



Statens vegvesen

Frost i Jord 2005

Frost in Ground 2005

PUBLIKASJON

Teknologiavdelingen

nr: 108



Frost i Jord 2005

Frost in Ground 2005

Redaktør/Editor: Øystein Myhre

Forsidebilder: Ketil Isaksen

Opplag: 500

Trykk: Tapir Uttrykk

Innhold

Contents

Kaare Flaate, Kåre Senneset	Forord	4
	<i>Preface</i>	5
Helen Aa. Riddervold	Frost i Jord – et viktig samarbeidsprosjekt	6
	<i>Frost in Ground – an important project</i>	7
Kaare Flaate	Historikk – vi starter ikke på bar bakke	9
	<i>Historical review – we are not starting from scratch</i>	9
Arne Instanes	Klimaendringer og konsekvenser for fundamentering og infrastruktur i kalde strøk	13
	<i>Climatic changes and their influence on foundations and infrastructure in cold regions</i>	13
Johan Ludvig Sollid, Ketil Isaksen	EU-prosjektet PACE - Permafrost og klima i Europa	21
	<i>EU-project PACE – Permafrost And Climate in Europe</i>	21
Ketil Isaksen, Johan Ludvig Sollid	Permafrosten i Norge i dag	25
	<i>The extent of permafrost in Norway today</i>	25
Geir Refsdal, Øystein Myhre	Frostsikring av veger i Norge – status og utfordringer	31
	<i>Frost protection of roads in Norway – status and challenges</i>	31
Knut Borge Pedersen	Frosttekniske problemer i norske vegtunneler	37
	<i>Frost problems in Norwegian road tunnels</i>	37
Olav Grindland	Frostsikring av konstruksjoner på vegnettet	41
	<i>Frost protection of structures in the road network</i>	41
Per Gundersen	(Forskning på) Frostsikring av husfundamenter og VA-ledninger i grunnen	45
	<i>Frost protection of foundations and water and sewage pipes</i>	45
Rolf Jullum	Erfaringer med fundamentering i permafrost	51
	<i>Experience from foundation work in permafrost</i>	51
Rolf Sandven	Soil sampling in frozen ground	59
	<i>Prøvetaking i frossen grunn</i>	59
Ivar Horvli	Research on Cold Regions Pavement Engineering in USA and Canada	69
	<i>Forskning på overbygning for veger i kalde strøk i USA og Canada</i>	69
Vedlegg 1	Komité for Frost i Jord	75
<i>Annex 1</i>	<i>Committee on Frost in Ground</i>	75
Vedlegg 2	Tidligere publikasjoner i serien Frost i Jord	76
<i>Annex 2</i>	<i>Earlier publications from Frost in Ground</i>	76

Forord

Kunnskap om frost i jord er av stor betydning for en forsvarlig økonomisk og miljømessig utvikling av vårt samfunn. Dette illustreres ved at nær sagt alle former for infrastruktur må ta hensyn til virkningene av frost. For et maksimalt utbytte av eksisterende kunnskap og for videre utvikling er samarbeid et nøkkelord.

Norsk Geoteknisk Forening har etablert en komité for Frost i Jord som nettopp tar sikte på å utvikle dette samarbeidet. Komitéen har medlemmer og kontakter fra et bredt spekter av interesserte innen utdanning, forskning og praktisk virksomhet, der også miljøene innen permafrost er med for fullt.

Undertegnede, som har jobbet en tid med å få dette til, har fått god assistanse fra mange hold. Spesielt viktig har det vært med støtten fra Vegdirektoratets Veg- og trafikkfaglige senter. Det er verdt å nevne den positive effekten av Siri Hustad's entusiasme og av Leif Bakløkk's «på-sin-plass» kommentarer i prosessen.

Etter planen skal den nye komitéen som en av sine oppgaver gi ut en publikasjon om frost i jord. Dette er den første utgaven av det som vi håper skal komme ut med jevne mellomrom. Både i arbeidet med å etablere komiteen og denne publikasjonen har vi trukket vekslers på Johan Ludvig Sollid's kunnskap og optimisme.

Oppslutningen fra fagmiljøene har vært meget god og det er naturligvis forfatterne som skal ha æren for innholdet i publikasjonen. Øystein Myhre har, som redaktør, sørget for at alle bidragene har kommet velordnet inn mellom to permer. Vi synes resultatet er lovende for framtiden og ønsker lykke til videre med samarbeidsprosjektet.

Kaare Flaate

Kåre Senneset

Trondheim, 8. mai 2005

Preface

Knowledge about frost in ground is of great importance for a sustainable development of our society. This is illustrated by the fact that almost all kinds of infrastructure have to take the effects of frost into account. Cooperation is a key word for getting the most out of existing knowledge and for future development.

The Norwegian Geotechnical Society has established a Committee for Frost in ground with the goal to develop this cooperation. The committee has members and contacts from a wide spectre of interested parties within education, research and practical application and includes the groups working with permafrost.

It has taken some time to establish this activity, but we have succeeded thanks to assistance from several organizations. The support from Norwegian Public Road Administrations Centre for Road and Traffic Technology has been of vital importance. The enthusiasm of Siri Hustad and the critical remarks of Leif Bakløkk are worth mentioning.

The activity plan for the committee calls for the issuing of a publication on Frost in Ground at least once a year and this is the first issue. It follows up the tradition of a former Norwegian publication Frost Action in Soils. The support of Johan Ludvig Sollid in establishing the committee and preparing this publication is greatly appreciated.

Finally, we would like to thank all the authors who, despite a busy schedule, have taken their time to share their knowledge and experience with us. Special thanks to Øystein Myhre who has edited the publication with painstaking accuracy. We find the result promising for the future work of the committee and hope for a successful cooperation project.

Kaare Flaate

Kåre Senneset

Trondheim, May 8, 2005

Frost i Jord – et viktig samarbeidsprosjekt

Vårt norske klima har lært oss til å hankes med frost og kulde. Dette er ikke bare et spørsmål om å holde seg varm, men også om å få samfunnets infrastruktur til å virke under de ekstreme værforhold den utsettes for. Frost i jord er her en av de store utfordringene.

Klimaet påvirker utformingen av bygninger og konstruksjoner, vann- og avløpsledninger, veger, jernbane, trafikk tunneler og flyplasser. Et spektrum av fagfolk over hele landet er involvert i prosjektering, bygging og drift av disse.

Statens vegvesen er vel kjent med frostproblemene gjennom vårt landsomfattende vegnett fra Lindesnes til Kirkenes. Det er ikke mange tiårene siden vi hadde store problemer med bæreevne og teleløsning på viktige vegstrekninger.

Det var derfor ikke unaturlig at Statens vegvesen var en hovedpartner i samarbeidsprosjektet Frost i Jord som gikk fra 1968 til 1976. Prosjektet utviklet ny kunnskap og kompetanse som brakte miljøene et langt steg framover.

Kompetansen er til stede også i dag, men mindre synlig. God synergieffekt kan vi bare oppnå gjennom et bedre samarbeid mellom partene. Der er derfor gledelig at det er tatt et initiativ til en møteplass for frost i jord i fagmiljøene.

Norsk Geoteknisk Forening har vedtatt å etablere en komité for Frost i Jord. Denne komiteen skal arbeide med permafrostspørsmål i tillegg til sesongmessig frost og dette vil gi en ny dimensjon og større muligheter for samarbeidet.

Statens vegvesen har støttet forberedelsene til denne komiteen. I dette ligger også at vi står for utgivelsen og utsendelsen av denne publikasjonen. Men samarbeid må bety at alle parter tar et tak og på den måten bidrar til fellesskapet.

*Helen Aa. Riddervold
Teknologidirektør
Statens vegvesen*

Oslo, 30. mars 2005

Frost in Ground – an important project

The Norwegian climate has taught us to handle cold weather. It is not a question of keeping warm only, but also to get the infrastructure to function satisfactorily under extreme weather conditions. Frost in ground is one of the challenges in this connection.

Climate influences the design of buildings and structures, water and sewage, roads, railways, traffic tunnels and airfields. Professional engineers all over the country are involved in design, construction and operation of these facilities.

The Norwegian Public Roads Administration is well aware of the frost problems as responsible for the road network. Insufficient bearing capacity, especially in the spring thaw, was one of the main problems not too long ago.

Thus the Public Roads Administration was naturally a main partner in the research project “Frost Action in Soils” from 1968 to 1976. The project resulted in new knowledge and better competence and brought the profession a large step forward.

It seems like the competence today has become less visible. Synergetic effects can be obtained by improved cooperation between those involved. The “new” meeting place for information and exchange of ideas is promising.

The Norwegian Geotechnical Society has decided to establish a committee for Frost in Ground. This committee will, in addition to seasonal frost, also cover permafrost which will give the work a new dimension and new possibilities.

The Public Roads Administration has sponsored the establishment of the committee. This includes the publishing and distribution of this publication. However, cooperation requires that all interested parties contribute in the years to come.

*Helen Aa. Riddervold
Director of Technology Department
Norwegian Public Roads Administration*

Oslo, March 30, 2005

Historikk – vi starter ikke på bar bakke

Historical review – we are not starting from scratch

Kaare Flaate (kflaate@online.no)

Summary

There is a long tradition in Norway for scientific studies as well as practical application of knowledge about frost in ground. Fundamental research was carried out in the early thirties and followed up in the field by the road and railway administrations. Universities and research institutions have been active in permafrost research, supplemented by engineering companies.

The research program Frost i Jord, (Frost Action in Soils) 1970-76 and later Komiteen for permafrost (The Committee on permafrost) 1976-87, constituted another big step forward. The results are documented in 27 publications, among those a “guideline for prevention of frost damage” (Sikring mot teleskader, Nov. 1976, 400 pp).

Future development will build on present knowledge. We do not have to reinvent the wheel!

Kunnskap er viktig

Kunnskap om frost i jord er viktig for å kunne bygge veger, jernbaner, flyplasser, hus og ledninger slik at de ikke blir skadet når frosten trenger ned i bakken. Teleskadene kan være en følge av hivinger under nedfrysingen eller oppbløting under tiningen. Disse fenomener har vi enten vi er i områder med sesongmessig frost eller i permafrost.

I 1930-40-årene arbeidet professor Watzinger ved NTH med å utvikle det teoretiske grunnlaget og praktiske løsninger for masseutskiftningsmaterialer til veg og jernbane. Overingeniør Sverre Skaven-Haug i NSB var en pådriver for telefrie jernbanestrekninger i Norge og han ble også benyttet som rådgiver av jernbaneselskapene på kontinentet.

I 1950-årene tok professor Rasmus Nordal opp teleproblemene ved veger og flyplasser i full bredde. Studier i utlandet ble etterfulgt av laboratorieforsøk, feltobservasjoner og bygging av forsøksveger i vegvesenets regi. Denne omfattende virksomhet engasjerte

hans medarbeidere ved Veglaboratoriet og senere også ved Norges Tekniske Høgskole.

En samlet innsats

Nye materialer og metoder førte til behov for bedre grunnlag for termisk dimensjonering, varmetekniske egenskaper, klimadata og jordarters telefarlighet. På denne bakgrunn finansierte Vegdirektoratet og Norges Teknisk Naturvitenskapelige Forskningsråd i årene 1970-76 prosjektet Frost i Jord som hadde en imponerende deltagerliste:

- Norges Tekniske Høgskole (NTH)
 - Institutt for kjøleteknikk
 - Institutt for veg- og jernbanebygging
 - Institutt for husbyggingsteknikk
 - Institutt for geologi og bergteknikk
- Statens vegvesen
 - Veglaboratoriet
 - Vegkontorer i enkelte fylker
- Norges byggforskningsinstitutt i Oslo og Trondheim
- Multiconsult AS
- Meteorologisk institutt
- Norges geotekniske institutt (NGI)
- Det norske skogforsøksvesen
- Norges statsbaner (NSB)

Det ble i denne tiden satset stort på internasjonal kontakt og utveksling. Prosjektet ga ut en publikasjon *Frost i Jord* (Frost Action in Soils), der det også er bidrag fra en rekke andre land, med artiklene delvis på norsk og delvis på engelsk. Resultatene av prosjektet er samlet i boken *Sikring mot teleskader* (Red. Reidar Sætersdal, Frost i Jord, nr.17, nov. 1976, 400 s.)

Publikasjonen fortsatte i 1976-87 i regi av NTNFS Utvalg for permafrost og til sist av Veglaboratoriet. Frost i Jord-publikasjonen kom på denne måten i tiden 1970-87 til å omfatte en bok, et omfattende kurskompendium og 25 andre utgivelser med i alt 120 artikler.



Frost i Jord nr 17 (fra publikasjonsserien utgitt i regi av NTNFs Utvalg for permafrost).

Sitter vi på hver vår tue?

En utløper av denne virksomheten er den internasjonale konferansen «Bearing Capacity of Roads, Railways and Airfields» som arrangeres annen hver gang i Norge og annen hver gang i et annet land. Konferansen i Trondheim sommeren 2005 er nummer sju i rekken.

Det er en betydelig virksomhet innen fagområdet. Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Universitet er en stor ressurs som er aktiv gjennom undervisning og utviklingsprosjekter. Statens vegvesen, som bl.a. utarbeider retningslinjene for vegbygging, er naturlig nok en sentral aktør med innsamling av erfaringer og tilpassing av ny kunnskap.

Norges Byggeforskningsinstitutt er sterkt engasjert i retningslinjer for frostsikring av bygg og ledninger og praktiske undersøkelser av materialenes termiske egenskaper. Norges Geotekniske Institutt har arbeidet med kriterier for telefarlighet og har, i forbindelse med prosjekter, gjennomført interessante målinger i felten.

Flere internasjonale organisasjoner har frost i jord på sitt program. Nordisk Vegteknisk Forbund og Transportation Research Board har egne utvalg som behandler spørsmålet. Det samme gjelder International Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering og International Permafrost Association, og i alle disse er det norske representanter.

Permafrost er «skikkelig» frost

I Norge er det permafrost i fjellområdene på fastlandet (en god del mer enn det en trodde tidligere) og på Svalbard. Store Norske Spitsbergen Kullkompani, som «kjempet» med permafrosten på Svalbard, fikk etter hvert god støtte til løsning på problemene av Bjarne Instanes AS. Senere har også Barlindhaug AS og Norges Geotekniske Institutt vært engasjert i rådgivende virksomhet på Svalbard.

Permafrostens art og utbredelse har i lang tid vært en oppgave for forskere fra «hele verden». bl.a. innen geologi og fysisk geografi. Norsk Polarinstitutt med Olav Liestøl var tidlig sentral i dette. Universitetet i Oslo har lange tradisjoner innen forskning og internasjonalt samarbeid på permafrost. Fra den senere tid kan en nevne EU-prosjektet PACE, 1999-2001 med noen dype (>100m) borehull i permafrosten og nå PACE 2.

Universitetsstudiene på Svalbard (UNIS) er viktig for vår forskning/undervisning på permafrost både innen naturvitenskap og teknologi. Universitetet i Bergen har hatt et internasjonalt nettverk på området. NGI gjennomførte (1999-2003) et strategisk instituttprogram om *Permafrost response to environmental and industrial loads*. Barlindhaug AS har satset på dr.ing studier og utviklingsoppgaver for sine ansatte.

Virksomhet uten grenser

Den «første» internasjonale konferansen om permafrost (science and engineering) ble holdt på West Lafayette, Indiana, USA i 1963. The International Permafrost Association (IPA) ble stiftet under en konferanse i Fairbanks, Alaska i 1983. I 1988 ble konferansen holdt i Trondheim med Statens vegvesen og NTH (Kåre Senneset) som ansvarlige. I Zürich i 2003 hadde Norge en representant (Johan Ludvig Sollid) i arrangementskomiteen.

Norske representanter er aktive i arbeidet i IPA der Kaare Flaate har vært medlem av IPA Council siden starten. Vi har i dag ledere (co-chairs) i fire av totalt 10 arbeidsgrupper. UNIS er ansvarlig for IPA's internasjonale sekretariat og Universitetet i Oslo har tatt på seg å drifte web-siden i IPA. Norske representanter er også på andre måter sterkt engasjert i det internasjonale samarbeidet.

IPA gir ut en «News Bulletin», *Frozen Ground*, som forteller om IPA og tilgrensende organisasjoner og om aktivitetene i arbeidsgruppene og i de enkelte medlemsland. Den nasjonale kontakten har oppgaven

med å sørge for at vi bidrar med nyheter fra det norske miljøet. I det siste har «Frozen Ground» kommet en gang pr. år og vi får 50 eksemplarer av publikasjonen til fordeling i Norge.

Sammen eller hver for oss?

Det finnes en betydelig kompetanse i de norske faglige miljøene enten det nå er universiteter og forskningsinstitutter, rådgivende ingeniører og entreprenører, byggherrer, industribedrifter og offentlige etater. Men det er ikke alltid like lett å holde seg oppdatert med utviklingen hverken nasjonalt eller internasjonalt.

Mye kan hentes fra internasjonal litteratur og på internett. På den tekniske siden er det som finnes av norske retningslinjer fra Byggforsk (bygg og ledninger i grunnen) og fra Statens vegvesen (om vegbygging) viktige hjelpemidler. Det arbeid som gjøres med å holde disse retningslinjene ajour med utviklingen er derfor meget sentralt.



Frozen Ground (nyhetsbulletin - serie utgitt av IPA).



Fra stiftelsen av IPA i Fairbanks, Alaska, 1983. Kaare Flaate, P.I. Melnikov, Troy L. Péwé, Ross J. Mackay.

Norge er et lite land og fordelene er at det er overkommelig å få oversikt. Men hvis vi ikke gjør noe for å få denne oversikten så kan vi bli sittende på hver vår tue. Da blir ikke bare den såkalte synergieffekten borte, men det kan også bli store huller i vår kunnskap. Det finnes nemlig mye kunnskap der ute hos de andre.

Unnskyldningen i dag som før er at vi har ikke tid. Men hvor ble det da av alle de ventede fordelene av nytt og mer effektivt utstyr, bedre lokaler og arbeidsforhold og nye metoder. Dersom vi veksler inn all vår tid i penger vil vi aldri få tid. Og har vi ikke tid så vil ikke vegen være lang til stagnasjon på det faglige område.

Mange er flinke til å jobbe sammen, nasjonalt og internasjonalt. Vi må dele vår erfaring og kunnskap med andre dersom vi selv har tenkt å bli bedre. Dette er litt av hensikten med Norsk Geoteknisk Forenings Komité for Frost i Jord. Og denne publikasjonen er ment som et av virkemidlene i denne sammenheng. Vær med og bruk den!

Klimaendringer og konsekvenser for fundamentering og infrastruktur i kalde strøk

Climatic changes and their influence on foundations and infrastructure in cold regions

Arne Instanes, Opticonsult AS (arne.instanes@opticonsult.no)

Summary

The average global surface temperature is projected to increase from 1.4 °C to 5.8 °C by the year 2100. Based on these scenarios the Arctic Council has initiated the international assessment programme Arctic Climate Impact Assessment (ACIA). The ACIA's goals are to assess how climate and UV have been changing in the Arctic, how they are projected to change in the future and what the impacts of those changes are likely to be. Possible adaptations and other response strategies are also addressed. The author of this article is the lead author of ACIA's chapter on Infrastructure.

This article focuses on topics that are relevant for infrastructure, foundations and cold regions construction and design.

SAMMENDRAG

Gjennomsnittlig global overflatetemperatur er estimert til å stige fra 1,4 °C til 5,8 °C frem til år 2100. På grunn av disse fremtidsscenariene har Arktisk Råd initiert konsekvensutredningsprosjektet *Arctic Climate Impact Assessment* (ACIA). Formålet med utredningen er å undersøke, vurdere og analysere hvordan klima og UV-stråling har endret seg i Arktis frem til i dag, estimere hvordan endringene vil bli i perioden frem til år 2100, og vurdere hvilke konsekvenser som kan forventes av endringene. I tillegg vil utredningen se på mulige tilpasninger til et endret klima og metoder for respons til endringene. Forfatteren av denne artikkelen er hovedforfatter for ACIA's kapittel som omhandler infrastruktur.

Denne artikkelen tar spesielt for seg temaer som er relevant for infrastruktur, fundamentering og bygging i kalde strøk.

INTRODUKSJON

Gjennomsnittlig global overflatetemperatur er estimert til å stige fra 1,4 °C til 5,8 °C frem til år 2100 (IPCC, 2001). Oppvarmingen i de nordlige områdene av kloden vil bli høyere enn det globale gjennomsnittet. ACIA estimerer overflatetemperaturøkningen i Arktis (område nord for 60°N) til å bli i størrelsesorden 3,5 °C til 7,3 °C frem til år 2100 (ACIA, 2004). På grunn av atmosfærens og havets betydning på klimaet og klimautvikling, er det store regionale forskjeller i estimatene. I Skandinavia er det observert en temperaturøkning på ca. 1 °C de siste 30 årene og det er forventet en ytterligere temperaturøkning på 3 til 5 °C frem til 2080.

På grunn av disse fremtidsscenariene har Arktisk Råd (se www.arctic-council.org/index.html) initiert konsekvensutredningsprosjektet Arctic Climate Impact Assessment (ACIA, 2004). Se også www.acia.uaf.edu/ og acia.npolar.no). ACIA er en internasjonal studie som startet i 2000, hvor Norge deltar sammen med de arktiske nasjonene; Canada, Danmark/Grønland/Færøyene, Finland, Island, Russland, Sverige og USA. Formålet med utredningen er å:

- undersøke, vurdere og analysere hvordan klima og UV-stråling har endret seg i Arktis frem til i dag,
- undersøke, vurdere og analysere hvordan endringene vil bli i perioden frem til år 2100,
- vurdere hvilke konsekvenser som kan forventes av endringene,
- utrede mulige tilpasninger til et endret klima og metoder for respons til endringene.

Forfatteren av denne artikkelen er hovedforfatter for ACIA's kapittel som omhandler infrastruktur (Instanes et. al, 2005). Endelig rapport skal publiseres i 2005.

