground 2009). 78 p. 2009.

TEKNOLOGIAVDELINGEN

HER FINNER DU OSS:

GEOTEKNIKK- OG SKREDSEKSJONEN
TUNNEL- OG BETONGSEKSJONEN
BRUSEKSJONEN
ADMINISTRASJON

Telefon 02030

Postadresse:
Statens vegvesen
Vegdirektoratet
Teknologiavdelingen
Postboks 8142 Dep
0033 Oslo



VEGTEKNOLOGISEKSJONEN
SEKSJON FOR ITS OG TRAFIKKTEKNOLOGI

Telefon 73 95 46 30

Postadresse:
Statens vegvesen
Vegdirektoratet
Teknologiavdelingen
Postboks 8142 Dep
0033 Oslo



Teknologidirektør: Helen Aagot Riddervold
helen.riddervold@vegvesen.no

www.vegvesen.no



Statens vegvesen

Statens vegvesen Vegdirektoratet
Postboks 8142 Dep
N - 0033 Oslo

Telefon sentralbord: 02030
(From abroad: +47 915 02030)
E-post bestilling av publikasjon:
publvd@vegvesen.no

www.vegvesen.no

ISSN: 1504-5064