KLIMAENDRINGER OG KLIMASCENARIER

Definisjoner

Klimaendringer refererer til mer enn bare endring i lufttemperatur og inkluderer endring i nedbør, hyppighet av ekstreme hendelser (vindhastighet, mengde og intensitet av nedbør, temperatur, bølger og strøm), gjennomsnittlige værforhold, snø, is og atmosfærisk- og havsirkulasjon. For å vurdere mulig fremtidsscenarioer brukes klimamodeller. Avanserte klimamodeller består av koblede sirkulasjonsmodeller som beskriver atmosfære og hav, såkalte *Coupled Atmospheric-Ocean General Circulation Models (AOGCM)*. Sammen med andre komponenter som beskriver sjøis og landområder, kan interaksjon mellom atmosfære, hav, landområder og is, basert på forskjellige utslippsscenarioer for klimagasser, bestemmes. Et utslippsscenario kan for eksempel være 1 % økning i atmosfærisk CO₂-innhold per år frem til en dobling av CO₂-konsentrasjon i atmosfæren. Resultatet fra disse modellene kan være et «klimascenario». Det er viktig å være oppmerksom på at et klimascenario kun er en teoretisk synliggjøring av hvordan klimaet kan bli under gitte forutsetninger, og på ingen måte et klimavarsel.

Resultatene fra klimamodellene blir ofte presentert som grove estimater av endring i overflate-temperatur og nedbør, fra dagens nivå frem til år 2100. Opplysningen i modellene er grov med et rutenett på 300 km x 300 km. Disse dataene må bearbejdes videre for å gjøre dem egnet i studier av konsekvenser av klimaendringer. Usikkerheten i estimatene kan på denne måten bli svært stor.

Konsekvensområder

Konsekvenser for infrastruktur, fundamentering og bygging i kalde strøk er spesielt relatert til:

- temperaturøkning i permafrostområder,
- økt nedbør og stormfrekvens som kan føre til økt fare for skred, flom og snølast, og direkte skade på infrastruktur,
- erosjon i elver og kystområder,
- mindre utbredelse av havis som gir muligheter for nye transportruter til havs og tilgang til nye områder for utvinning av naturressurser,
- stigende havnivå.

Klimascenarier

Haugen og Debenard (2002) rapporterer at midlere årstemperatur i ulike deler av Norge vil øke med fra 0,2 °C/10-år til 0,7 °C/10-år. Økningen vil være størst om vinteren og minst om våren og sommeren. Gjennomsnittlig årlig nedbør er forventet å øke med fra 35 mm til 55 mm frem til år 2050, med den største økningen om høsten.

Instanes (2003) har studert historiske temperaturdata og sammenholdt dem med resultater fra 5 klimamodeller for 20 meteorologiske stasjoner nord for 60°N. Basert på disse resultatene er det estimert frostmengde (frostmengde er definert som tidsintegralet av lufttemperatur lavere enn 0°C gjennom vinterhalvåret) og tinemengde (tinemengde er definert som tidsintegralet av lufttemperatur større enn 0°C gjennom sommerhalvåret) frem til år 2100. Frostmengde er spesielt relevant for beregning av frostnedtrengning i jord og sikring mot teleskader. Tinemengde er nødvendig i permafrostområder for å beregne tykkelse av aktivt lag (tinesone) og permafrosttemperatur i øvre lag. Disse parametrene gir også en indikasjon på «intensiteten» til en sommer eller vinter.

Figurene 1 og 2 viser resultatene fra Svalbard Lufthavn for henholdsvis fryseindeks og tineindeks. Figurene viser samme trend: Dramatisk varmere somrer (økende tineindeks) og varmere vintrer (avtagende fryseindeks) i perioden 2000-2050. En statistisk analyse av tineindeks for Svalbard Lufthavn (Instanes, 2003) viser at dimensjonerende tinemengde T100 er 616 °C-dager i år 2000, økende til 783 °C-dager i 2050. T2 er 451 °C-dager i år 2000, økende til 618 °C-dager i 2050. Med andre ord vil «100-års-sommeren» i år 2000 ha en sannsynlighet for overskridelse på 50 % i år 2050! Dette kan få store konsekvenser for eksisterende bygg og nye prosjekter på permafrost på Svalbard.

SKADER PÅ INFRASTRUKTUR FORÅRSAKET AV KLIMAENDRINGER

Ikke påvist sammenheng

Klimaendringer får ofte «skylden for» skader på infrastruktur forårsaket av naturlige variasjoner i værphenomen og uheldig byggeskikk. Eksempler på dette er:

- Orkanen på Vestlandet 1. januar 1992 som forårsaket skader i størrelsesorden 1,3 milliarder

kroner. Hovedtyngden av skadene var relatert til tak og taktekking på grunn av mangelfull forankring (Byggforsk, 2000).

- Vårflommen i Gudbrandsdalen 1995 forårsaket store skader på bygninger, veger og jordbruksareal.
- Ekstrem frostnedtrengning vinteren 1995-1996 som forårsaket problemer med vannforsyningen til flere byer i Mjøsområdet og telehiv på jernbanenettet rundt Oslo.
- Store snølaste i Nord-Norge 1999/2000 førte til sammenbrudd av flere større bygninger.
- Kraftig nedbør på Østlandet og Sørlandet høsten 2000 forårsaket flom og store vannskader på bygninger.
- Store skader på infrastruktur på permafrost og i kystsonen i Arktis.

Det er ikke mulig å påvise at disse hendelsene eller skadene som oppsto er forårsaket av klimaendringer.

Det er populært å hevde at pågående oppvarming av permafrost har medført store skader på bygningsmassen i Sibir og andre fjerntliggende områder. Videre blir det hevdet at mye av bygningsmassen vil bli ødelagt i løpet av de neste 30 år hvis ikke det gjøres betydelige tiltak de nærmeste årene (se f.eks. Cicerone nr. 4 september 2002, www.cicerone.uio.no). Disse utsagnene er misvisende og basert på utilstrekkelig kunnskap om hvordan konstruksjoner som er fundamentert på permafrost oppfører seg. Det er, som nevnt ovenfor, ikke mulig å påvise at observerte skader kan relateres direkte til den økningen i lufttemperatur som er observert de siste 20-30 årene over store deler av Arktis.

Kunnskap om konstruksjoners oppførsel

Fundamentering på permafrost forutsetter inngående kjennskap til permafrostens termiske og mekaniske egenskaper. Dette betyr at ingeniørene som arbeider i kalde strøk må ha kunnskap om dybde av aktivt lag, maksimal temperatur som oppstår i grunnen i løpet av året og i løpet av konstruksjonens levetid. Fundamentering på permafrost innebærer avanserte beregninger av forventet maksimal tykkelse av aktivt lag og forventet maksimal permafrosttemperatur ned til en dybde av 10 til 15 meter under overflaten. Det er i denne sammenhengen viktig å huske på at «levetiden» til en konstruksjon i permafrostområder vanligvis er 20-50 år. Etter denne «design-levetiden» må betydelig vedlikehold påregnes for å opprettholde konstruksjonen på samme nivå som det var planlagt

for. Ofte er det økonomisk fordelaktig å bygge nytt fremfor å vedlikeholde gamle bygninger og konstruksjoner. Det er dermed et stort potensial for å tilpasse bygningsmassen til et endret klima.

Basert på beregningene av aktivt lag og permafrosttemperatur, beregnes bæreevnen til fundamentet, samt setninger og deformasjoner som vil oppstå i konstruksjonens levetid. Når en skade er oppstått på et bygg eller en konstruksjon er det mulig å bruke denne beregningsmetodikken for å sjekke årsakene til at skaden har skjedd. På denne måten kan det undersøkes om det er mulig at den observerte økningen av lufttemperatur kan ha forårsaket så stor svekkelse av permafrostens mekaniske egenskaper at skaden kunne oppstå. Til nå er det ikke dokumentert denne type sammenhenger, verken i våre arktiske områder eller i Sibir. Noe av årsaken til dette er at den varme perioden observert i Arktis 1920-1940 er «bakt inn i» ingeniørenes beregningsmodeller, og i stor grad dekker den oppvarmingen vi har observert de siste 20-30 år. I tillegg kan det svært ofte påvises at skadene er forårsaket av andre årsaker, se nedenfor.

Eksempel og scenario

I forbindelse med ACIA-prosjektet, er det gjort beregninger for hvordan forskjellige konstruksjoner vil oppføre seg under påvirkning av fremtidige klimascenarier. Et eksempel på dette er Svalbard Lufthavn, Longyearbyen (Instanes, 2005). Ujevne setninger av banelegemet har vært et problem siden åpningen i 1975. Dette var i hovedsak forårsaket av at rullebanen ble lagt lavt i terrenget slik at det ble nødvendig å fjerne naturlige masser og grave seg ned i terrenget isteden for å legge en fylling oppå terrenget, samt at detaljerte grunnundersøkelser og termiske analyser ikke ble utført (Instanes og Instanes, 1998). Deler av banen ble isolert i 1989, noe som reduserte problemene. På 10 meters dyp er det observert en temperaturøkning på cirka 0,5 °C i perioden 1980-2000; fra cirka -5 °C til -4,5 °C. I perioden 2000 til 2050 vil temperaturen kunne øke fra -4,5 °C til -2,0 °C, hvis oppvarmingen følger scenariet fra Meteorologisk institutt (Hanssen-Bauer et al., 2000). Beregningene viser imidlertid at det aktive laget ikke vil trenge ned i de is-rike lagene med stort potensial for setninger i løpet av denne perioden. I 2050 vil rullebanen være 75 år og det må da uansett forventes at betydelig vedlikehold er nødvendig for å opprettholde eller utvide funksjonskravene til konstruksjonen.

Generelle skadeårsaker

Generelt sett er skader på konstruksjoner, bygninger og fundamenter i permafrostområder forårsaket av at:

- byggearbeidene og konstruksjonen endrer varmebalansen mellom jord og atmosfære, noe som vanligvis betyr tilført varme til grunnen,
- dimensjoneringskriteriene ikke dekker naturkreftene konstruksjonen faktisk blir utsatt for (opptredende naturlaster; for eksempel bygninger som plasseres i flomutsatte områder, eller at det ikke tas hensyn til historiske meteorologiske data i dimensjonering),
- grunnforhold avviker fra antagelsene ved planlegging og bygging (for eksempel at det ikke blir tatt hensyn til saltinnhold i permafrosten),
- utførelsen er ikke i henhold til dimensjoneringskriteriene,
- vedlikehold er ikke utført,
- konstruksjonen brukes på en måte som ikke var forutsatt i planleggingen og utførelsen (for eksempel bygninger som var forutsatt kalde blir oppvarmet).

Klimaendringer vil kunne akselerere problemer som allerede er oppstått på grunn av en eller flere av faktorene som er skissert ovenfor.

Hva må klarlegges?

Det som er viktig å klarlegge er hvordan forskjellige typer av konstruksjoner påvirkes av endret klima. Enkelte typer infrastruktur er ikke særlig følsom for klimaendringer, eller de kan på enkel måte tilpasses endrede klimaforhold (for eksempel bygninger fundamentert på grunn som ikke endrer volum når det tiner (tinstabil) eller som ikke er utsatt for flom eller skred). Andre typer infrastruktur kan være svært følsomme for endrede forhold, eller konsekvensene ved skade er svært høy (konstruksjoner nær kystsonen og havnivå, i flom- og skredutsatte områder, eller i is-rike diskontinuerlige permafrostområder). I slike tilfeller er det nødvendig med mer detaljerte analyser og spesielle tiltak for å hindre skader på bygningsmassen.

MULIGE KONSEKVENSER AV KLIMAENDRINGER

Permafrost og frost i jord

De fysiske egenskapene til frossen jord (og fjell) er temperaturavhengige, spesielt når temperaturen nærmer seg 0 °C. Temperaturøkning på overflaten vil føre til oppvarming av grunnen over tid. Dette kan i permafrostområder føre til:

- akselererende kryp av peler og andre typer fundament i permafrost,
- redusert fryseheft mellom peleoverflate og omliggende frossen jord (permafrost),
- økende aktivt lag i permafrostområder kan føre til økte tinesetninger og telehiv på fundamenter,
- utvikling av tinte områder (taliks) i permafrostområder som tidligere har vært frosset,
- økt frekvens av jordras,
- overflatedeformasjon.

I områder med kontinuerlig permafrost representerer ikke klimaendringer basert på modellene fra IPCC (2001) og Instanes (2003) noen umiddelbar trussel for infrastruktur som er dimensjonert i henhold til gjeldende prosedyrer. Det antas likevel at vedlikeholdskostnader kan øke på grunn av økte setninger og deformasjoner av fundamenter. I diskontinuerlig permafrost vil imidlertid konsekvensene kunne bli mer omfattende. I Alaska, Canada og Russland har man lang erfaring med håndtering av disse problemene, og det finnes metoder for å håndtere «varm» permafrost (temperatur høyere enn -1 °C).

Klimaendringer vil bli en faktor i nye utbyggingsprosjekter hvis den estimerte oppvarmingen er reell, og effekten av klimaendringene ikke er tatt høyde for i de relativt konservative metodene som benyttes for bygging på permafrost.

Figur 3 viser en teoretisk beregning av tinedybde for banelegemet på Svalbard Lufthavn basert på historiske data (1910-2000) og 2 klimascenarier (2000-2050). Da banen ble bygget på midten av 1970-tallet var teoretisk tinedybde i underkant av 0,9 meter. Dette kan øke til mellom 1,3 og 1,5 meter i løpet av de neste 50 år. Dette er mulig å håndtere, men vil kunne utløse økte vedlikeholdskostnader.

Det antas at en positiv effekt av en global oppvarming vil være at teleskader i områder med sesongfrost vil bli redusert.

Skred og flom

Klimascenariene beskriver en fremtid med økt nedbørmengde og mer ekstreme vindforhold enn dagens situasjon. Estimaten tilsier at intensiteten og lengden av nedbørsperiodene kan øke samtidig som frekvensen av nedbørsperiodene øker. Likeledes er det sannsynlig at et varmere klima vil føre til hyppigere og sterkere stormer. Naturlig følge vil bli økt frekvens av flom, erosjon og skred (snø, jord, fjell). Konsekvensen vil bli økt frekvens av stengte veier, jernbaner og flyplasser.

I områder med permafrost (fjellområder over ca. 1000 m.o.h. i Norge og hele Svalbard) vil stigende temperatur og økt nedbør sammen med økt stormfrekvens kunne øke sannsynligheten for fjellskred og erosjon. Det er også sannsynlig at økte nedbørmengder og mer intens snøsmelting vil føre til økt grunnvannsstand. Dette vil gi en generell reduksjon av stabilitet av naturlige skrånninger, og også føre til økt fare for skred mot bebyggelse og transportveier. Økt nedbørmengde og raskere snøsmelting kan også føre til økt flomfare, større flommer og erosjon av elvebredder som medfører en betydelig økt risiko for infrastruktur og bebyggelse.

I et varmere klima vil mer av nedbøren falle som regn i lavtliggende områder (under 1000 m.o.h.) Dette kan føre til økt frekvens av våt-snøskred og sørpeskred hvor tørr-snøskred har vært dominerende tidligere. Utløpsdistansen for skredene fra lavtliggende løsningsområder kan forventes å bli redusert. Når det gjelder snøskred fra høyereliggende områder (over 1000 m.o.h.) vil derimot snømengdene periodevis kunne øke i forhold til dagens situasjon med den følge at utløpsdistansen øker eller forblir uforandret. Førstnevnte scenario vil være positivt for bebyggelse og især transportårer som veg og bane, mens sistnevnte scenario vil være negativt. Disse faktorene er allerede med i planleggingen ved Statens vegvesen, som bruker skredfrekvens som ett av kriteriene ved vurdering av nødvendig omfang av sikringstiltak for riks- og fylkesveier (Larsen, 2004).

Kystsonen

Gjennomsnittlig globalt havnivå har økt ca. 3 millimeter per år siden 1990. Dette er sannsynligvis forårsaket av termisk ekspansjon på grunn av oppvarming av verdenshavene. Frem til 2100 viser klimascenariene at økningen i globalt havnivå vil være fra 20 til 90 cm (IPCC, 2001). Dette kan få alvorlige konsekvenser for

havnekonstruksjoner og kanskje spesielt historiske bygninger (som f.eks. Bryggen i Bergen).

Kysterosjon er i dag et alvorlig problem langs den arktiske kysten og vil øke de neste 100 år med de klimascenariene som foreligger. Stigende havnivå, mindre is-utbredelse og økt bølgepåkjenning på kysten vil kunne akselerere pågående prosesser. I finkornige, isholdige, leirige sedimenter er erosjonshastighetene typisk 1 til 3 meter per år. I siltige eller sandige sedimenter som er direkte eksponert til bølgepåkjenning og stormflo kan erosjonshastighetene bli så høy som 10 til 15 meter per år. Kystområder som består av (frosset) fjell og sedimenter med lavt isinnhold er erosjonshastigheten generelt lavere enn 0,1 meter per år.

Kysterosjon er kanskje den største trusselen mot infrastruktur og bygningskonstruksjoner i Arktis. Flytting og relokasjon av infrastruktur, industriområder, byer og tettsteder vil kunne bli en konsekvens av dette. Ved etablering av ny infrastruktur i kystområder er det derfor spesielt viktig å ta hensyn til dette.

Olje og gass

I Arktis er det store forekomster av olje og gass langs kystområdene, og disse områdene er en viktig leverandør av olje og gass til befolkningskonsentrasjoner lengre sør. Store deler av forekomstene finnes i Russland; Barentshavet, Pechora-bassenget, Ob-bassenget, og potensielle områder langs Sibirs kyst. I Canada er forekomstene konsentrert i to områder; Mackenzie-deltaet/Beauforthavet og de høy-arktiske øyene lenger øst. Prudhoe Bay er det største oljefeltet i USA/Nord-Amerika og andre forekomster finnes på amerikansk side langs Beauforthavets kyst. Nye olje- og gassfelt kan bli kommersielt utnyttet i Barentshavet og Grønlands vestkyst.

Klimaendringer vil ha både positiv og negativ innvirkning på leting og produksjon av olje og gass i nordområdene. Letevirksomhet i områder med førsteårs-is vil kunne få gunstigere forhold og plattformene vil bli mindre utsatt for islast. Det er fortsatt uklart hvordan områder med isfjell (som for eksempel østkysten av Canada og nordlige Barentshavet) vil bli påvirket av klimaendringene. Landbasert virksomhet vil imidlertid kunne få økte problemer på grunn av oppvarming av permafrost.

Økt industriell virksomhet på grunn av lettere tilgjengelighet til Arktis sjøveien, vil føre til økt behov for pålitelige transportveier (sjø, land, luft).

OPPSUMMERING

Klimascenariene indikerer dramatiske endringer i temperatur og nedbør de neste 100 år. Endringene blir størst i Arktis, men også fastlands-Norge vil bli berørt. Konsekvensene for infrastruktur vil spesielt være knyttet til oppvarming og tining av permafrost, kysterosjon, stabilitet og opprettholdelse av transportveier og industriell utvikling langs polhavets kyster.

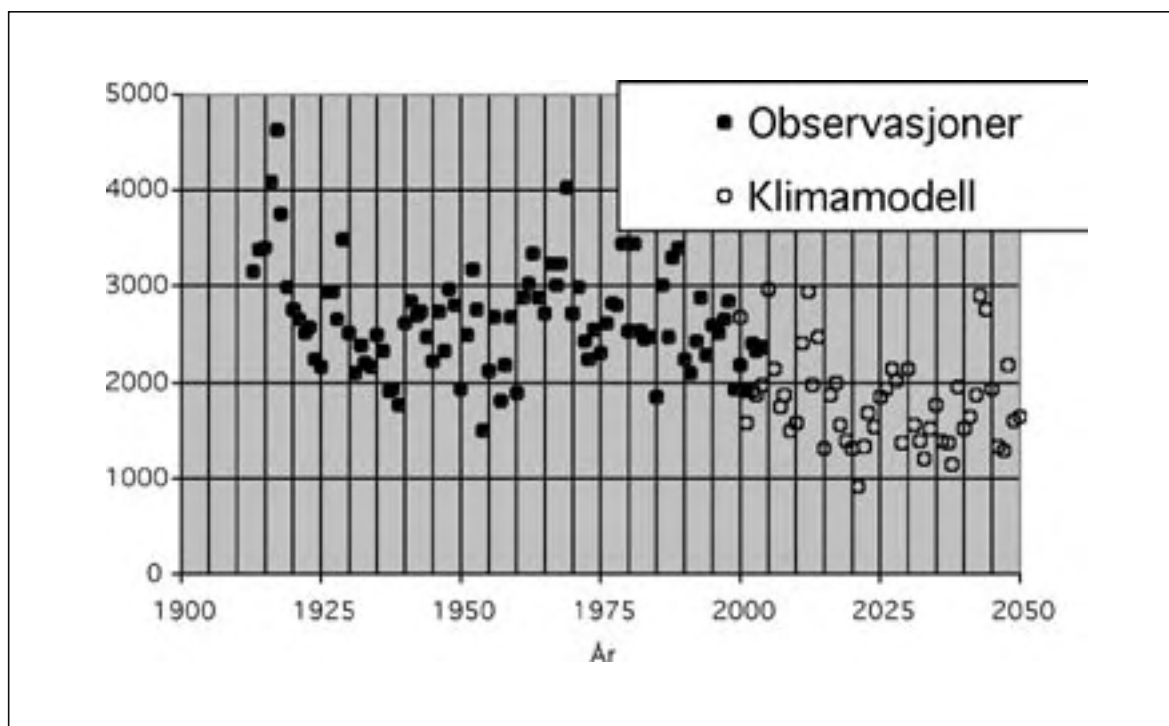
Klimaendringer vil påvirke eksisterende infrastruktur i regionen og ny utvikling i området. Teknologiske løsninger for å håndtere konsekvensene av de estimerte klimaendringene finnes, og tilpasning til et endret klima blir derfor mer et økonomisk spørsmål enn et teknologisk.

Spesielt i diskontinuerlig permafrostområder og kystsoner utsatt for erosjon kan konsekvensene av klimaendringene bli dramatiske.

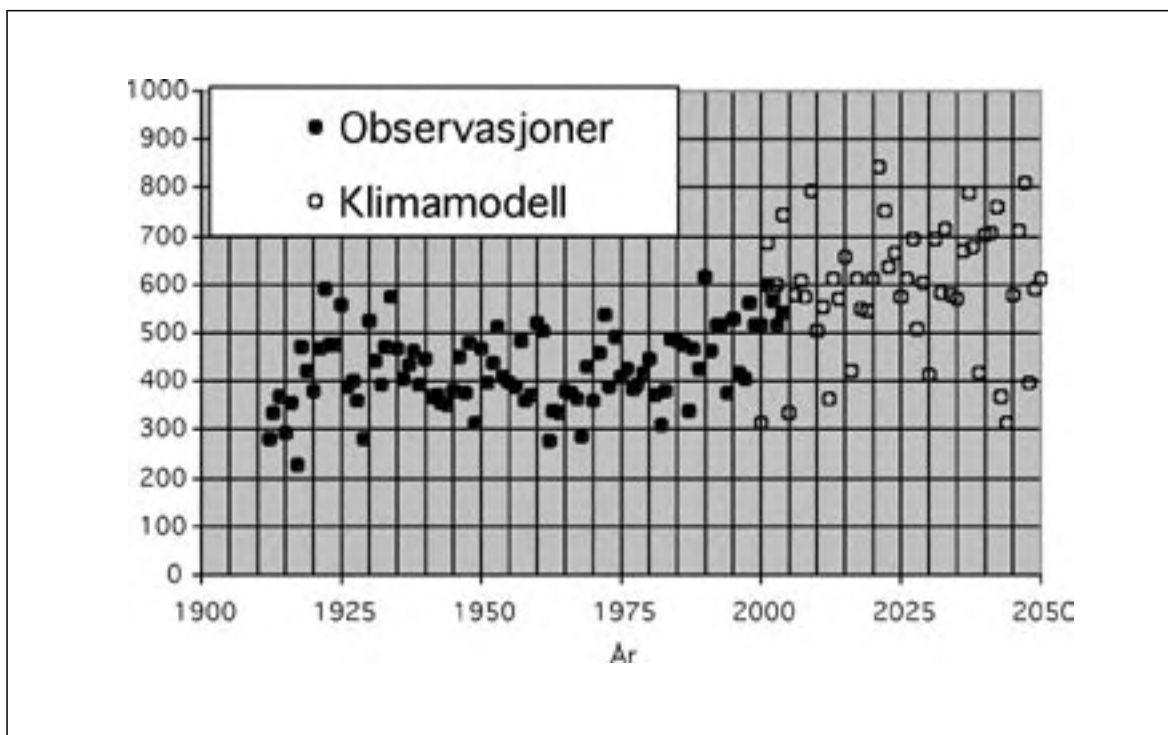
Økt skred- og flomfare sammen med økt behov for kommunikasjonslinjer og økende befolkningstetthet (i områder med industriell utvikling) vil berøre drift, vedlikehold og beredskap av infrastruktur og trafikkavvikling, og kan øke risikoen for ulykker knyttet til skred og flom.

REFERANSER

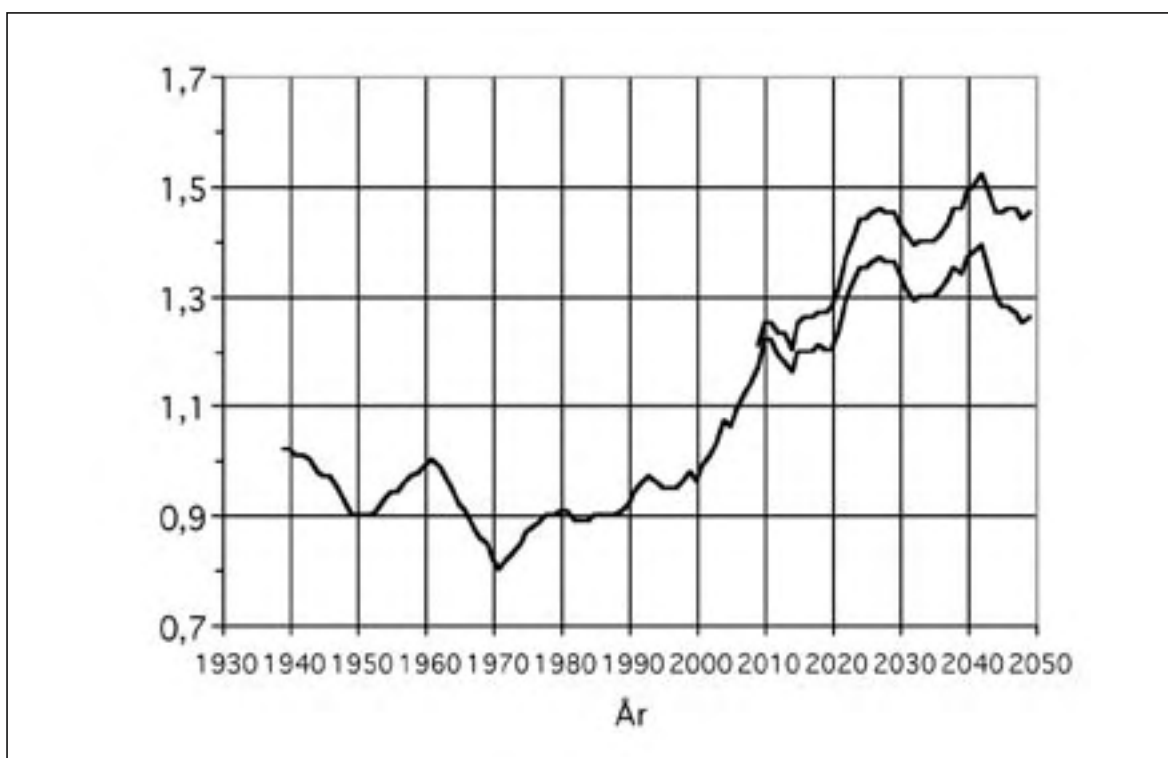
- ACIA (Arctic Climate Impact Assessment). 2004. Impacts of a warming Arctic. Cambridge University Press. www.acia.uaf.edu
- Byggforsk. 2000. Programbeskrivelse Klima 2000. Prosjektnr. O 10210-99. www.byggforsk.no/prosjekter/klima2000.
- Hanssen-Bauer, I., Tveito, O. E. and Foerland, E. 2000. Temperature scenarios for Norway: Empirical downscaling from the ENCHAM4/OPYC3 GSDIO integration. DNMI Report no. 24/00, Oslo, Norway
- Haugen, J.E. og Debenard, J. 2002. Et klimascenario for Norge om 50 år for transportsektoren. DNMI-rapport. Vedlegg til «Nasjonal Transportplan 2006-2015. Virkninger av klimaendringer for transportsektoren – forstudie». www.ntp.dep.no.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2001. IPCC Third Assessment Report – Climate Change 2001. www.ipcc.ch.
- Instones, A. 2003. Climate change and possible impact on Arctic infrastructure. Proceedings of the 8th International Conference on Permafrost (ICOP), Zürich, Switzerland, July 21-26, 2003, side 461-466. Balkema Publishers, the Netherlands.
- Instones, A. 2005. Svalbard airport runway. Performance during a climate warming scenario. Proceedings of the 7th International Conference on the Bearing Capacity of Roads and Airfields (BCRA), Trondheim, Norway, June 27-29, 2005. In press.
- Instones, A., Anisimov, O., Brigham, L., Goering, D., Ladanyi, B., Larsen, J.O. og Khrustalev, L. 2005. Arctic Climate Impact Assessment – Impact of a warming world. Chapter 16. Infrastructure: Buildings, Support Systems and Industrial Facilities. Internal report. Final report 2005. In press.
- Larsen, J.O. 2004. Personlig kommunikasjon.



Figur 1: Fryseindeks Svalbard Lufthavn. Observasjoner 1912-2004. Klimamodell 2000-2050 (Hanssen-Bauer et al., 2000; Instanes et al., 2005).



Figur 2: Tineindeks Svalbard Lufthavn. Observasjoner 1912-2004. Klimamodell 2000-2050 (Hanssen-Bauer et al., 2000; Instanes et al., 2005).



Figur 3: Teoretisk tinedybde for rullebanen på Svalbard Lufthavn basert på observerte lufttemperaturer 1912-2000 og klimamodell 2000-2050 (Hanssen-Bauer et al., 2000; Instanes et al., 2005)

EU-prosjektet PACE – Permafrost og klima i Europa

EU-project PACE – Permafrost And Climate in Europe

Johan Ludvig Sollid, Universitetet i Oslo (UiO) (j.l.sollid@geo.uio.no)

Ketil Isaksen, Meteorologisk institutt (ketil.isaksen@met.no)

Summary

Monitoring changes in permafrost provide a valuable supplement to more traditional climate studies, and have been the subject of a three-year EU project called PACE (Permafrost and Climate in Europe), started in December 1997. Seven European countries participated, including Norway. Seven boreholes more than 100 m deep were drilled in the permafrost in selected alpine areas from Svalbard in the north to Spain in the south. Identical instrumentation was used in all the boreholes to take systematic measurements of both long-term and short-term temperature changes in the permafrost. In Norway, the University of Oslo (coordinator J.L. Sollid), the Norwegian Meteorological Institute, the University Courses on Svalbard (UNIS), the Norwegian Geotechnical Institute (NGI) and Gjøvik College participated in the project.

Sammendrag

Overvåking av permafrost har i de seinere år fått økende interesse innenfor internasjonal klimaforskning (GTOS; WMO-rapport 1997). Et 3-årig EU-prosjekt kalt PACE (Permafrost and Climate in Europe) kom i gang i desember 1997. Prosjektet var ledet av prof. C. Harris, Cardiff University, UK. Sju land deltok, Norge var ett av dem. Det ble boret sju minst 100 meter dype hull i permafrosten i utvalgte fjellområder i et transekt fra Svalbard i nord til Spania i sør. Alle hullene ble ens instrumentert for systematiske temperaturmålinger på kort og lang sikt. Formålet er å overvåke temperaturendringer i permafrosten. Målingene gir også grunnlag for rekonstruksjon av klimaendringer i Europas fjellområder i den seinere tid og for langsiktige klimastudier (Harris m.fl. 2003). I den norske delen av PACE-prosjektet, ledet av prof. J. L. Sollid, deltok Universitetet i Oslo (UiO), Meteorologisk institutt (met.no), Universitets-

senteret på Svalbard (UNIS), Norges geotekniske institutt (NGI) og Høyskolen på Gjøvik (HiG).

Klimaindikator

I permafrosten er det ingen sirkulasjon av grunnvann som forstyrrer temperaturgangen i bakken. Den geotermiske profilen, som angir temperaturendringene mot dypet, bestemmes av varmestrømmen fra jordas indre og av temperaturen på jordas overflate. Idealisert sett, med ensartet berggrunn og stabil overflatetemperatur, øker temperaturen lineært med dypet, normalt 0,02-0,03 °C per meter. Årlige temperaturvariasjoner på bakkeoverflaten forplanter seg som temperaturbølger nedover i bakken. Disse bølgene forsinkes og samtidig dempes de mot dypet. Derfor er bakken på ca. 5-10 meters dyp varmest midtvinters. Ved 15-20 meters dyp er de årlige temperaturvariasjonene utjevnet. Her representerer temperaturen årsmiddelet på stedet. Temperaturvariasjoner på bakkeoverflaten over et lengre tidsrom vil forplante seg som temperaturbølger til større dyp og vil således endre formen på den geotermiske profilen i bakken. Dybden som en temperaturbølge har i den termiske profilen, er et mål på den tiden som bølgen har brukt på sin vei fra bakkeoverflaten. Temperaturutviklingen på bakkeoverflaten lar seg således rekonstruere. Det dreier seg her kun om overflatetemperaturen, med andre ord bare én klimaparameter i motsetning til det som er tilfellet med mange andre typer av såkalte proxydata, for eksempel de mer brukte bremålingene. Disse målingene viser resultatet av to forskjellige parametere – vinternekbøren og sommertemperaturen.

Temperaturmålinger i borehull i permafrost angir på en enkel måte stedets nåværende og tidligere årstemperatur uten bruk av lange meteorologiske måleserier. Et borehull på 100 meters dyp i permafrost inneholder således temperaturdata som gjenspeiler

temperaturen på bakkeoverflaten 50-100 år tilbake i tid.

Pågående klimaendringer skaper en ubalansert varmefluks på jordoverflaten som tilsvarer en svært liten del av den årlige netto strålingsbalansen. Endringer av en slik størrelsesorden kan være vanskelig å måle på ordinært vis. I bakken, derimot, er den ubalanserte klimatiske varmefluksen om lag tre ganger så stor som varmefluksen fra jordas indre. I bakken gir dette et tydelig klimasignal som kan gjenkjennes i temperaturmålinger i borehull i permafrosten.

Permafrosten varmes opp

Som det går fram av figur 1 er PACE-borehullene i de nordlige områdene av Europa lokalisert ved Janssonhaugen i Adventdalen på Svalbard, på Tarfalaryggen i svensk Lappland og på Juvvasshøe i Jotunheimen i sørlige Norge (Sollid m.fl. 2000). I Norge og i Sverige er dette første gangen det er laget dype hull (se figur 2 og figur 3) i permafrosten med sikte på klimastudier. En rekonstruksjon av overflatetemperaturen ut fra borehulldata på Janssonhaugen indikerer en temperaturstigning på 1,0-2,0 °C i løpet av de siste 60-80 år (Isaksen m.fl. 2000). Analyser av de termiske borehulldataene fra de siste seks årene med kontinuerlige målinger på Janssonhaugen, indikerer en betydelig oppvarming her i løpet av de siste årene (se figur 4), ifølge Isaksen m.fl. (2004) dreier det seg om ca 0,4 °C pr. tiår.

Svalbard lufthavn, Longyearbyen, er den nærmeste meteorologiske stasjonen til Janssonhaugen som har lange måleserier. Her er en justert temperaturserie konstruert tilbake til 1912. Serien viser at lufttemperaturen økte med om lag 4 °C fra 1912 og fram til slutten av 1930-årene. Temperaturen sank ca. 2,5 °C fram til midten av 1960 årene for så igjen å øke med om lag 2 °C i tidsrommet fram til i dag. Den lineære trenden for heile perioden 1912-2003 viser en temperaturøkning på ca. 1,3 °C.

Temperaturanalysene fra borehullet på Juvvasshøe i Jotunheimen indikerer en temperaturstigning på 0,5-1,0 °C i løpet av de siste 20-40 årene (Isaksen m.fl. 2001). Lufttemperaturutviklingen målt ved meteorologiske stasjoner i regionen rundt Juvvasshøe, i 1900 årene, viser i hovedsak den samme trenden som på Svalbard, men med mindre svingninger. Lufttemperaturen steg med 1,1-1,3 °C fra begynnelsen av 1900 fram til 1930-årene og sank med 0,8-1,0 °C fram til midten av 1960-årene, for så igjen å øke med 0,8-1,0

°C fram til i dag. Det er store variasjoner i årstemperaturen fra år til år ved værstasjonene, spesielt på Svalbard. Ved en trendanalyse kan de store variasjonene fra år til år skape usikkerhet i resultatet. Permafrosten derimot fungerer som et ypperlig filter som ivaretar kun langtidstrendene av temperaturen på bakkeoverflaten. Disse borehullsdataene er derfor et verdifullt supplement til mer tradisjonelle klimastudier. PACE-borehullene er alle plassert på utvalgte steder for å minimalisere påvirkningen på bakketemperaturer fra uønskede og ikke-klimatiske kilder, som for eksempel gruvedrift på Svalbard.



Figur 1: De tre nordligste av de sju PACE-borehullene er lokalisert ved Janssonhaugen (1) i Adventdalen på Svalbard, på Tarfalaryggen (2) i svensk Lappland og på Juvvasshøe (3) i Jotunheimen, sørlige Norge.

Som et resultat av PACE-prosjektet ble dagens utbredelsesmønster av permafrosten i norske høyfjell klargjort i all hovedsak. Disse studiene fortsetter nå på internasjonalt nivå under navnet PACE21 med fokus på klimaendringer og deres konsekvenser med tilknytning til permafrosten, slik som fjellskred, problemer med bygg og anlegg på frossen grunn og liknende.

Via sitt bidrag til PACE-prosjektet tok met.no sikte på å etablere langsiktige måleserier av temperaturdataene fra borehullet på Janssonhaugen og fra borehullet på Juvvasshøe. Siden 2002 har Klimadivisjonen ved met.no det fulle ansvaret for innsamlingen av disse dataene på sikt. Instituttet skisserte tidlig muligheten av å plassere en permanent værstasjon på Juvvasshøe i tilknytning til det dype borehullet for på den måten å kople sammen stedets luft- og bakketemperatur.

Temperaturobservasjoner i borehull i permafrost er velegnet til å overvåke den nåværende og den framtidige klimautviklingen. Sammenliknende studier mellom ulike områder vil i framtiden kunne gi unik klimainformasjon på både kort og lang sikt.

Referanser

Harris C, Vonder Mühl D, Isaksen K, Haerberli W, Sollid JL, King L, Holmlund P, Dramis F, Guglielmin M, Palacios D. 2003. Warming permafrost in European mountains. *Global and Planetary Change* 39: 215–225.

Isaksen K, Vonder Mühl D, Gubler H, Kohl T, Sollid JL. 2000. Ground surface temperature reconstruction based on data from a deep borehole in permafrost at Janssonhaugen, Svalbard. *Annals of Glaciology* 31: 287–294.

Isaksen K, Holmlund P, Sollid JL, Harris C. 2001. Three deep alpine-permafrost boreholes in Svalbard and Scandinavia. *Permafrost and Periglacial Processes* 12: 13–25.

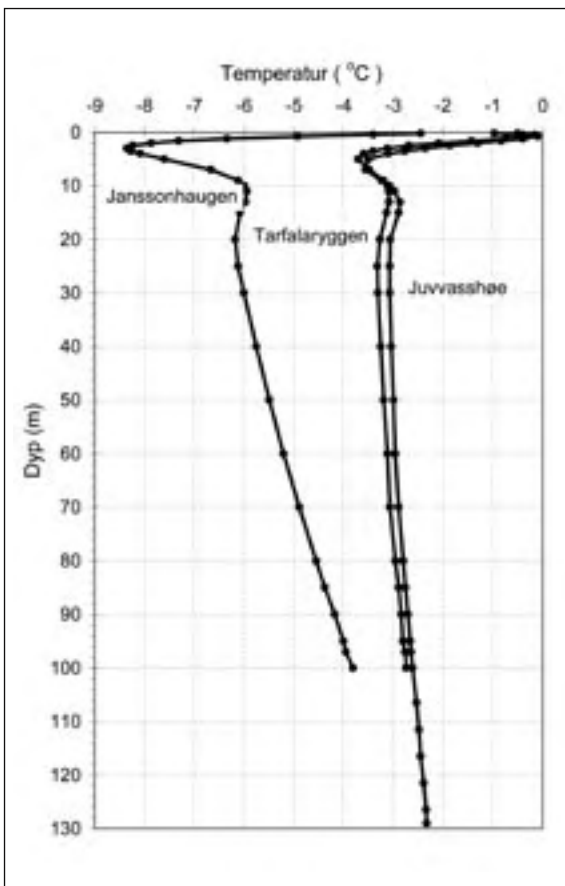
Isaksen K, Sollid JL, Humlum O, Harris C. 2004. Evidence of significant secular and recent warming of permafrost on Svalbard. Abstract S4-10, Bjerknes Centenary 2004: Climate Change in High Latitudes, 1-3 September, Bergen, Norway.

Sollid JL, Holmlund P, Isaksen K, Harris C. 2000. Deep permafrost boreholes in western Svalbard, northern Sweden and southern Norway. *Norsk Geografisk Tidsskrift* 54: 186–191.

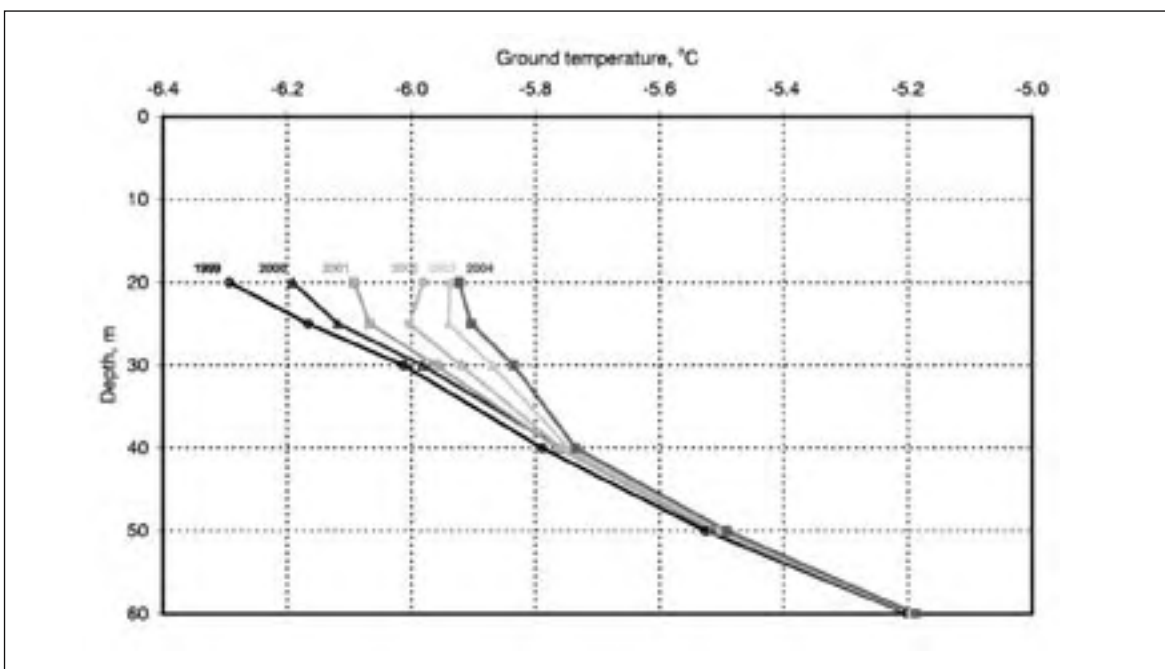
World Meteorological Organization (WMO). 1997. Global Climate Observing System: GCOS/GTOS Plan for terrestrial climate-related observations, Version 2.0. GCOS-32, WMO/TD-No. 796, UNEP/DEIA/TR97-7, WMO, Genève, Sveits, 130 s.



Figur 2: Boring av et 129 meter dypt hull i permafrosten på Juvvasshøe (61°40 '32 ' N, 08°22 '04 ' Ø, 1894 m o.h.) i Jotunheimen, august 1999 (Foto: K. Isaksen).



Figur 3: Temperaturprofiler fra borehullene på Janssonhaugen, Tarfalaryggen og Juvvasshøe avlest 1. juni 2000. Dybden av permafrosten på de tre stedene er estimert til henholdsvis ~220 m, ~350 m og ~380 m. Legg merke til de små temperaturgradientene i de to sistnevnte borehullene.



Figur 4: Seks temperaturprofiler (dybde ≥ 20 m) fra borehullet på Janssonhaugen, registrert 24. april hvert år i tidsperioden 1999-2004. Figuren viser at det her er en betydelig oppvarming på gang.

Permafrosten i Norge i dag

The extent of permafrost in Norway today

Ketil Isaksen, Meteorologisk institutt (ketil.isaksen@met.no)

Johan Ludvig Sollid, Universitetet i Oslo (UiO) (j.l.sollid@geo.uio.no)

Summary

Already in 1975 O. Liestøl (1976) showed that Svalbard had 500 m thick permafrost in the central parts and about 100 m along the coasts. The distribution pattern of the permafrost in Svalbard is later discussed by O. Humlum et al. (2003). On Mainland-Norway little has been known about the permafrost until the last years. Today many institutions are active in mapping the permafrost in different fields in Norway. Across southern Norway permafrost exists in Jotunheimen, Dovrefjell and Sølen down to 1450 m a.s.l., 1300 m a.s.l. and 1100 m a.s.l., respectively. Permafrost monitoring transects are established in both southern and northern Norway. Changing of the permafrost transition zones through tens of years will be used as a climatic indicator (Sollid m.fl. 2003). Temperature measurements in two deep permafrost boreholes (> 100m), one on Janssonhaugen in Svalbard and one on Juvvasshøe in Jotunheimen (Isaksen et al. 2001) and changes in the distribution pattern of palsa bogs in Norway (Hofgaard 2004) are used as a climatic indicators as well.

Sammendrag

Denne artikkelen gir først og fremst en oversikt over hvordan en kartlegger permafrost og litt om resultatene fra kartleggingen som er gjort i Norge i de seinere årene.

Permafroststudier i Norge i dag utføres ved flere norske institusjoner, gjerne i samarbeid med enkelte europeiske forskningsmiljøer, da særlig Universitetet i Zürich. I Norge står Universitetet i Oslo (UiO) sentralt i disse studiene sammen med Meteorologisk institutt (met.no), Norges geologiske undersøkelse (NGU), Norges Geotekniske Institutt (NGI), Høyskolen i Gjøvik (HiG), Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU) og Universitetsstudiene på Svalbard (UNIS).

Hva er permafrost?

Permafrost er definert som frost i bakken året rundt. Dersom sommervarmen i et område ikke greier å fjerne vinterkulden i bakken, har dette området permafrost. Om sommeren smelter det øverste laget av permafrosten og danner det såkalte aktive laget, som i dybde varierer fra 0,5 –5 m alt ettersom. Det aktive laget fryser og smelter hvert år. Om lag 1/4 av jordas landoverflate har i dag permafrost. Permafrosten finnes først og fremst i polare strøk, men også i høyfjellsområder på lavere breddegrader. Permafrosten er vanligvis vanskelig å se, men stedvis finnes det klare synlige geomorfologiske tegn slik som for eksempel steinbreer, iskjernemorener, iskilepolygoner og jordsirklar.

Kartleggingsmetoder

For å påvise permafrost på et sted, kreves det i de fleste tilfeller bruk av ulike kartleggingsmetoder (Hauck m.fl. 2004). I Norge er særlig fem metoder brukt:

a) Geoelektrikk

Målinger av elektrisk motstand i bakken er en mye brukt geofysisk metode til kartlegging av permafrost. Forskjellige materialer har ulik elektrisk motstand. Dette kan brukes blant annet til å lokalisere is i bakken. Is har relativt stor elektrisk motstand. Elektroder stikkes ned i bakken langs en profil, det sendes strøm gjennom elektrodene og strømmens potensialfall måles mellom elektrodene. På den måten kommer potensiell permafrost til kjenne på ulike dyp langs profilen.

b) Seismikk

Seismikk er gammel metode som er mye brukt til kartlegging av permafrost. Frossen bakke har høyere bølgehastighet enn ufrossen bakke. Den seismiske

pulsen genereres enten ved hammerslag eller ved bruk av sprengstoff. Pulsen fanges så inn ved hjelp av geofoner som plasseres på bakken langs en profil.

c) *BTS (Bottom Temperature of Snow cover)*

BTS (Bottom Temperature of Snow cover) er en indirekte metode som måler temperaturen ved bunnen av et tykt snødekke. Ved snødyp større enn 0,8 m vil bakkeoverflaten i liten grad være influert av temperaturvariasjonene som skjer på snøoverflaten. Snødekket har lav termisk konduktivitet og temperaturen på bakkeoverflaten vil i hovedsak være avhengig av varmestrømmen ut fra bakken (se figur 1). BTS-metoden er mye brukt i Alpene og i de seinere år også i Norge. Det er en praktisk metode som gjør det mulig å kartlegge relativt store områder på en grei måte.

d) *Miniloggere - temperaturmålinger i bakkeoverflaten*

Det brukes miniloggere til å måle temperaturen på bakkeoverflaten. Miniloggerne består av en liten vanntett og robust beholder med en databrikke og en temperaturføler. Avlesningen kan programmeres til ønsket tidsintervall og kan gå over ett år eller mer. Miniloggerne kan lett plasseres på ønskede steder i terrenget, gjerne på 5-10 cm dyp for å skjerme mot direkte sollys. Måned- og årstemperaturen på et sted kan lett registreres ved bruk av miniloggere. Mange miniloggere kan brukes samtidig og dekke store områder.

e) *Temperaturmålinger i borehull*

Først å bore et hull i bakken for så å installere temperaturfølere i hullet, er den sikreste måten å kartlegge stedets permafrost på. Temperaturdata fra borehull brukes også til å verifisere dataene fra de andre kartleggingsmetodene som her er omtalt, når dataene er fra det samme området.

På Dovrefjell er det i alt nå boret 11 hull (se figur 2), alle 9 m dype, langs et transekt fra 1039 til 1505 m o.h. (Sollid m.fl. 2003). Transektet omfatter overgangssonen («gråsonen») fra ikke permafrost til kontinuerlig permafrost (se figur 3). Tilsvarende hull i permafrosten er nå også boret i Møre og Romsdal og i Troms på noen utvalgte steder med tanke på her å få et bilde av permafrostens utbredelsesmønster langs et transekt fra kysten til innlandet (Isaksen m.fl. 2004).

For alle disse borehullene logges temperaturen kontinuerlig fire ganger i døgnet året rundt. Temperaturen måles i bestemte nivåer i hullene. Ved bruk av termistorstreng måles det i tillegg til dette detaljerte

temperaturprofiler 3-4 ganger om året i hvert av borehullene.

Alle de nevnte borehullene pleies nå i et samarbeid mellom met.no, UiO, NGU og HiG med sikte på å etablere måleserier over lang tid for på denne måten å følge utviklingen av permafrosten i disse områdene. met.no har særlig ansvar for måleseriene fra de dype borehullene på Janssonhaugen og Juvvasshøe.

De her omtalte metodene kan brukes enkeltvis eller i kombinasjon. Et ideelt måleopplegg bør strekke seg over minst ett år, helst to eller mer, ved bruk av alle disse metodene. BTS brukes i mars måned når snødekket har stabilisert seg, geoelektrikk og seismikk på sensommeren når det aktive laget er på sitt dypeste. Miniloggerne plasseres i terrenget på sommerstid. Hull i berget kan bores på alle årstider, men av naturlige årsaker er sommerhalvåret mest høvelig.

Permafrostens viktigste klimaparametere

Det dannes vanligvis permafrost i landområder som har årsmiddeltemperatur lavere enn -2 °C. Resultatene av permafrostkartleggingen som er utført i Norge hittil, viser at det regionale utbredelsesmønsteret av permafrosten i all hovedsak er bestemt av lufttemperaturen (figur 4).

En annen viktig faktor for utbredelsen av permafrosten er tykkelsen av snødekket, dets fordelingsmønster og varighet. Vegetasjonen og det øverste jordlagets struktur spiller også en rolle. I tillegg vil relieffet med sol- og skyggeside ha mye å si for utbredelsen av permafrosten i flere områder. Dette er vist i nyere studier utført på Sølen-området ved Femunden (Heggem 2005) og ellers i utvalgte områder i Møre og i Troms (Isaksen m.fl. 2004).

De nevnte faktorene gjør at bakketemperaturen kan ha sterke lokale variasjoner. Dette får store følger for størrelsen og utformingen av permafrostens nedre grensesone. Her opptrer gjerne permafrosten flekkvis.

Utbredelsen av permafrosten i Norge og på Svalbard

Allerede i 1975 viste Liestøl (1976) at permafrosten på Svalbard er 500 m tykk i de sentrale områdene og omkring 100 m tykk ved kysten. Fordelingsmønsteret av permafrosten på Svalbard er senere diskutert av Humlum med flere (2003). Fram til i dag har det vel vært mindre kjent for de fleste at høyfjells-

områdene i Norge i dag har rikt med permafrost. Nyere kartlegging viser at permafrostens nedre grense i Jotunheimen ligger om lag 1450 m o.h., på Dovrefjell 1300 m o.h. og på Sølen ved Femunden 1100 m o.h. (Ødegård m.fl. 1996; Sollid & Sørbel 1998; Isaksen m.fl. 2002; Etzelmüller m.fl., 2003; Sollid m.fl. 2003; Hauck m.fl. 2004; Heggem 2005). Fra Vestlandet og Nord-Norge finnes det foreløpig få publiserte felt-data om permafrostens nedre grense. I 2001 startet et måleprogram med sikte å kartlegge denne grensen i noen kjerneområder på Møre, i Troms og i Finnmark (Isaksen m.fl. 2004).

Permafrostens nedre grensesone kartlegges for tiden i detalj i Sør-Norge ved bruk av borehull, særlig på Dovrefjell og i Jotunheimen (Sollid m.fl. 2003). Den nedre grensesonen av permafrosten har såkalt «varm-permafrost», dvs. at den er nær smeltepunktet og tilstanden endres raskt i samsvar med endring av klimaforholdene på stedet. Overgangssonen («gråsonen») fra ingen permafrost i terrenget til kontinuerlig permafrost, varierer i høyde fra sted til sted avhengig av terrengets beskaffenhet, om det er bratt eller slakt, om det har store skyggepartier, mye eller lite snø, om det er bart fjell eller har mye løsmateriale. Temperaturmålingene langs transektet på overgangssonen på Dovrefjell viser at høyden på overgangssonen her er om lag 250 m (Sollid m.fl. 2003). Høyden på denne gråsonen vil variere fra sted til sted.

I regional sammenheng er permafrostens nedre grensesone en verdifull klimaindikator i likhet med brefronter. Temperaturmålingene i borehullene i overgangssonen gir langt på veg signaler om den regionale klimautviklingen i området. I Alpene er det påvist at permafrostens nedre grense er blitt betydelig hevet den seinere tid i samsvar med et varmere klima. Det samme synes å være tilfelle i norske fjell. Det er tatt sikte på å måle temperaturen i borehullene i dette transektet over år. Måleseriene som klimasignal vil som sagt øke i verdi over tid.

Utbredelsen av permafrosten, i liten så vel som i stor målestokk, varierer i takt med klimaendringene over tid. Like etter istiden var permafrosten vidt utbredt i Fastlands-Norge. Utbredelsen av fossile steinbreer vitner om det (Sollid & Sørbel 1992). Permafrostforholdene var her den gang omtrent som på Svalbard i dag. På Andøya ligger det fossile steinbreer heilt ned mot fjæra. Gamle fjellskred kan mange steder være forårsaket av smelting av permafrost. Eksempler på slike skred finnes i Geirangerfjorden på Møre. Mange av disse skriver seg fra isavsmeltings-

tiden. På Dovrefjell indikerer geoelektriske målinger eksistens av relikv permafrost på 25-30 m dyp. Permafrosten her kan ha en tykkelse på 50-100 m eller mer. Den skriver seg trolig fra den lille istid (1400-1750) da permafrostens nedre grense i dette område synes å ha vært om lag 100 m lavere enn i dag i følge Sollid og Sørbel (1998). Det er etablert et program for overvåkning av palsmyrer i Norge (Hofgaard 2004).

I dagens utnytting av høyfjellet med veier og skiheiser m.m. er det av betydning å ha kjennskap til permafrostforholdene på de enkelte stedene. Derfor er en systematisk kartlegging av permafrostutbredelsen av stor verdi.

Referanser

- Etzelmüller B, Hölzle M, Heggem ESF, Isaksen K, Mittaz C, Vonder Mühl D, Ødegård RS, Haerberli W, Sollid JL. 2001. Mapping and modeling the occurrence and distribution of mountain permafrost. *Norsk Geografisk Tidsskrift* 55: 186-194.
- Etzelmüller B, Berthling I, Sollid JL. 2003. Aspects and concepts on the geomorphological significance of Holocene permafrost in southern Norway. *Geomorphology* 52, 87-104.
- Hauck C, Isaksen K, Vonder Mühl D, Sollid JL. 2004. Geophysical surveys designed to delineate the altitudinal limit of mountain permafrost: an example from Jotunheimen, Norway. *Permafrost and Periglacial Processes* 15: 191-205.
- Hofgaard A. 2004. Etablering av overvåkningsprosjekt på palsmyrer. NINA Oppdragsmelding 841. 32pp.
- Heggem ESF. 2005. Mountain permafrost distribution and ground surface temperature variability in Southern Norway and Northern Mongolia – spatial modelling and validation. Series of dissertations submitted to the Faculty of Mathematics and Natural Sciences, University of Oslo. No. 419.
- Humlum O, Instanes A, Sollid JL. 2003. Permafrost in Svalbard: a review of research history, climatic background and engineering challenges. *Polar Research* 22, 191-215.
- Isaksen K, Hauck C, Gudevang E, Ødegård RS, Sollid JL. 2002. Mountain permafrost distribution in Dovrefjell and Jotunheimen, southern Norway, based on BTS and DC resistivity tomography data. *Norsk Geografisk Tidsskrift* 56: 122-136.
- Isaksen K, Heggem ESF, Bakkehøi S, Ødegård RS, Eiken T, Etzelmüller B, Sollid JL. 2003. Mountain permafrost and energy balance on Juvvasshøe, southern Norway. In *Proceedings Volume 1, Eight International Conference on Permafrost, Zurich, Switzerland, 21-25 July*, Phillips M, Springmann SM, Arenson LU (eds.). Swets & Zeitlinger, Lisse, ISBN 9058095827: 467-472.
- Isaksen K, Blikra LH, Eiken T, Sollid JL. 2004. Mountain permafrost and instability of rock slopes in western and northern Norway. Abstracts Volume, PACE21 Field Workshop, Longyearbyen, Svalbard, 8-13 September 2004, p.32.
- Liestøl O. 1976. Pingos, spring, and permafrost in Spitsbergen. *Nor. Polarinst. Arb.* 1975, 7-29.
- Sollid JL, Isaksen K, Eiken T, Ødegård RS. 2003. The transition zone of mountain permafrost on Dovrefjell, southern Norway. In *Proceedings Volume 2, Eight International Conference on Perma-*

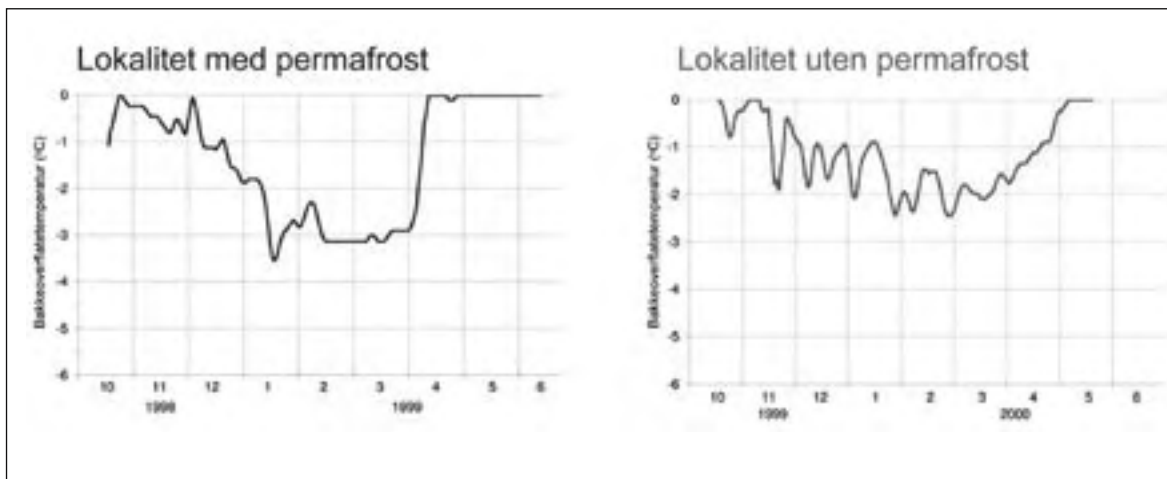
frost, Zurich, Switzerland, 21-25 July, Phillips M, Springmann SM, Arenson LU (eds.). Swets & Zeitlinger, Lisse, ISBN 9058095827: 1085-1090.

Sollid JL, Sørbel L. 1998. Palsa bogs as a climate indicator – examples from Dovrefjell, southern Norway. *Ambio* 27, 287-291.

Sollid JL, Sørbel L. 1992. Rock glaciers in Svalbard and Norway. *Permafrost and Periglacial Processes* 3, 215-220.

Ødegård RS, Hoelzle M, Johansen KV, Sollid JL. 1996. Permafrost mapping and prospecting in southern Norway. *Norsk Geografisk Tidsskrift* 50, 41-53.

Ødegård RS, Isaksen K, Mastervik M, Billdal L, Engler M. 1999. Comparison of permafrost mapping results and Landsat TM data from a PACE field site in Jotunheimen, southern Norway. *Norsk Geografisk Tidsskrift* 53: 226-233.

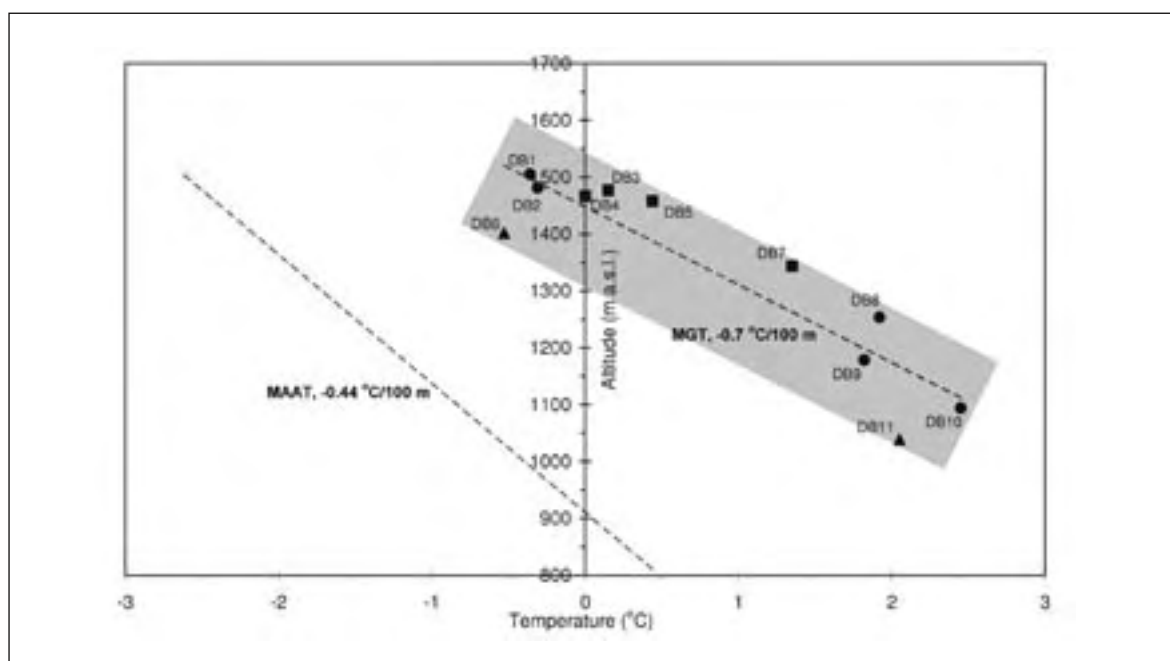


Figur 1: BTS-metoden, eksempel. Her vises typisk temperaturutvikling (døgnmiddeltemperatur) på bunnen av et snødekke gjennom en vinter på et sted som har permafrost (venstre kurve) og på et sted som ikke har permafrost (høyre kurve). For lokaliteten som har permafrost, stabiliserer temperaturen seg etter hvert, i dette tilfellet på omkring -3°C og holder denne til vårmeltingen starter i begynnelsen av april (1999). I lokaliteten uten permafrost stiger temperaturen mot 0°C utover i mars og april (2000) etter hvert som snødekket blir godt utviklet. Vårsmeltingen for den sistnevnte lokaliteten tar dette året ikke til før i slutten av april.

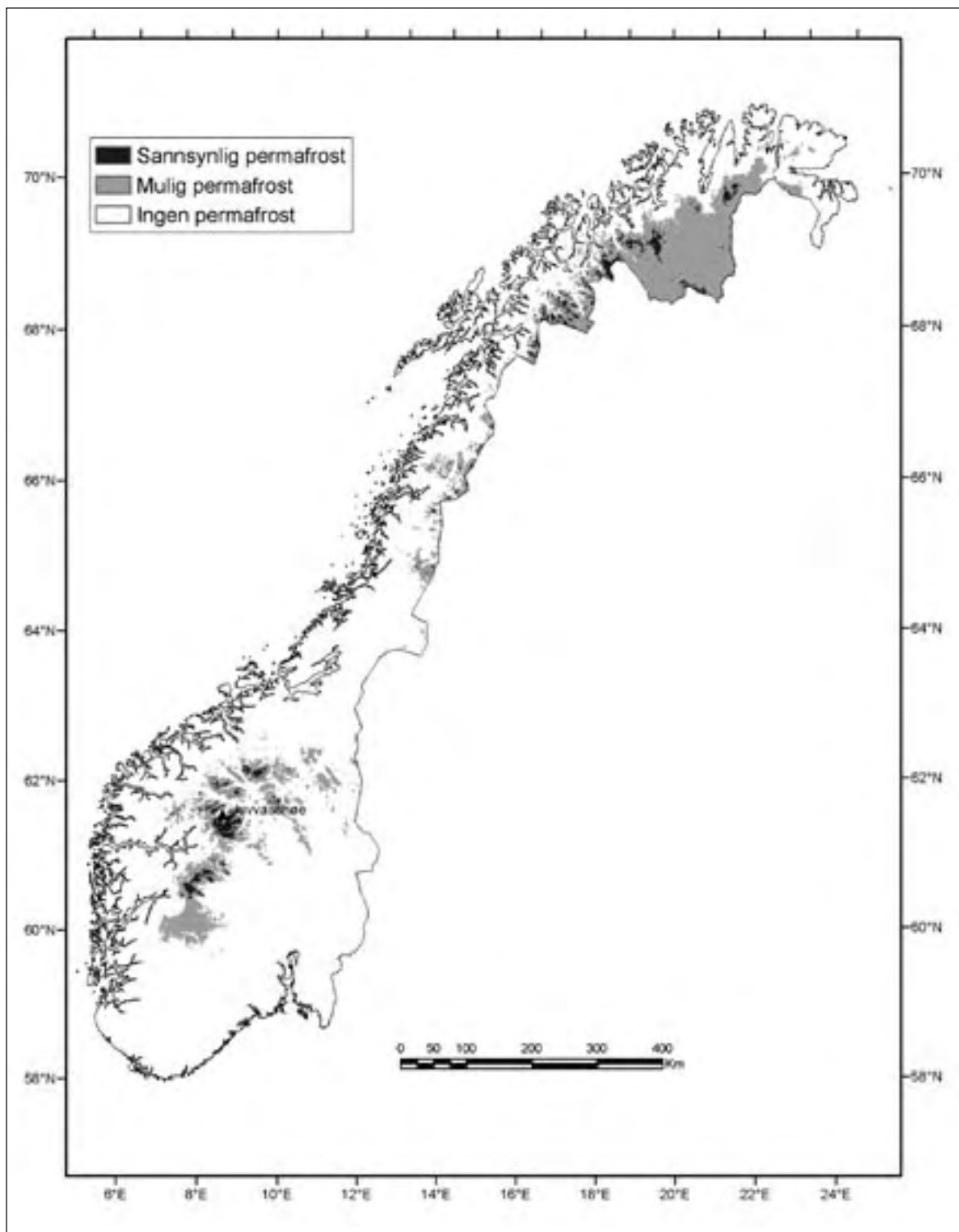
BTS-metoden er basert på empiriske funn. Erfaringen tilsier at: $\text{BTS} < -3^{\circ}\text{C}$: Sannsynlig permafrost; $\text{BTS} = -3^{\circ}\text{C}$ til -2°C : Mulig permafrost; $\text{BTS} > -2^{\circ}\text{C}$: Usannsynlig med permafrost. Selve kartleggingen ved bruk av BTS må i Norge utføres i mars eller april måned når snødekket er godt utviklet og før vårmeltingen begynner. Tradisjonelt brukes det en stav som har en temperaturføler i spissen, og som stikkes ned gjennom snødekket til bakken og holdes i ro der til temperaturføleren har stabilisert seg. Dette tar bare noen få minutter, så kan temperaturen avleses. På denne måten kan permafrosten kartlegges raskt i et større område om gangen. Disse enkeltmålingene bør optimalt sett kombineres med kontinuerlige overflatetemperaturmålinger på noen utvalgte lokaliteter i det samme området, for å ha kontroll med temperaturforløpet gjennom vinteren i det respektive året som målingene utføres i.



Figur 2: Boring av et 9 m dypt borehull (DB2) ved Snøheim på Dovrefjell, oktober 2001. Borehullet er lokalisert 1481 m o.h. (Foto: Ketil Isaksen).



Figur 3: Middeltemperatur i bakken på 8,5 m dyp for 11 borehull på Dovrefjell (DB1 til DB11) plottet mot høyde (fra Sollid m.fl. 2003). Borehull DB6 og DB11 (markert som triangler) ligger sterkt eksponert, der snø blåser bort om vinteren. Temperaturen i bakken for disse to borehullene er lavere enn i områder der det er mer snø vinterstid. For eksponerte områder viser dataene at den nedre grensen for permafrosten på Dovrefjell i dag er om lag 1350 m o.h. Der det er mer snø, som tilfellet er for de fleste av de resterende borehullene (markert med sirkler (snødyp = 0,1–1,0 m) og firkanter (snødyp større enn 1.0 m)), er den nedre grensen for permafrosten 1450–1550 m o.h. Dette samsvarer med resultatene fra BTS-målingene i området (se Isaksen m.fl. 2002). Disse målingene er utført der det er mer enn 0,8 m snø.



Figur 4: I Norge dannes det vanligvis permafrost i landområder som har en årsmiddeltemperatur lavere enn $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$. De grå områdene på kartet viser områder der årsmiddeltemperaturen er mellom $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ og $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$. I disse områdene kan en forvente å finne permafrost enkelte steder, spesielt i områder som blåses fri for snø om vinteren. De mørke områdene har en årsmiddeltemperatur kaldere enn $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Her finnes permafrost normalt de fleste steder. Lokaliseringen av borehullet på Juvvasshøe i Jotunheimen er avmerket på kartet, kfr. figur 1 i Sollid & Isaksen (i denne publikasjonen).

Frostsikring av veger i Norge – status og utfordringer

Frost protection of roads in Norway – status and challenges

Geir Refsdal, Statens vegvesen Region øst (geir.refsdal@vegvesen.no)

Øystein Myhre, Vegdirektoratet (oystein.myhre@vegvesen.no)

Summary

The article summarizes Norwegian practice and experience on frost protection of roads. A brief historical review of the commonly used frost protection methods is presented, as well as the design principles in the pavement design manuals. Experience with various types of frost protection materials – namely sand/gravel, bark, light expanded clay, cellular glass and extruded polystyrene boards – is also summarized. The frost protection design procedure of today's design manual for new roads (2005) is outlined. The requirements in today's manual means that frost protection of roads is going to be more frequently used, as compared with the requirements in the older manuals. Regarding the use of different frost protection materials, the 1970's and 80's saw some use of extruded polystyrene boards. It was expected a further increase in the use of polystyrene insulation boards, but general experience reveals that roads thus insulated do not have the expected surfacing service life. This is partly due to damage (compression) of the polystyrene boards during the construction stage, and partly due to quality deviations (thickness, and grading curve) for the base layer on top of the insulation boards. Other materials, e.g. cellular glass and light expanded clay, are expected to have a greater share of the market for frost protection of roads in the future.

INNLEDNING

Frost i Jord - grunnlaget

Gjennom det norske forskningsprosjektet *Frost i Jord* (1970 - 1976), ble det gjennomført et omfattende og banebrytende arbeid på det frosttekniske område, også i internasjonal sammenheng. Prosjektet omfattet også vegsiden. Resultatet var at vi fikk en beskrivelse av metoder, termisk dimensjoneringsgrunnlag og praktisk utførelse som er ryggraden i den måten vi frostsikrer på selv i dag.

Omfang av frostsikring

Ved dimensjonering av vegoverbygninger i Norge er det normale at bæreevnen sikres - også i teleløsningen. Om vegkonstruksjonen i tillegg skal frostsikres, vil det normalt kreve tiltak utover det rent bæreevnemessige. Det er derimot vanlig at stikkrenner og overganger mellom telefarlig og ikke telefarlig undergrunn kiles ut slik at effekten av telen dempes eller elimineres helt.

Siden utbyggingen av motorveger kom i gang på 1960-tallet har imidlertid disse for det meste blitt frostsikret, og etter hvert er frostsikring blitt tatt i bruk også på andre, viktige veger der det er ventet store, ujevne telehiv. Linjeføringen på slike veger har ofte medført at det har blitt store uttak av knust fjell, og dette har det vært naturlig å utnytte i oppbyggingen av et frostsikkert vegfundament.

Det er fremdeles slik at den bæreevnemessige siden av dimensjoneringen er den som vektlegges i norsk vegbygging, men kravene til jevnhet er etter hvert tillagt stadig større vekt i de norske vegnormaler /8/.

Frostsikringsmaterialer

Fra gammelt av har man utnyttet grusforekomster eller stein i linjen til å oppnå frostsikring. Stein i linjen gir fremdeles en god mulighet til å bygge opp et frostsikkert vegfundament, men minkende grusforekomster og restriksjoner på bruken av disse har ført til leting etter andre muligheter.

Skumplast i form av plater av ekstrudert polystyren (XPS) ble brukt for første gang i Norge i 1965 (Rv 4 ved Rotnes, Nittedal).

Selv om isolasjonsplater gir en gode muligheter til å holde tykkelsen på vegoverbygningen nede, og selv om det er bygget kilometervis med slike veger, særlig gjennom 1970- og -80-tallet, har metoden likevel ikke slått fullt igjennom. Årsaken er nok først og fremst at

disse vegene ikke har kunnet vise til en dekkelevetid som man burde ha forventet.

På 1970- og -80-tallet var også bark et mye brukt frostsikringsmateriale, etter at Frost i Jord-prosjektet viste at materialet var godt egnet som frostsikring i veg /4/. Vegvesenet fikk dette materialet nesten gratis fordi det den gang ikke var mulig å utnytte det industrielt. Dette har endret seg senere og i dag benyttes ikke lenger bark til frostsikring av veg.

Termisk dimensjonering

De norske vegnormalene fra 1980, 1992 og 2005 har alle inneholdt dimensjoneringsanvisninger bygget på enkle tabellverk der man har kunnet ta ut tykkelser for den enkelte kommune og med den ønskede sikkerhet. Nødvendig frostsikring for en middels vinter («2-års»), en 5-års, 10-års og 100-års vinter er angitt. Tanken har vært at den ulempen en slik grov bestemmelse kan medføre oppveies av enkelhet (ingen «regnefeil») og sikkerhet i at resultatet i alle fall er nær det riktige. For en veg er dette ansett som tilstrekkelig.

For grus og stein og for bark er resultatene basert på målinger (erfaringer) og beregninger. For plater av XPS er dimensjoneringen basert på Sverre Skaven-Haug's banebrytende artikkel «Dimensjonering av frostfundamenter. Frysevarme og jordvarme» i /2/.

VEGNORMALENES KRAV TIL FROSTSIKRING

De nye normalene for vegbygging (2005, se /8/) gir følgende beskrivelse av kravet til frostsikring (sitat): «Stamveger med skiltet hastighet større enn 60 km/t skal frostsikres etter bestemmelser gitt i figur 512.8 (se figur 1). Stamveger med skiltet hastighet lik eller mindre enn 60 km/t bør frostsikres etter bestemmelsene i figur 512.8. – Øvrige riksveger, uansett skiltet hastighet, bør frostsikres etter bestemmelsene gitt i figur 512.8. – Figur 512.8 omfatter ikke veger med ÅDT mindre enn 1500. For disse vegene vil det likevel være behov for å vurdere frostsikring på strekninger der spesielle problemer knyttet til ujevne telehiv er ventet.» (sitat slutt)

I forhold til normalene fra 1992 er dette en klar innskjerping mht hvilke veger som skal frostsikres.

ÅDT	Grunnforhold	Frostsikring		
		Sand, grus, stein	Lettklinker og skumglass	Isolasjonsplater (XPS)
1500 - 10 000	3	h_5 (maks. 1,5 m)	h_5	h_{10}
$\geq 10\ 000$	1	h_2 (maks. 1,2 m)	h_{10}	h_{10}
	2	h_5 (maks. 1,5 m)	h_{10}	h_{10}
	3	h_{10} (maks. 1,8 m)	h_{10}	h_{10}

Grunnforhold:
 1 = forholdsvis homogene, bare små ujevne telehiv er ventet
 2 = noe varierende, en del ujevne telehiv er ventet
 3 = sterkt varierende, store, ujevne telehiv er ventet

Forklaringer:
 Ved frostsikring med sand, grus og stein er h_2 , h_5 , h_{10} total tykkelse av overbygningen ved en middels, 5 års og 10 års vinter (dimensjonerende frostmengde F_2 , F_5 og F_{10}).
 Ved frostsikring med lettklinker/skumglass eller isolasjonsplater av XPS er h_5 , h_{10} tykkelse av frostsikringslaget ved en 5 års vinter evt. 10 års vinter. Verdiene for h beregnes som vist i vedlegg 1. Frostmengder og årsmiddeltemperatur er vist i vedlegg 2.

Figur 1: Tabell for valg av dimensjonerende tykkelse (h) for frostsikring på veg med bituminøst dekke (etter vegnormalene 2005, ref. /8/).

I tillegg til frostsikring av «vanlig veg» (inkl. vegfundament i tunneler) er frostsikring også i stor grad benyttet i andre konstruksjonstyper som tunnelhvelv og fundamenter for hvelv, samt frostsikring av fundament/landkar for bruer.

DIMENSJONERINGSGRUNNLAGET

Det fundamentale dimensjoneringsgrunnlaget

Dimensjonering av en vegkonstruksjon foretas vanligvis slik at bæreevnen i teleløsningsperioden er sikret. Eventuell frostsikring, for å hindre at frosten trenger ned i telefarlige materialer i undergrunnen og medfører telehiv (løfting av vegkonstruksjonen), kommer i tillegg og foretas ut fra vurdering av de lokale forhold og erfaringer.

Det fundamentale dimensjoneringsgrunnlaget ved frostsikring er at frostsikringslagets tykkelse velges slik at risikoen for gjennomfrysing av den frostsikrede konstruksjonen holdes innenfor et akseptabelt nivå, for eksempel gjennomfrysing kun hvert 2. år, hvert 5. år eller hvert 10. år. Gjennomfrysing aksepteres altså innenfor visse grenser, avhengig av vegtype, trafikkmengde og grunnforhold.

Som nevnt over er den termiske dimensjoneringen av isolasjonsplater basert på arbeidet til Sverre Skaven-Haug's /2/ artikkel «Dimensjonering av frostfundamenter. Frysevarme og jordvarme» i Frost i Jord nr. 3, juli 1971. Dimensjoneringen er i tillegg basert på de erfaringer som er trukket fra forsøksfeltet på Kjellstadvegen i Lier i Buskerud som ble bygget i 1966. Her ble det lagt skumplastplater i ulike tykkelser og kvaliteter og utviklingen (fuktopptak, trykkstyrke) er siden dokumentert gjennom snart 40 år. Feltet ble sist undersøkt i 1996 (ref. /9/), og det er fremdeles tilgjengelig for oppfølging.

Brukergrensesnittet i vegnormalene

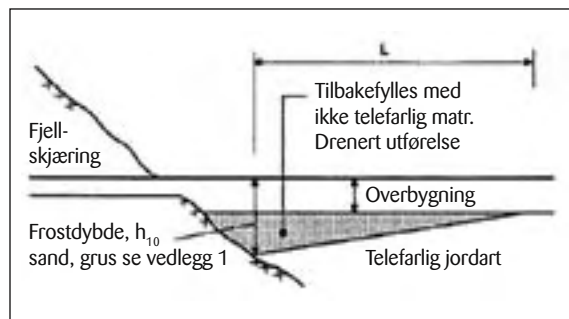
«Brukergrensesnittet» for frostsikring, slik det framstår i vegnormalene, omfatter følgende «trinn»:

- hvilke typer veg som skal frostsikres, og hvor «sterkt» (mht. risiko for gjennomfrysing), finnes i tabell (funksjon av vegtype, trafikkmengde og grunnforhold)
- type frostsikringsmateriale velges (etter en viss prioritering)
- tykkelsen av frostsikringslaget finnes i tabeller eller diagram (som funksjon av frostmengde, som

er geografisk betinget, og som funksjon av valgt risiko for gjennomfrysing, og som funksjon av materialtype)

- utkulingsdybde og -lengde ved overgang mellom ulike typer undergrunn fastsettes
- tilpassing av øvrige materialer/dimensjoner, samt beskrivelse av frostsikringsarbeidene (anleggsmessig utførelse)

Mht. pkt. c) har man inntil 2005-utgaven av vegnormalene benyttet den såkalte kommunetabellen, der nødvendig tykkelse av frostsikringslag er gitt direkte i cm for hver enkelt kommune og avhengig av valgt risikonivå for gjennomfrysing. (Det er også en kommunetabell som viser frostmengde og årsmiddeltemperatur.) Ved bruk av andre materialtyper enn XPS er det gitt multiplikasjonsfaktor for korrigering av tykkelsen på frostsikringslaget, basert på at materialene har ulike frosttekniske egenskaper (varmelednings-eвне, som er avhengig av bl.a. materialenes egenskaper mht. fuktopptak). En svakhet med kommunetabellen er at den er basert på frostmengderegistering kun på ett sted i kommunen (kommunesenteret), mens frostmengden i virkeligheten kan variere mye innenfor en og samme kommune (pga. høydeforskjeller, etc.)



Figur 2: Prinsipp for utkiling ved overgang fjellskjæring/telefarlige jordarter (etter vegnormalene 2005, ref. /8/).

Den nye vegnormalen (2005-utgaven av håndbok 018, ref. /8/) benytter ikke lenger kommunetabellen for å finne tykkelsen av frostsikringslaget, og det er ikke lenger angitt korreksjonsfaktorer for tykkelse når andre materialer enn XPS brukes. Den nye normalen viser tykkelsen av frostsikringslaget (for materialtype XPS og skumglass/lettklinker) i diagramform, som funksjon av frostmengde og årsmiddeltemperatur. Det er ett diagram for materialtype XPS og ett diagram for lettklinker og skumglassgranulat. Tykkelse av

frostsikringslaget ved bruk av sand/grus/stein er gitt i en forenklet tabell, som funksjon av frostmengden. Frostmengde og årsmiddeltemperatur finnes av kommunetabellen (som er beholdt uendret fra den

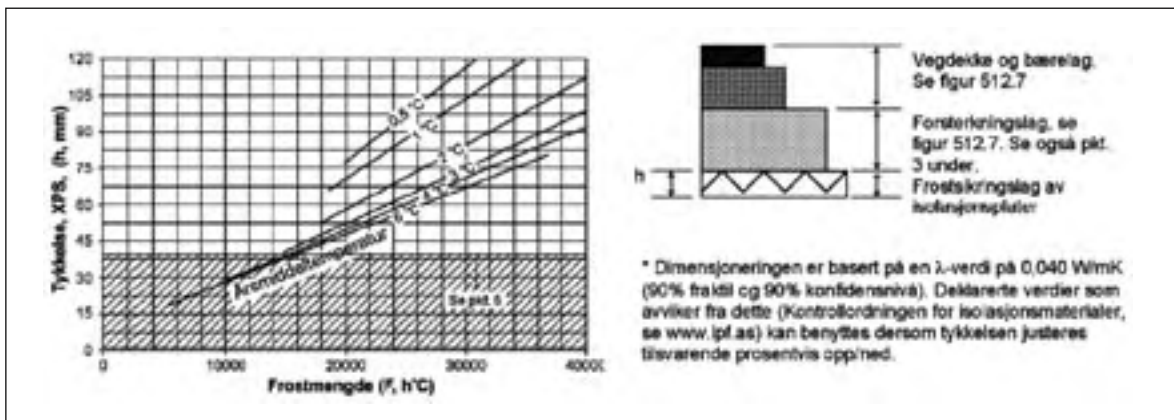
gamle vegnormalen). Som tidligere bør frostmengde og årsmiddeltemperatur justeres dersom man finner seg langt utenfor kommunesenteret, som er grunnlaget for tabellen.

KOMMUNE	TEMP.	FROSTMENGDEN			
	t_m	F_2	F_5	F_{10}	F_{150}
	°C	h°C			
0534 Øren	3,0	19 000	23 000	30 000	38 000
0538 Sandre Land	2,0	19 000	23 000	31 000	37 000
0538 Nordre Land	2,5	22 000	28 000	34 000	40 000
0540 Sør-Aurdal	2,5	20 000	26 000	34 000	39 000
0541 Strødal	1,0	25 000	34 000	43 000	48 000
0542 Nord-Aurdal	1,5	25 000	33 000	39 000	44 000
0543 Vestre Slidre	2,0	25 000	33 000	39 000	44 000
0544 Øystre Slidre	2,0	25 000	33 000	39 000	44 000
0545 Vang	2,5	25 000	33 000	39 000	44 000
06 BUSKERUD					
0600 Drammen	5,5	13 000	20 000	25 000	29 000
0604 Hurdal	4,5	13 000	23 000	29 000	33 000
0608 Blaker	4,5	16 000	23 000	29 000	34 000
0612 Borge	4,5	16 000	23 000	29 000	34 000
0615 Fjell	2,0	21 000	29 000	36 000	41 000
0616 Høy	2,0	24 000	30 000	41 000	46 000
0617 Gull	1,5	25 000	34 000	40 000	45 000
0618 Nesodden	1,5	30 000	39 000	44 000	49 000
0619 Ål	2,0	30 000	39 000	44 000	49 000
0620 Modum	1,0	28 000	37 000	43 000	47 000

Figur 3: Eksempel på kommunevis tabell for årsmiddeltemperatur og frostmengde (fra vegnormalene 1980, 1992, 2005).

KOMMUNE	SAND, GRUS, STEIN				ISOLASJON		
	h_2	h_3	h_{10}	h_{150}	h_2	h_{10}	h_{150}
	h, cm						
0436 Tolga	245	260	295	300	10,0	-	-
0437 Tynset	250	265	295	300	10,0	-	-
0438 Alvdal	230	250	285	300	8,0	12,5	-
0439 Folledal	240	260	285	300	10,0	-	-
0441 Os	245	260	295	300	10,0	-	-
05 OPPLAND							
0501 Lillehammer	205	240	260	285	4,5	6,5	8,0
0502 Gjøvik	180	215	240	260	3,5	5,5	6,5
0511 Dovre	240	265	280	300	8,0	11,0	-
0512 Lesja	215	250	265	295	6,5	9,5	12,0
0513 Skjåk	210	245	260	290	7,0	10,0	12,0
0514 Ise	210	245	260	290	6,5	9,0	10,5
0515 Vågå	220	255	270	295	6,0	9,0	10,0
0516 Nord-Fron	220	255	275	285	5,5	9,0	10,0
0517 Sel	220	255	275	285	6,0	9,5	10,0
0519 Sør-Fron	220	255	275	285	5,5	9,0	10,0

Figur 4: Eksempel på kommunevis tabell for tykkelse av ulike frostsikringsmaterialer (etter de gamle vegnormalene 1980, 1992).



Figur 5: Diagram for frostteknisk dimensjonering av isolasjonsplater av ekstrudert polystyren, XPS (etter vegnormalene 2005, ref. /8/).

FROSTSIKRINGSMATERIALER

Sand, grus og stein

Sand, grus og stein brukes til frostsikring etter prinsippet om utnyttelse av «utfrysingsvarmen». Den

nødvendige tykkelsen er mange ganger så stor som ved bruk av isolasjonsmaterialer, men fordelene er at materialet tåler belastninger godt og er «kompatibelt» med andre vegbyggingsmaterialer, samt at man ofte kan bruke materialer i eller ved linja.

Bark

Bark ble en del benyttet på 1960- og 1970-tallet til frostsikring av vegkonstruksjoner, men er i dag svært lite, eller knapt nok, benyttet. Dette skyldes dels at erfaringene har vært noe blandet (ujevnheter oppstår lett), dels materialkostnadene som gjør det mindre konkurransedyktig (bark er ikke lenger et «gratisprodukt»), og dels at avrenning fra barkfylling kan gi forurensning.

Isolasjonsmaterialer

Ekstrudert polystyren (XPS)

Blant plastmaterialene har ekstrudert polystyren (XPS) vært mest benyttet til frostsikring av vegkonstruksjoner. Materialet er forholdsvis sterkt (høy trykkfasthet) og har gode fuktegenskaper sammenlignet med de fleste andre plastmaterialer. Den store tiden for XPS var 1970- og 1980-tallet. Det årlige forbruket lå på ca 4000 m³, men kunne ligge opp mot 8000 m³ i enkelte år. I denne tiden tok Vegvesenet ca 10 % av det årlige forbruket av XPS i bygningssektoren.

Ekspandert leire og skumglass-granulat

Ekspandert leire, lettklinker (handelsnavn er for eksempel Leca) er en del benyttet i vegkonstruksjoner, mest som lett fylling, men også som frostsikringslag.

Skumglassgranulat produseres av returglass som i en industriell prosess males opp og tilsettes ekspansjonsmiddel og varmes opp (smeltes) slik at det får en «luftig» struktur som beholdes når materialet avkjøles. Materialet bryter da opp til et granulat med karakteristisk størrelse ca. 10-50 mm og karakteristisk tørr, løs romvekt på ca. 180-225 kg/m³. Granulatet håndteres som en «løsmasse» (ligner pukk i form og utseende, men er mye lettere) og legges ut med hjulaster, gravemaskin eller vegghevel.

Skumglass-plater

Plater av skumglass er tidligere noe benyttet til frostsikring av brufundamenter, men er i dag lite aktuelt pga. relativt høye materialkostnader. Skumglassplater har vært regnet for å ha svært gode egenskaper mht. oppfukning på grunn av den lukkede cellestrukturen, dvs. at de bevarer sine isolasjonsegenskaper over lang tid.

Andre materialer (EPS)

Bruk av ekspandert polystyren (EPS) til frostsikring av vegkonstruksjoner har vært meget begrenset. (Bruk av

EPS til lette fyllinger, derimot, har vært omfattende.) Den begrensede bruken av EPS til frostsikring for vegkonstruksjoner skyldes i hovedsak at EPS (sammenlignet med XPS) har betydelig dårligere egenskaper mht. fuktopptak, som reduserer isolasjonsevnen. Vegnormalene har tidligere hatt «åpning» for å bruke EPS, med tykkelsesfaktor 1,2 i forhold til XPS og krav om minstetykkelse 120 mm (for XPS: 45 mm). I praksis har dette betydd at EPS ikke er blitt benyttet.

ERFARINGER

Oppbygning (bæreevne)

I de tilfeller hvor isolasjonslaget består av «myke materialer» som skumplast og bark har den bæreevne-messige siden vært vesentlig å ta vare på. Selv om disse materialene har svært lave E-verdier har det likevel i praksis vist seg mulig å ta vare på vegens bæreevne. Når det likevel har vært slik at de plateisolerte vegene ofte ikke har oppnådd en bedre dekkelevetid enn ikke-isolerte vegger, så skyldes det flere forhold:

- at platene er ødelagt (overbelastet) i anleggsperioden
- at bærelaget over platene avviker fra kvalitetskravene, for eksempel ved for høyt finstoffinnhold, eller avvik i kornkurven.

Det har vist seg at en tradisjonelt oppbygd veg kan tåle mindre kvalitetsavvik i bærelaget uten at det får dramatiske konsekvenser for vegens dekkelevetid. For en isolert veg kan derimot små avvik ha store konsekvenser. Hvorfor det er slik vet vi ikke, men det kan ha sammenheng med at det burde stilles større krav til vannømfintlighet for bærelagsmaterialer over isolasjonsplater fordi platene ikke er drenerende.

Ising

Introduksjonen av et isolerende lag i en vegkonstruksjon har i mange tilfeller ført til at vegoverflaten har blitt glatt oftere eller til andre tider enn tradisjonelt oppbygde vegger. I vegnormalene /8/ er isingsproblemet tatt vare på ved at det er gitt krav til tykkelsen av materiallagene over isolasjonslaget. For å unngå ising er det er dessuten anbefalt at lagene over isolasjonslaget inneholder en del finstoff, som er i stand til å holde på vannet, men ikke så mye finstoff at materialet blir telefarlig eller vannømfintlig.

Den fuktigheten som ligger mellom vegdekket og isolasjonslaget vil bidra til å skape et varmemagasin som kan bremse nedkjølingen av vegoverflaten. I andre land har det vært mye fokus på minimumsdybder for isolasjonslaget, men stor dybde er slett ingen garanti for å unngå ising. Et høyt fuktinnhold er av minst like stor betydning, og jo høyere opp jo bedre.

MULIGE UTVIKLINGSTREKK

Kravet til frostsikring

I forbindelse med arbeidet med de nye vegnormalene (2005, ref. /8/) ble det foretatt en vurdering av lønnsomheten ved frostsikring. Her vurderte man

- merkostnadene for frostsikringen
- økt dekkelevetid
- hvordan driftskostnadene påvirkes
- transportørenes gevinst

Selv uten å legge inn drifts- og vegbrukergevinster ble resultatet at en veg med ÅDT 2000 ville komme i balanse etter 30 år. Med drifts- og vegbrukergevinsten bygget inn er det åpenbare gevinster.

Det er sannsynlig at framtidige vegnormalers krav til frostsikring av nye veger vil øke, både med bakgrunn i økonomien for vegeier og fordi vegbrukerne vil stille større krav til kjørekraft.

Nye frostsikringsmaterialer

Det må forventes at steinmaterialer (knust stein) fremdeles vil være tilgjengelig på nye veger der linjeføringen er stiv. Ved en fornuftig utnyttelse av steinmaterialer til oppbygning av vegfundamentet vil man ikke bare få en rimelig frostsikring, men også en god og varig frostsikring med lite problemer.

De anleggstekniske problemer som bruken av XPS har medført, for eksempel ved at platene er overbelastet i anleggsperioden uten at dette er rettet opp, har ført til en redusert bruk av frostsikring med XPS, og en må vente at bruken ikke vil ta seg opp med det første.

Nye materialer i form av granulat av skumglass og lettklinker («Leca») - og som egentlig ikke er så nye - har på grunn av bl.a. pris- og produksjonsteknikk blitt mer aktuelle i løpet av 1990-tallet. Materialene er anleggsteknisk mer håndterlige enn XPS og med konkurransedyktige priser er det muligheter for en markert økt bruk av disse materialene.

AKTUELLE FoU-OPPGAVER

Noen aktuelle FoU-oppgaver er antydnet under:

- praktisk bruk av AASHTO 2002 eller andre dimensjoneringsverktøy (som tar visse hensyn til temperatur- og klimaforhold)
- oppfølging av strekninger med ulike frostsikringsmaterialer for å se hvor effektive de er under samme feltforhold (klima, undergrunn)
- erfaringer med bruk av armering for å hindre telesprekker (og ev redusere telehiv)
- en undersøkelse av hvordan isingsproblemet kan reduseres på frostsikrede veger – en vurdering av effekten av isolasjonslagets dybde vs fuktinnhold i overliggende materialer
- bruk av georadar til å måle dielektrisitetetskonstant, for å kartlegge partier med eller potensiale for islinsdannelse (teleløfting)
- undersøke frostnedtrengningen i ulike steinmaterialer, også sprengt stein
- vurdere alternative parametere for å karakterisere telefarlighet av materialer (er plastisitet en aktuell parameter?)
- undersøke vegens (dekkets) tilstand – spor, jevnhet, tverrfall – til ulike årstider, for å kartlegge partier med telehiving
- «frostsikring» gjennom homogenisering av undergrunnen
- bruk av frostsikring på «forsterket undergrunn»

REFERANSER

- /1/ Skogseid, Anders. *Telesikring med isoleringsmaterialer*. Publikasjon nr 35 fra Veglaboratoriet, Vegdirektoratet, Oslo, 1968
- /2/ Skaven-Haug, Sverre. Dimensjonering av frostfundamenter. Frysevarme og jordvarme. Frost i Jord nr. 3, Oslo, 1971
- /3/ Ruistuen, Hans. Kostnader ved frostsikring av veger. Frost i Jord nr 4, Oslo, 1971
- /4/ Knutson, Åsmund. Dimensjonering av veger med frostakkumulerende barklag. Frost i Jord nr. 7, Oslo, 1972
- /5/ Refsdal, Geir. The Use of Thermal Insulating Materials in Highway Engineering (Results from Norwegian Test Roads), Frost i Jord nr. 9, Oslo, 1973
- /6/ Refsdal, Geir. Thermal design of frost proof pavements. Publikasjon nr 53 fra Veglaboratoriet, Vegdirektoratet, Oslo, 1981
- /7/ Sætersdal, Reidar. Prediction of frost heave of roads. Publikasjon nr 55 fra Veglaboratoriet, Vegdirektoratet, Oslo, 1983
- /8/ Normaler for vegbygging. Håndbok 018, Statens vegvesen, Oslo, 2005.
- /9/ Knutson, Åsmund; Hanssen, Per Konow; Senneset, Jan Inge; Henjesand, Geir. Kjellstadvegen. 30 år erfaring med bruk av ulike isolasjonsmaterialer. Intern rapport nr. 1986 fra Veglaboratoriet, Vegdirektoratet. Oslo, 1997

Frosttekniske problemer i norske vegtunneler

Frost problems in Norwegian road tunnels

Knut Borge Pedersen, Vegdirektoratet (knut.pedersen@vegvesen.no)

Summary

There are more than 1000 road tunnels in Norway. A large proportion of them are situated in areas with severe frost. Problems invariably arise in that part of the tunnel's frost zone where the water leaks do not freeze dry. The formation of ice along walls and ditches often blocks drainage, water spills onto the road where it freezes. Driving becomes hazardous and maintenance more difficult. -- In dry, smooth rock frost rarely causes any damage. Near tunnel openings, where the change in temperature can be considerable, unfavourable freezing and thawing processes occur. -- When water freezes it expands about 9% and this can in turn cause increase in the size of cracks and joints. -- The temperature inside a tunnel is governed by the supply of sun energy, primarily as heat conduction and convection between the air flow and the rock surface. The interaction of all these factors is complicated and hardly ever in a static equilibrium. - In an unlined tunnel the rock has the effect of reducing fluctuations of temperature, whereas the temperature in tunnels with insulated panels will have larger variations because heat exchange is prevented between air and rock. -- New digital mapping systems based on drill monitoring data gives detailed characterization of the rock mass. To obtain a successful water sealing by injection the information about rock fracturing is necessary. -- The maintenance of road tunnels in densely populated area causes considerably cost and in many cases obstruction in traffic flow. Methods that provide information on the present condition of traffic structures non-destructively and economically are of great interest. New equipment like ground penetrating radar (GPR) can deliver useful information.

Bakgrunn

Vi har i dag over 1000 vegtunneler i Norge. Disse ligger i ulike klimasoner. Store forskjeller i årsmiddel-

temperatur og temperatursvingninger om vinteren (vinteramplitude) mellom landsdelene vanskeliggjør direkte sammenligninger.

Temperaturen i jordoverflaten styres av tilgangen på solenergi og av varmevekslingen med atmosfæren. Feltnmålinger av klimaets virkning på veg og frimark viser at denne varmeomsetningen gir årstidsvarierende temperaturavvik mellom overflate og luft. Om vinteren når vi har liten soloppvarming forårsaker strålingstapet til atmosfæren at snøfrie overflater kan bli 2-3 °C kaldere enn lufta, og det lokale frostklimaet blir ugunstig forsterket.

Inne i en vegtunnel er strålingsklimaet neglisjerbart, men den konvektive varmeovergangen mellom berg og luft har betydning. Effektene som følger med langbølget varmeutstråling ute i friluft vil ikke forekomme i en vegtunnel som f. eks. rim og isdannelse på isolerte vegkonstruksjoner. Derimot vil man i tunnelens frostsoner få store problemer med isdannelse i tak, vegg og på kjørebane der man har vannsig og drypp.

Selve frostinntrengningen i vegtunneler klassifiseres etter dens karakteristiske frostprofil. Man kan da dele inn i fire hovedgrupper:

- Horisontale tunneler
- Tunneler med stigning
- Undersjøiske tunneler
- Høytrafikk-tunneler med mekanisk ventilasjon i trafikkretningen

Tunnelens frostsoner hvor man har lekkasjer

For å unngå trafikkfare forbundet med isdannelse på kjørebane må en avskjerme kjørebane med isolerte hvelv eller foreta vanntett utstøpning. I de tre siste årene har injeksjonsteknikken blitt så forbedret at den siste metoden også er aktuell. Statens vegvesen har gjennom lengre tid brukt betydelige midler til ut-



Montering av isolerte betongelementer for vann- og frostsikring

vikling av nye metoder og konstruksjoner for å løse disse problemene.

På grunn av stadig strengere krav til brannsikkerhet videreutvikles gamle og nye konsepter for å møte det nye regelverket. Det populære isolasjonsmaterialet PE-skum (polyetylenskum) skal fases ut om få år, og nye produkter vil overta.

Sikring av berget mot nedfall blir i Norge i alt vesentlig utført med sprøytebetong og bergbolter. Det frostisolerte hvelvet er dimensjonert etter F10 (frostmengde som statistisk overskrides en gang i 10 års perioden). Dette medfører at man i riktig kalde vintre vil få frost bak det isolerte hvelvet. Den relative fuktigheten bak slike avskjerminger er meget høy. Hvorledes dette vil påvirke levetiden på sprøytebetongen i de fuktige partiene er usikkert.

Når man bruker sprøytebetong til bergsikring i andre land i Europa er det som oftest snakk om 15-20 cm tykkelser fordi man normalt armerer konstruksjonene. Krav til armeringsoverdekning ligger på minimum 6 cm. I Norge er det bare unntaksvis at man bruker sprøytebetonglag over 10 cm, og armering i form av stenger brukes bare i sprøytede buer.

De undersøkelser som er gjort på sprøytebetongens frostbestandighet i våre vegtunneler viser stor spredning. Man får ofte for lav luftporeprosent (< 3 %) i det ferdige påsprøytede produktet. Usikkerhet i forbindelse med frost får man i kontaktflaten mot berg der man har mye vann. Problemet er trolig størst der bergartene har mineraler som medfører dårlig heft som f. eks. i leirskifer og glimmerskifer. Det ideelle mål er at sprøytebetongen skal ha god heftfasthet til underlaget slik at viktige egenskaper som kileeffekt og hvelvirkning ikke svekkes over tid.

I de senere årene har man utviklet flere varianter av sprøytebetong. Å sprøyte et lett dreneringslag i de fuktige partiene, forsegle dette med en sprøytebetong membranløsning og til slutt isolere med en lettbetong burde være mulig. Våre bergarter har varmeledningstall i området 2-3 W/(m·K), mens lettbetongene ligger i området 0,2-0,25 W/(m·K). Et 20 cm tykt lettbetonglag vil klare en frostmengde på 10 000 h °C. Dette frostregimet dekker de fleste av våre kystnære områder i region øst, sør og vest.

Tunnelens frostsone hvor det nesten er tørt

Undersøkelser i andre «tunnelland» som f. eks. Japan har vist at frostforvitring skjer i bergarter selv med meget lav porøsitet. Forsøk med en 1 millimeter tykk sprekk mett med vann viste at det kan produseres et volumetrisk trykk på opptil 11 bar når vannet fryser. Målinger av temperaturvariasjoner innover i berget har også vist at døgnvariasjonene lar seg registrere inntil 40 cm fra overflaten. Vannførende sprekker med slike dyp under bergoverflaten kan derfor produsere betydelige belastninger langs tunnelperiferien.

Etter hvert som vi har økt salvelengden påfører dette berget større påkjenninger. Man får ofte mer sprekker i konturen som gjør at eventuelle lekkasjer sprer seg over større områder. Fare for en kumulativ utvikling av det volumetriske trykket ved frysing av vann i tett oppsprukket berg er derfor til stede. En videreutvikling av skånsomme sprengningsmetoder er derfor ønskelig.

I grunt liggende tunneler (< 50 m) kan fuktige partier om vinteren bli tørre i sommerhalvåret. Dette gjør at en lekkasjekartlegging om sommeren ikke vil være representativ for vinteren. I slike tunneler blir lekkasjer lett «oversett» og gjentatte fryse-tinesyklus kan over tid medføre steinsprang.

Små lekkasjer som fryser tørre om vinteren blir i lavtrafikk-tunneler ofte nedprioritert når man foretar frostsikring. Isdannelse i sprekkestrukturer med ugunstig fall mot tunnelaksen kan medføre steinsprang og ras etter noen år.

Nede i tunnelveggen blir ofte sprøytebetonglaget noe tynt. Har man i tillegg boltet for lite kan både frostsprengning og leirinfiserte sprekker (svelleleire) bli mobilisert og initiere blokkutfall relativt få måneder etter at tunnelen er ferdigsprengt.

Viktige utviklingstrekk

I de siste fire årene har flere firmaer utviklet digitale loggingssystemer som kan monteres på bergbormaskiner. Disse systemene logger bergmassens hardhet, oppsprekning samt vannmengden i sprekkesystemene. Ved tunnelanlegg i urbane strøk har man hatt god nytte av slik kartlegging spesielt for planlegging av injeksjonsarbeidene foran stuff. Denne dokumentasjonen er også verdifull i ettertid når anleggets sluttrapport skal skrives. Man håper på å videreutvikle systemene slik at de geotekniske undersøkelsesriggene også kan logge bergmassekvaliteten samt vannmengden i sprekkesystemene. Dette vil forenkle arbeidene på planstadiet, ikke minst med de kostnadsstunge prosessene som omhandler vann- og frostsikring.

For å kunne estimere en konstruksjons levetid er det nødvendig å ha gode kunnskaper om dens tekniske egenskaper. I en vegtunnel vil trafikkpåkjenningen og temperaturregimet være viktige miljøbelastninger på de ulike installasjonene. Med stadig bedre dataverktøy er mulighetene i dag bedre enn noensinne for å kunne måle de termiske belastningene på f. eks. vann- og frostsikringskonstruksjoner.

Man har i utlandet også tatt i bruk CT-teknikk (røntgenundersøkelse) for å kartlegge den tekniske tilstanden i trafikk tunneler. Dette har vist seg å være et godt hjelpemiddel for kartlegging av potensiell rasfare i forbindelse med frostsprengning. Teknologien egner seg også godt til kvalitetssikring og dokumentasjon av konstruksjoners levetid.

Injeksjonsteknologien har fremdeles et stort forbedringspotensial. Nye finmalte stabile suspensjoner av mikrosement gjør det mulig å få berget nesten helt tett. Selv de mest vanskelige bergartene som leirskifer og fyllitter lar seg tette. En annen effekt man oppnår med forinjeksjon er en forbedring av bergmasseparametrene. God oppfølging med nødvendig datainnsamling på utvalgte anlegg er nødvendig for at man skal kunne dra full nytte av den nye teknologien.

Frostsikring av konstruksjoner på vegnettet

Frost protection of structures in the road network

Olav Grindland, Vegdirektoratet, Teknologivdelingen (olav.grindland@vegvesen.no)

Summary

The performance of structures on the road network is monitored through the Bridge management system. The system comprises more than 16 000 structures of various kinds. The inspection shows that damages due to frost in ground rarely occur. It has been an almost non-existent problem on structures built after 1970. This positive result is probably due to the available Norwegian publications on frost protection as well as detailed specifications and guidelines on design and construction issued by the Norwegian Public Roads Administration.

Innledning

Først, med konstruksjoner forstås i denne sammenheng alle typer bruer, kulverter og rør i fylling. Videre større støttemurer, skredoverbygg, tunnelportaler og miljøportal. Erfaringene gjelder konstruksjoner i tilknytning til riks- eller fylkesveg.

Problemer med sesongmessig frost oppstår når vi har teleømfintlige masser innenfor frostfri dybde nær eller inntil konstruksjonselementer. Landkarsåler, pilarsåler, støttemurer på teleømfintlige masser er typiske eksempler med potensiale for skader. Likeledes teleømfintlig bakfyllmasse i forbindelse med støttemurer, landkarvinger med frontmur, rasoverbygg etc.

Resultatet av frost i teleømfintlige masser er setning, bevegelse, deformasjoner, eventuelt riss/sprekk eller brudd i selve konstruksjonselementet. Dette er skadetyper som kan registreres i BRUTUS, Statens vegvesens bruforvaltningssystem. I BRUTUS er det registrert ca. 10 600 konstruksjoner på riksveg og ca. 5 950 på fylkesveg med en samlet lengde på ca. 420 km og et areal på 3,7 mill m². Gjennomsnittsalderen er 34 år for riksvegbruer og 38 år for fylkesvegbruer.

Inspeksjon og registrering

Bruene inspiseres kort fortalt etter følgende system, (se Statens vegvesens Håndbok 147: Forvaltning, drift og vedlikehold av bruer for mer detaljer):

- Enkel inspeksjon, hvert år eller hvert 2. år avhengig av konstruksjonens kompleksitet. Inspeksjonen er visuell, uten bruk av tilkomstutstyr. Skader som kan ha konsekvens for bæreevne og trafikal sikkerhet registreres.
- Hovedinspeksjon, hvert 5. eller 10. år avhengig av konstruksjonens kompleksitet. Inspeksjonen er visuell, men med bruk av tilkomstutstyr slik at alle konstruksjonens flater i prinsippet kan nå på armlengdes avstand. Her er det unntaksregler for store, ensartede flater. Skader som kan ha konsekvens for bæreevne, trafikksikkerhet, framtidige vedlikeholdskostnader og estetiske forhold registreres.
- Spesialinspeksjon utløses av enkel- eller hovedinspeksjon ved behov for nærmere undersøkelse, prøvetaking, oppmåling etc.

Som skadeårsak kan frostangrep registreres kombinert med skadetype, se Håndbok 136 for detaljer.

Datasøk i BRUTUS, som inneholder inspeksjonsresultater fra 1996 og fram til i dag, viser at ingen bruer er registrert med skadeårsak: Frostangrep (skadeårsaknr. 51 i Håndbok 136) kombinert med skadetype setning, bevegelse, deformasjon, riss/sprekk eller brudd (skadetypernr. 11 til 15 i Håndbok 136). Årsaken til manglende treff på disse datasøkene er diskutert med bruvedlikeholdsmedarbeidere i noen regioner. Skadeårsak frostangrep vurderes som vanskelig å anslå med rimelig sikkerhet. Ved usikkerhet skal den da heller ikke registreres, ifølge regelverket. Den kan f.eks. lett forveksles med overvurdert bæreevne i grunnen, eller underdimensjonerte dimensjoner på såle. Det kan altså være en kombinasjon av flere årsaker.

Lite reparasjonsbehov

Frostskader før 1996 (da BRUTUS ble innført) er vanskelig å søke etter pga måten inspeksjonsdataene er lagret. Men inntrykket fra perioden er at en del bruer, spesielt bygd i perioden 1945 og fram til 1970, hadde fundamenteringsskader der skadeårsak kan være frost eller der frost er medskyldig. Andre mulige skadeårsaker kan som nevnt over være for små såledimensjoner. Det er sjelden satt i gang undersøkelser for å få sikrere konklusjon. Under reparasjon/ombygging er masser gjerne skiftet ut med god margin. Når arbeidene først var i gang kostet det lite å ta i litt. Krav om at trafikken skal gå mest mulig uhindret gjør at de trafikale kostnader dominerer for denne type arbeider.

Reparasjonsbehovet for denne «bru-generasjonen» avtok etter hvert og døde hen på midten av 1980-tallet. Siden har det stort sett vært sporadiske tilfeller med Isterfossen bru på Rv 26 i Engerdal som det siste, mer om det lenger ned. For konstruksjoner bygd i perioden 1970 til 1996 er inntrykket at skadehyppigheten kan sammenlignes med 1996 og fram til i dag, dvs. et nær ikke-eksisterende problem.

Kompetanseheving

Forklaringen på denne positive utviklingen er det nærliggende å tilkjenne satsningen som startet rundt 1970 på å gjøre kunnskapen om frost i jord mer tilgjengelig. Denne resulterte i 1976 i publikasjon nr. 17: Sikring mot teleskader, utarbeidet av Utvalg for frost i jord (NTNF og Statens vegvesen). Dimensjoneringsprinsipp og andre beskrivelser er videreført i Statens vegvesens håndbøker 016: Geoteknikk i vegbygging, 018: Vegbygging, 100: Bruhåndbok, 025: Prosesskode-1 og 026: Prosesskode-2.

Håndbøkene 184: Lastforskrifter for bruer og 185: Prosjekteringsregler for bruer er også viktige brikker i totalbildet mht. fundamentering av moderne brukonstruksjoner.

Bruk av geoteknisk kompetanse på bruprojektene er i dag regelen. Før et prosjekt kan godkjennes skal geotekniske vurderinger (rapport) foreligge. Før 1970, uten at det er et skarpt skille da, ble i hvert fall de mindre prosjektene noe mer tilfeldig behandlet mht. de geotekniske forholdene.

Eksempel – Isterfossen bru i Hedmark

Som eksempel på mulig frostskade har Isterfossen bru i Hedmark (bru nr. 04-0514) vært nevnt. Brua er en stålbjelkebru i 5 spenn med total lengde 113 m og ferdigbygd i 1962. De fire pilarene ute i elva er fundamentert på trepeler.

Landkarene ble refundamentert i 1997. Problemene med pilarene er sammensatt, men det er relativt store horisontale forskyvninger på pilarene nærmest landkar. Om vinteren er det normalt tørt land inn mot landkar mens fossen renner fritt på den andre siden, se figur 2 der nærmeste landkar er til høyre (utenfor bildet). Som det framgår av fotoet, som er tatt om vinteren, har brua trukket seg sammen mot fastlager på pilar lenger ute i fossen. Det skulle resultert i motsatt lagerhelning enn den på fotoet. En teori er at barfrostområdet mellom pilar og landkar presser pilaren horisontalt ut mot fossen. Planlegging av tiltak er nær forestående.



Figur 1: Isterfossen bru i Hedmark – forskyvning av pilar, måling av forskyvningens størrelse (Foto: Holger Lunde).

Konklusjon

Sesongmessig frost er relativt sett en sjelden forekommende skadeårsak på bruer og liknende konstruksjoner. Et skille mht. skadehyppighet anes rundt 1970. Skillet er lite markert, men det er der. Forarbeidene til publikasjon nr. 17 synes å sammenfalle med dette tidsskillet. Det samme gjelder oppbygging av geoteknisk kompetanse i etaten, både på daværende vegkontor og sentralt. Med andre ord: Kompetanse lønner seg.

Referanser

Statens vegvesen: *Forvaltning, drift og vedlikehold av bruer*. Håndbok 147. Vegdirektoratet, Oslo 1997.

Statens vegvesen: *Inspeksjonshåndbok for bruer*. Håndbok 136. Vegdirektoratet, Oslo 2000.

Statens vegvesen: *Geoteknikk i vegbygging*. Håndbok 016. Vegdirektoratet, Oslo 1992. (Under revisjon)

Statens vegvesen: *Vegbygging*. Håndbok 018. Vegdirektoratet, Oslo 2005.

Statens vegvesen: *Bruhåndbok*. Håndbok 100. Vegdirektoratet, Oslo 1993-2002. (Under revisjon, består av flere enkelthefter)

Statens vegvesen: *Prosesskode-1. Standard arbeidsbeskrivelse for vegarbeidsdrift: Hovedprosess 0-7, og 9*. Håndbok 025. Vegdirektoratet, Oslo 1994. (Under revisjon)

Statens vegvesen: *Prosesskode-2. Standard arbeidsbeskrivelse for bruer og kaier: Hovedprosess 8*. Håndbok 026. Vegdirektoratet, Oslo 1997. (Under revisjon)

Statens vegvesen: *Lastforskrifter for bruer og ferjekaier i det offentlige vegnett m/rettelser, endringer og tillegg, versjon 2001-1*. Håndbok 184. Vegdirektoratet, Oslo 1995 (Rettinger, endringer og tillegg 2001)

Statens vegvesen: *Prosjekteringsregler for bruer m/Rettelser, endringer og tillegg, versjon 2001-1 samt Tilleggsbestemmelser for prosjektering av aluminiumskonstruksjoner, 2001*. Håndbok 185. Vegdirektoratet, Oslo 1996. (Rettinger, endringer og tillegg 2001)

Sikring mot teleskader. Frost i Jord-prosjektets sluttrapport. Oslo 1976, 400 sider.



Figur 2: Isterfossen bru i Hedmark – forskyvning av pilar (Foto: Holger Lunde).

Frostsikring av husfundamenter og VA-ledninger i grunnen

Frost protection of foundations and water and sewage pipes

Per Gundersen, Norges Byggeforskningsinstitutt (NBI) (per.gundersen@byggforsk.no)

Summary

Slab-on-ground foundation

New national building codes, and extensive use of floor heating systems, are advancing the need for new design criteria for slab-on-ground foundations. Since most of the efforts have been concentrated to improve the insulation standard of the above grade building envelope, heat loss from the buildings via the ground has gained importance. To prevent cold floor surfaces is of great importance and will extensively improve the indoor climate. To be able to reduce heat loss from the floor slab to the ground, it is necessary to increase the insulation thickness and minimize thermal bridges, particularly between the wall/floor junctions.

Heat loss from slab-on-ground, and necessary measures to prevent frost problems, are linked intrinsically together. Thick slab insulation and ring-wall insulation will naturally only supply the ground with a small amount of heat from the floor to prevent frost penetration through or underneath the ring-wall. The resulting low temperatures can cause frost heave in susceptible ground, and in general frost problems for the water supply pipes situated inside the ring wall. As a result low ground temperatures will lower the surface floor temperature near the building perimeter. In frost-susceptible ground we cannot accept frost penetration beneath the ring-wall foundation. But in general we cannot allow frost penetration through the foundation ring-wall because this can freeze water and sewage pipes inside the ring-wall. In general, ground materials are not homogeneous but consist of a mixture of different materials with different thermal and physical properties. In periods with high rain intensity or melting snow it is rather common to allow surface water to percolate through the macadam layer beneath the slab insula-

tion. This will cool down the ground materials beneath shallow foundations. It is therefore difficult to predict with any confidence the thermal properties of the soil materials. This certainly has to be taken into account under developing of new simplified calculation methods.

The new European Standard for calculating heat transfer via the ground and frost protection for shallow foundations (EN ISO 13370 and EN ISO 13793) does not fully take into account thermal bridging problems, nor does it address frost protection related issues with low heat losses or the coupling between soil heat and moisture transfer. Measures that prevent frost problems, for instance a horizontal insulation layer, will also influence the heat loss. The frost insulation must also be sufficient to prevent frost penetration during periods with three days design temperature.

Some topics that need further investigations:

- develop new design criteria for frost protection on the basis of climatic changes
- find realistic coupling between ground materials, climatic load, heat losses and frost protection (computer simulation and field measurements)
- long time durability for new isolation materials in the ground
- frost problems related to local handling of rain water
- characteristic data for physical and thermal properties of different ground materials
- develop simplified methods for frost protection and heat loss calculations

Frost protection of water supply and sewage systems in shallow trenches

During the period from the Frost Action in Soil-project terminated in 1976 and up to the present situation a

lot of water and sewer pipes have been frost protected in shallow trenches. The normal method to protect water and sewer mains against frost is to put a horizontal insulation board above the pipes. Small service pipes are normally placed in an insulation box. These shallow trenches also serve as trenches for electrical cables, district heat supply and storage for rain water. The performance of this frost protection method is good, but the design engineers still find the method rather complex. On the basis of the positive experience during all these years it is now time to simplify the calculation methods and design. It is also need for more prefabrication and simplified manhole constructions. Topics concerning frost problems that need further investigation are common with slab-on-ground constructions, see above.

STATUS OG BEHOV FOR NY FORSKNING PÅ OMRÅDET BYGNINGSTEKNISKE KONSTRUKSJONER I GRUNNEN

Vi vil i denne sammenhengen begrense vurderingene til frosttekniske forhold som har tilknytning til bygningstekniske konstruksjoner i grunnen.

Varmetap, frostsikring og nye EU-standarder

Etter Frost i Jord perioden som ble avsluttet i 1976, har det skjedd endringer både når det gjelder klimagrunnlag og bygningsmessige forhold. I dag stilles det vesentlige større krav til bygningers varmetap for å sikre et lavt energibehov. Det har for eksempel gitt utslag når det gjelder gulvisolasjonen for gulv på grunnen, som har økt fra 50 mm i Frost i Jord-perioden til over 200 mm i dag. Under Frost i Jord-perioden var et av de viktigste kriteriene å unngå telehiv på grunt forlagte ringmurer. Det ble da gjennomført et pionérearbeid som har resultert i at man har unngått en rekke alvorlige bygningsskader. I dag er det primære målet å sikre et lavt varmetap og dermed oppnå høyest mulige gulvtemperaturer i randsonen. Dette fører til at dagens fundamentkonstruksjoner er blitt vesentlig mer følsomme for frost. Samtidig er det innført en rekke nye EU-standarder som også berører frosttekniske forhold. Som beregningsgrunnlag for dimensjonering av nødvendige frostsikringstiltak er disse standardene basert på en lineær oppskalering av tidligere utførte frostberegninger. Dette er en høyst tvilsom metode da frost i grunnen påvirkes av en rekke ikke-lineære forhold som igjen har tilknytning til endringer både i klima og grunnens egenskaper. Det

har derfor vært nødvendig å starte opp med et omfattende beregningsarbeid basert på nye grunnlagsdata både når det gjelder isolasjonsstandarder og klimaforhold. [1] Det er også nødvendig å revurdere det kriteriegrunnlaget som tradisjonelt benyttes når det gjelder å fastslå om en ringmurkonstruksjon er frostsikker eller ikke, også er tilfredsstillende med dagens utførelser.

Klimaendringer og frostsikring

Under Frost i Jord-perioden ble det foretatt endel vurdering av telehivets størrelse. Dette var data delvis basert på erfaringer, men det ble også gjennomført enkle forsøk. Dette arbeidet er det viktig å få videreført for å få en bedre forståelse av hvorfor telehiv oppstår, størrelsen av telehivet i de øvre jordlag og hvordan dette påvirkes av endringer i klimaforholdene.

Et stadig økende antall observasjoner gir ifølge FNs klimapanel et samlet bilde av en global oppvarming og andre endringer i klimasystemet. Ifølge scenarier for klimautvikling ved en global oppvarming, beregnet i forskningsprosjektet RegClim, vil vi oppleve større variasjoner i Norges klima de neste tiårene. Mange steder vil intens nedbør komme oftere, det blir mindre nedbør i form av snø over det meste av landet, og risikoen for sterk vind, høye bølger og stormflo øker. Slike klimaendringer vil kunne påvirke utførelsen av konstruksjoner i grunnen.

Klimagrunnlag

For å ha en enkel klimareferanse til dimensjoneringsformål, ble det i Frost i Jord-perioden vesentlig brukt *frostmengde* med ulikt gjentaksintervall. Dette var verdier som var basert på temperaturobservasjoner og var dermed enkle å få tak i. Spørsmålet i dag er om ikke dette er et for primitivt klimagrunnlag når det gjelder frostsikringsberegninger av grunne fundamenter. Dagens «gulv på grunn»-løsninger med ringmur og betydelig tykkelse på gulvisolasjonen, vil være særlig frostutstatte under kortere perioder med lave temperaturer. Dette vil kunne føre til frostgjennomslag av ringmuren som igjen kan føre til frost i bunnledninger. Frostproblematikken vil derfor ikke bare begrenses til telehiv i telefarlig grunn, men vil også kunne inntreffe i fjellgrunn. Det er derfor nødvendig å se på andre klimareferanser enn frostmengde som dimensjoneringsgrunnlag der man også tar hensyn til hurtigere svingninger i utetemperaturer.

Et annet forhold som også krever nærmere analyse er hvilke konsekvenser store og hyppige svingninger i temperatur og nedbør med stor intensitet har på grunnens termiske og fysiske egenskaper. Dette vil både påvirke temperaturforholdene i grunnen og skape problemer når nedbøren kommer på frosset mark. Større nedbørmengder vil også kunne kreve økt bruk av mer permeable materialer i grunnen for å unngå fuktskader på bygningskonstruksjoner i grunnen. Disse forhold vil ha betydning for fundamentets frostsikring og for gulvets varmetap til grunnen.

Simuleringsmodeller for bestemmelse av varmetap og frostsikring

I dag finnes det en rekke avanserte ikke-stasjonære dataprogram som fastlegger temperaturen i grunnen basert på ren varmeledning. Da fuktpåkjenningen på grunnen har økt på grunn av økt regnintensitet, vil en økt vannføring og endringer av grunnvannstanden kunne påvirke temperaturforholdene i grunnen. Klimabelastningen på grunnen er derfor en kombinasjon av temperatur og nedbør. Det vil derfor i mange sammenhenger være direkte galt å regne med at temperatursvingninger i grunnen vesentlig vil være basert på varmeledning som alene skyldes svingninger i lufttemperaturen.

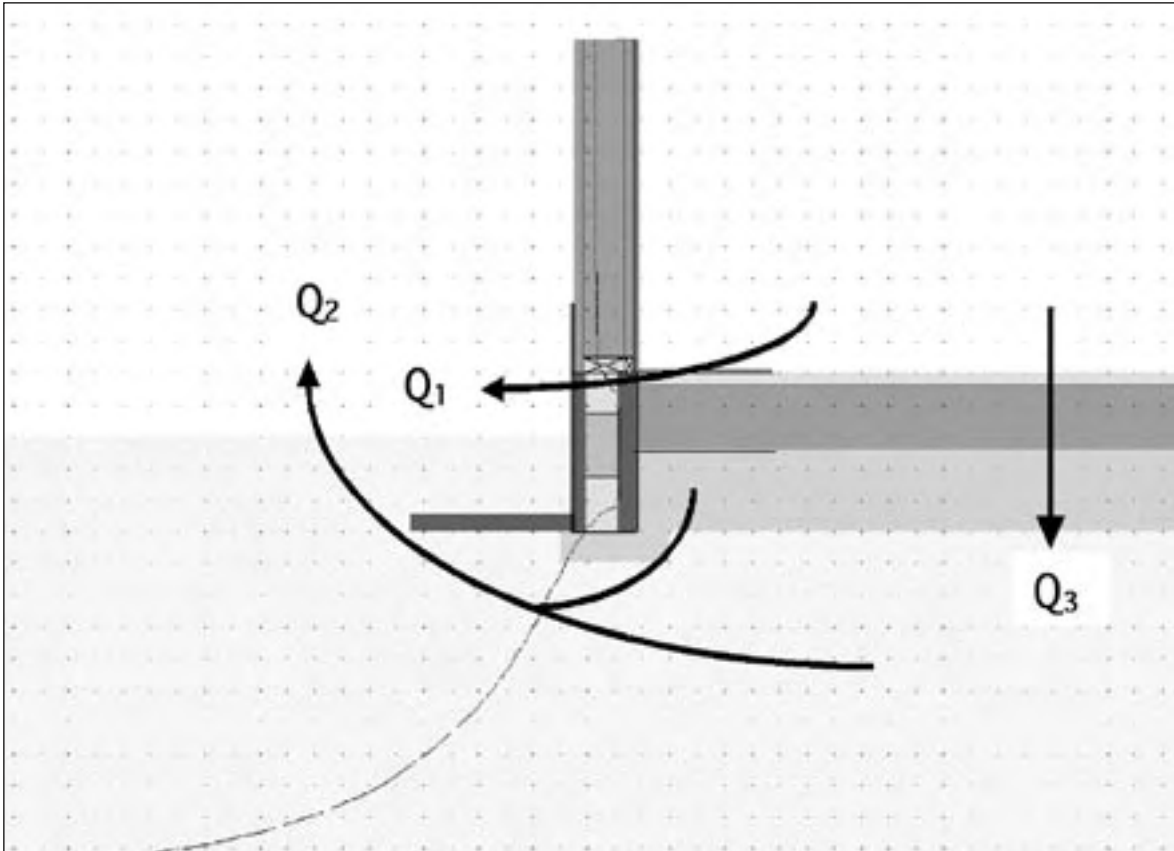
Isolasjonsmaterialer i grunnen med sammensatte egenskaper

Et vesentlig gjennombrudd når det gjaldt frostsikring var bruk av ekstrudert polystyren isolasjon, som tålte å ligge i grunnen uten vesentlig fuktopptak og dermed på sikt kunne opprettholde isolasjonsegenskapene. Bruk av lette, tørre isolasjonsmaterialer er stadig bærebjelken i dagens frostsikringstiltak, men det finnes også en rekke andre interessante materialer med mer sammensatte egenskaper. Dette kan for eksempel være lettklinker-materialer eller skumglassgranulat som i tillegg til isolerende egenskaper også er drenerende. Det finnes også ulike utførelser for konstruksjoner i grunnen der man ønsker å kombinere drenerende og varmeisolerende materialegenskaper. Det er derfor viktig å få bedre kunnskap om langtidsegenskapene for disse materialtypene og konstruksjonene. Dette er nødvendig for fastlegge dimensjonsgrunnlaget for hvordan disse materialene kan utnyttes til å frostsikre grunne bygningsfundamenter og samtidig redusere

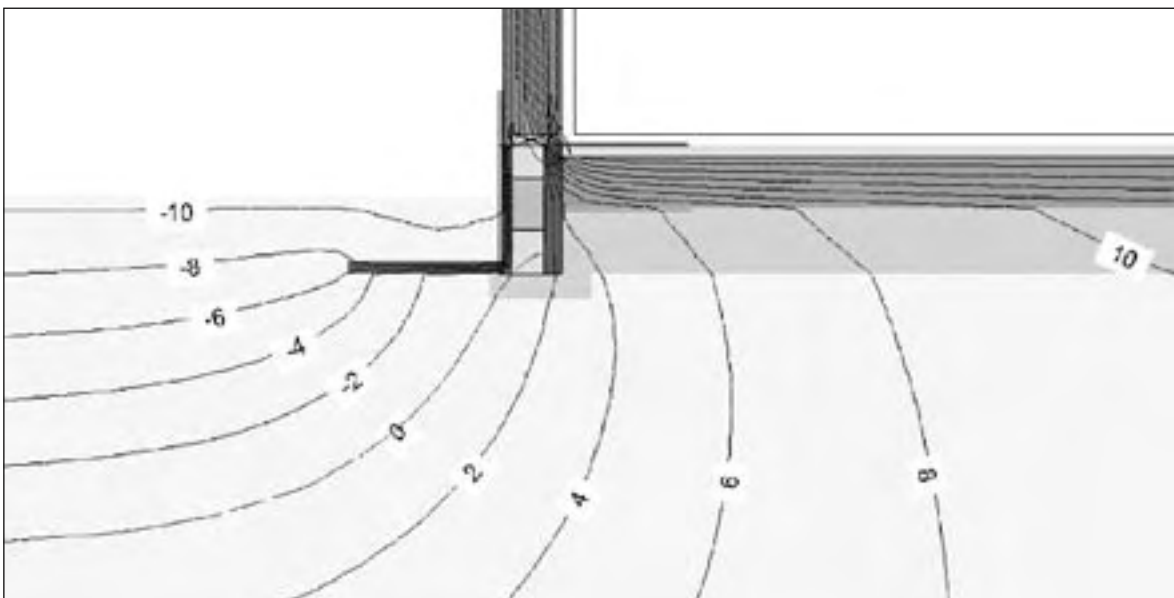
gulvets varmetap. Det er generelt et stort behov for videre analyser av ulike materials fysiske og termiske langtidsegenskaper i grunnen.

Oppsummering av viktige problemstillinger som krever økt forskningsinnsats:

- Korrigere klimagrunnlaget (overgang til ny normalperiode) for frostsikring av bygningsfundamenter. Dette omfatter også sammenhengen mellom nedbør og temperatur.
- Undersøke nærmere om tradisjonelle kriterier for frostsikkerhet også gjelder for dagens konstruksjoner med vesentlig endrede forutsetninger.
- Kartlegge sammenhengen mellom klimabelastning, grunnmaterialer, varmetap og frostsikkerhet.
- Utvikle brukervennlig simuleringsverktøy for å fastlegge temperaturer i grunnen der det i tillegg til varmeledning tas hensyn til intern konveksjon, endringer i grunnvannstanden og vannføring i porøse materialer.
- Undersøke nye og mer tradisjonelle isolasjonsmaterialers fysiske og termiske langtidsegenskaper både i frosset og ufrosset tilstand.
- Undersøke ulike grunnmaterialers evne til infiltrasjon av overflatevann i frosset tilstand ved hurtige temperatursvingninger under vinterforhold.
- Utrede muligheter for og konsekvenser av – både når det gjelder frost, stabilitet og temperaturforhold – å utnytte byggegrunnen til mer aktiv lagring av overvann. Dette er ønskelig for å kunne motvirke uheldige virkninger av en stadig økning av tette overflater.
- Utrede hvilken innflytelse økt bruk av gulvvarme har på frost-, temperatur- og fuktforholdene i grunnen.
- Undersøke frostsikkerhet av kalde konstruksjoner (f.eks. garasjeanlegg) som ofte fundamenteres under grunnvannstanden.
- Utrede ulike tiltak for å hindre frostsikringer ved fundamenteringsarbeider vinterstid.



Figur 1: Vesentlige varmestrømsbaner for gulv på grunnen med inntegning av frostgrensen under dimensjonerende forhold. Markisolasjon og tykk ringmurusulasjon, spesielt i ringmurtoppen, er nødvendig for frostsikring og samtidig for å unngå lave gulvtemperaturer i randsonen.



Figur 2: Temperaturforholdene i grunnen under dimensjonerende forhold (Oslo-klima). Med bruk av markisolasjon unngår man frost under fundamentet og reduserer samtidig gulvets varmetap i randsonen.

STATUS OG BEHOV FOR NY FORSKNING PÅ OMRÅDET FROSTSIKRING AV VA-LEDNINGER I GRUNNEN.

Grunnlag

VA-ledninger i grunnen omfatter vann-, overvann- og avløpsledninger med tilhørende armaturer, kummer, etc. For vannledninger vil frostsikringen omfatte hele ledningsnettets fra vannkilden, hoved- og sekundærnett og stikkledningene. De ulike kategorier vannledninger har høyst forskjellige egenskaper og krever derfor spesielle frostsikrings tiltak. I Frost i Jord-perioden, som ble avsluttet i 1976, ble det teoretiske grunnlaget lagt for å kunne dimensjonere grunt forlagte og ulike ledningstyper mot frost. Frostsikring i denne sammenhengen er tiltak for å forhindre frost i ledningsnettets eller at ledningene utsettes for telehiv eller frostrelaterte tilleggsbelastninger som kan føre til ledningsbrudd. For å gjøre det mulig å dimensjonere frostsikringstiltakene var det nødvendig å legge visse forutsetninger til grunn for beregningene. Disse forutsetningene ble valgt delvis etter skjønn og erfaringer fra forsøksanlegg utført i Frost i Jord-perioden. Med basis i dette dimensjoneringsgrunnlaget ble det etter Frost i Jord-perioden gjennomført en rekke større utbyggingsprosjekter over hele landet med bruk av grunne ledninger. Man har derfor i dag et godt grunnlag for å evaluere dimensjoneringsgrunnlaget og er dermed i stand til å kunne foreta vesentlige forenklinger både av frostdimensjoneringen og utførelsen. En forenkling av dimensjoneringsgrunnlaget vil gjøre det lettere å vurdere alternative frostsikringsmetoder og vil samtidig fjerne den usikkerheten og skepsisen man alltid vil ha til nye utførelsesmetoder.

«Lett kommunalteknikk»

På bakgrunn av det grunnlaget som ble lagt i Frost i Jord-perioden ble det utviklet systemløsninger for rasjonell fremføring av infrastruktur i utbyggingsområder, en teknologi som ble kaldt «Lett kommunalteknikk». I tillegg til frostsikringstiltak for VA-ledninger omfattet dette lokal håndtering av overvann, samordning av tekniske anlegg i fellesgrøfter, utarbeidelse av rasjonelle bebyggelsesplaner med veier og traséer for tekniske anlegg, etc. Erfaringer fra disse prosjektene har vært at man ved hjelp av

frostsikringstiltak for VA-ledningene som ikke binder opp leggedybden, kan oppnå vesentlig sekundære fordeler både av kostnadmessig og miljømessig art. Dette kan åpne for bruk av fellesgrøfter for alle tekniske anlegg som kan gi reduserte inngrep i naturen, frigjøre veier for tekniske anlegg slik at man kan stå friere til å velge gunstige veitraseer, osv. Bruk av «Lett kommunalteknikk» krever imidlertid tverrfaglig spesialkompetanse som i mange tilfeller vil kunne utgjøre en flaskehals i planleggingsfasen når det gjelder å sikre en mer miljøvennlig utbygging. Ved innføring av nye dimensjoneringskriterier, frostsikringsmetoder og materialer bør det ligge et stort potensial i ytterligere forbedringer som vil kunne bidra vesentlig til å redusere utbyggingskostnader og terrenginngrep.

Dagens situasjon

I dagens situasjon med mange og relativt små byggefelt vil isolasjon vesentlig bli brukt i de tilfellene der man av en eller annen grunn ikke oppnår frostsikker dybde. De frostsikringstiltakene som da tas i bruk vil ofte være tilfeldige og basert på skjønn og vil ofte resultere i en betydelig overdimensjonering. På bakgrunn av de erfaringer som er gjort med tidligere anlegg vil det være mulig å gi enkle retningslinjer for hvordan man skal utføre denne frostsikringen. Man disponerer også i dag vesentlig bedre beregningsverktøy og datakraft enn tilfellet var under Frost i Jord-perioden. Det er derfor mulig å foreta mer realistiske simuleringer der man samtidig kan legge inn erfaringsdata. Disse simuleringene som vil kunne danne grunnlag for et forenklet dimensjoneringsverktøy forutsetter igjen god kunnskap om klimaforhold og materialer. Når det gjelder klimagrunnlaget vil dette omfatte både nedbør og temperatur. Det er også viktig å få bedre kunnskap om vannføring og vanntemperaturer i VA-nettet. I tillegg er det viktig med god materialkunnskap. Når det gjelder materialer i grunnen vil både vannføring og intern konveksjon i porøse materialer kunne spille en vesentlig rolle for grunnmaterialenes termiske og fysiske egenskaper. Slike forhold er lite påaktet i tidligere simuleringer, men kan få stor betydning ved klimaendringer som bl.a. medfører økt nedbørintensitet. Dette vil også ha betydning når det gjelder lokale tiltak for å håndtere overvannet.

Bruk av alternative isolasjonsmaterialer i grunnen

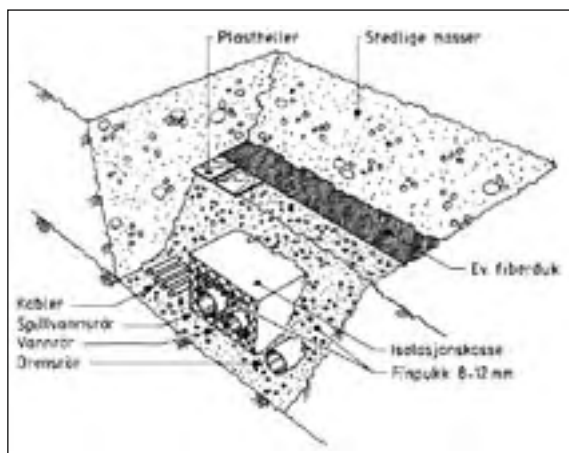
I tillegg til tradisjonelle isolasjonsplater og isolasjonskasser i ekstrudert polystyren finnes det også isolasjonsmaterialer med andre egenskaper som også kan brukes til frostsikring. Et eksempel er løst utlagt lettklinker og skumglassgranulat som både har drenerende og isolerende egenskaper. Dette er interessante materialer som vil kunne forenkle anleggsdriften idet disse materialene eventuelt også kan brukes som tradisjonelle omfyllings- og overfyllingsmasser. Bruk av alternative materialer til tradisjonelle isolasjonsplater i grunnen vil forutsette bedre kjennskap til materialenes termiske og fysiske langtidsegenskaper.

Prefabrikkerte løsninger

I dag da arbeidskraften er relativt kostbar vil det generelt være ønskelig å utvikle mer prefabrikkerte systemløsninger som vil kunne forenkle utførelsen. Dette vil også kunne omfatte pre-isolerte kummer og annet utstyr.

Frost og lokal håndtering av overvann

Når det gjelder overvannshåndteringen er det viktig å ta hensyn til forventede endringer i klimaforutsetningene. Spesielt under vinterforhold vil hurtige endringer av temperatur og store nedbørintensiteter kunne skape problemer med iskøyving og oversvømmelser. Slike problemstillinger bør utredes – løsningen kan være en effektiv frostsikring i kombinasjon med bruk av mer permeable materialer i grunnen.



Figur 3: Frostsikring av stikkledninger i fellesgrøfter med kabler.

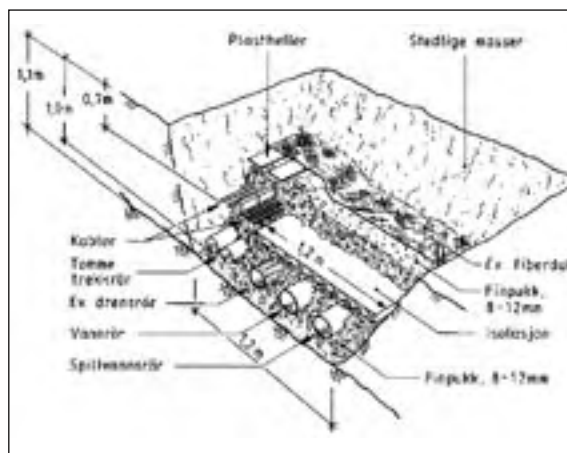
Videre arbeid

Oppsummering av viktige problemstillinger som krever økt forskningsinnsats:

- Korrigere klimagrunnlaget (overgang til ny normalperiode) for frostsikring av ledninger. Dette omfatter også sammenhengen mellom temperatur og nedbør.
- Innsamle opplysninger og erfaringer fra tidligere utførte anlegg.
- Utvikle et forenklet dimensjoneringsverktøy for frostsikringstiltak i tilknytning til VA-nettet.
- Videreutvikle «Lett kommunalteknikk» konseptet for rasjonell fremføring av infrastruktur i byggefelt.
- Utvikle simuleringsverktøy for å fastlegge temperaturen i grunnen som kobler sammen vannføring, intern konveksjon og varmeledning.
- Øke kunnskapen om alternative isolasjonsmaterialer brukt til frostsikring.
- Utvikle nye prefabrikkerte systemløsninger for frostsikring av vannledninger.

Referanser

- [1] Gundersen, P., Thue, J.V., Lisø, K.R. (2004): Nye løsninger for varmeisolering av gulv på grunnen med ringmur. NBI Prosjektrapport 370. Norges byggforskingsinstitutt, Oslo
- [2] NBI Byggetaljer A515.004. 1992. Lett kommunalteknikk. Hovedprinsipper.
- [3] NBI Byggetaljer A515.008. 1992. Frostsikring av VA-ledninger. Frosttekniske grunnlagsdata.



Figur 4: Frostsikring av hovedledninger i fellesgrøfter med kabler.

Erfaring med fundamentering i permafrost

Experience from foundation work in permafrost

Rolf Jullum, Statsbygg - FTG (rolf.jullum@statsbygg.no)

Summary

This article presents several examples of the foundation methods that have been used for buildings at Spitzbergen over the last 50 years. Along with a detailed description of the foundations, positive as well as negative experiences are presented. The owner obviously observes that some of the methods have turned out to be less successful than others.

It is possible to find old buildings that function well even if the foundations are more based on "common sense" than "sophisticated" design. However, the predominant solution today is a ventilated foundation on piles and the type of pile depend on the actual load. Climatic changes and their possible consequences are also of concern for the owners in this region.

Innledende tanker

Her vil vi gi en beskrivelse av noen erfaringer med fundamentering i områder med delvis eller hel permafrost. Det vil bli gitt flere konkrete eksempler og beskrivelser av løsninger som her var valgt, samt en gjennomgang av våre erfaringer med disse løsningene.

Det er viktig å dokumentere virkelig oppførsel av konstruksjoner, spesielt når man går utenfor normale erfaringsområder. Etter hvert er det blitt bygget mange bygninger i områder med hel eller delvis permafrost. Derfor begynner man å få erfaring med byggegrunnen og samvirke mellom konstruksjonene og byggegrunnen. Det foreligger noen erfaringer fra forskjellige utbygginger, men all informasjonen er ikke tilgjengelig. Vi vil her forsøke å gjøre noen av Statsbyggs erfaringer tilgjengelig. Det vil framkomme at noen av erfaringene er til dels gamle, noe som gir grunnlag for noen tanker. Bygging i arktiske strøk er ingen ny aktivitet, det finnes flere eksempler på tidlige bygninger og registreringer av hvordan disse oppfører

seg. Statsbygg har flere erfaringer fra så vel gamle som nye bygninger i Antarktis og Arktis. En av bygningene som vil bli beskrevet her er et svensk ferdighus oppført på Svalbard i 1946.

Det er primært empirisk kunnskap som er samlet, snarere enn kunnskap fra systematisk måling av konstruksjoners oppførsel med deformasjoner, endringer i fronten av permafrosten og samvirke mellom konstruksjonselementer, byggegrunn og utendørs luftklima.

I noen sammenhenger er det startet forsøk med instrumentering, for å prøve å finne ut av hvilke mekanismer som virker på og rundt konstruksjonene. Det måles temperaturfordeling i dybden langs pelen gjennom hele året og alle årstider, det måles deformasjon av belastede peler, det registreres samhørende belastningsnivåer på pelene. Det pågår et slikt forsøk i Longyearbyen nå, som skal gå til oktober 2008. Tanken er å belaste pelene til brudd.

Vi ønsker å få etablert et samlet sett av data med grunnforhold, detaljinformasjon om pelene, detaljerte målinger av temperatur, belastninger, deformasjoner, slik at vi skal få kontroll med grunnlaget for designen og få forståelse for mekanismene som virker. Pele-forsøket er et samarbeid mellom NGI og Statsbygg, og forsøksriggen er plassert i tilknytning til UNIS.

Det er mange spørsmål som reises ved designen av fundamenter i permafrost. Hvordan sikre full innfrysing av pelene, vil det bli varmetransport langs foringsrøret ved stålpeleler, hvor mye gjennomlufting må det være for at man skal sikre at «bygget» ikke endrer de naturlige forhold med årstidsvariasjoner og permafrostens beliggenhet og beskaffenhet? Hvilke materialparametere kan man regne med ved høye verdier av saltinnhold? Vil bare overført skjærspenning reduseres, og med hvor mye, ved sjikt med høy salinitet? Eller vil også krypegenskapene endres?

Benyttede fundamenteringsmetoder og grunnarbeider i permafrost

Opp gjennom årene har det på Svalbard blitt benyttet en stor variasjon av ulike fundamenteringsmetoder. Valg av metode er delvis styrt av utviklingen ved at man tidligere hadde mindre og lettere bygninger, og dermed ikke trengte omfattende fundamenter. Når man nå får store bygninger som utvidelsen av UNIS i Longyearbyen på Svalbard, strekker man seg langt ut over erfaringsgrunnlaget med fundamentvalg på Svalbard.

Ved å utfordre gjeldende erfaring med større bygningslaster oppstår behov for dypere fundamenter, redusert peleavstand fordi man trenger flere peler for å få tilstrekkelig pelekapasitet. Dette reiser spørsmål om man får interferens med redusert bæreevne som konsekvens. Videre vil store bygg få en større grunnflate, noe som gir store endringer i hvordan snø fokkes og hvordan utluftingen under bygningen skjer. Dårlig utlufting vil generelt gi en økning i lufttemperaturen mellom bakken og bygningen. Dette vil igjen gi økt smelting av permafrosten, slik at tykkelsen på det aktive laget øker og tilsvarende tykkelsen på permafrosten avtar.

Både behovet for å gå dypere med fundamentene, og at bygningen berører et større areal av tomten, gir økt eksponering mot variasjoner i grunnforhold inklusiv grad av innfrysing. Dette er tilfelle for UNIS-tomten der man oppdaget at man under en viss dybde ikke hadde full permafrost. Se nærmere om dette i omtalen av denne byggesaken.

Ved all byggevirksomhet på permafrost ser det ut til at man har hatt kunnskap om aktiv sone og at man har sett behovet for å gå igjennom denne sonen med bygningslastene. Dette betyr ikke at man har latt være å benytte grunn fundamentering. Ved grunn

fundamentering har man enten forsøkt å isolere seg vekk fra påvirkning på de naturlige forhold i grunnen eller man forsøker å kompensere endringene den nye konstruksjonen medfører.

Nedenfor gir vi en enkel oversikt over noen valgte fundamenteringsmetoder på Svalbard i Statsbyggs prosjekter, der vi viser prinsipløsningene. Vi vil senere vise noen utvalgte prosjekter for en grundigere gjennomgang. Spesielt ønsker vi å vise hva som kan gå galt, da det ofte gir en god forståelse av opptredende naturlige mekanismer.

Gamle Longyearbyen sykehus

Bygget er oppført i armert betong i begynnelsen av 1950 årene. Bygget er fundamentert på søler av armert betong som er ført ned i permafrosten. På et tidspunkt ble korridorveggene refundamentert på trepeler. Under bygget er det et kryprom som er delt i to med en østre del uten tilgang og en vestre del med lav høyde. Kryprommet er delt med en pelerad som det er strukket en plastfolie bak. Se figur 1 med isdannelse som skjevbelaster pelene. Figur 2 viser typisk situasjon for fundamenteringen samt kjølerør som benyttes til å holde temperaturen i kryprommet nede.

Bygget har over tid fått store skjevheter og skader. Skadeårsaken er varmetransport fra bygget til grunnen under kryprommet og fra uteluften til kryprommet. Lufttemperaturen i vår-og-sommer-halvåret har vært over null. Når massene under bygget består i hovedsak av is og denne smelter vil permafrostfronten skyves nedover, slik at bæreevnen i grunnen sterkt reduseres, noe som fører til deformasjoner. Det er installert et kjøleanlegg som forsyner kryprommet med kald luft for å hindre nedsmeltingen, men kapasiteten har vært for dårlig.



Figur 1: Plastfolien som deler kryprommet presses innover av en isfront.



Figur 2: Kjølesystem og fundamentering for det Gamle sykehuset

Svalbard kirke

I et notat fra 1956 framgår det at det ble foretatt masseutskifting av de øverste massene inntil 1 meter under terreng. Som fyllmasse ble det anbefalt å benytte slaggmasser, grus, mose eller torv. Isolasjonsevne var ønsket funksjon. Bygget er fundamentert på pelere som er rammet ned i permafrost, som delvis var smeltet. Det er benyttet impregnerte trepelere, med krav om «ramningsdybde» målt fra planert terreng på 2,25-3 ganger tykkelsen av aktivt lag. Det er ikke registrert nedsmelting eller setninger utover det som er forventet. I 1987 ble det antakelig for første gang på Svalbard registrert råteskader på to av pelene.

Bergmesterboligen

Dette bygget ble opprinnelig, i 1946, oppført som et kombinert administrasjonsbygg for Sysselmannen, Bergmester, post og telegraf. Bygget er et svensk ferdighus, type Skandiahus, som i følge akkordseddel av 20. august 1945 består av «...44-45 solide stolper nedført i telen til 1,5 meter under bakken med stensetting og innpakking med slagg eller småkull».

Da man i 1954 skulle bygge om administrasjonsbygningen til Bergmesterbolig, var det oppstått skader. I teknisk beskrivelse fra Riksarkitekten (dagens Statsbygg) av 28. mai 1954 står det: «På den del av bygningen som er beliggende over utgravet kjeller har det på grunn av svikt i grunnen oppstått «setninger». De særlig framtreddende tegn herpå – under befarings sommeren 1953 – var at bygningens nordøstre hjørne «lå på heng» et par cm over overkant sokkelhjørne, og herfra med jevnt avtagende mål til midte nordøstre langvegg. For denne del av bygningen var den synlige skade større eller mindre gisshet omkring vinduer, særlig på østre langvegg og innvendige dører hadde til dels «hengt seg opp». Det kunne påvises en del sprekker på innvendige bygningsplater på ytre langvegg i første etasje og det var en del golvtrekk. I kjelleren kunne på ytre langvegg i fyrrommet påvises en del setningsprekker, liksom støpte golv var sprengt mot yttervegg. Fyrpipen hadde et par små pussriss. Fyrrommets gavlvegg – oppført av 1 1/2 steins teglmur – er meget forfallen og vil la seg lett fjerne».

Deforrasjonene som var kommet på i løpet av de første 7 år fortsatte videre. Man foreslo å utbedre skadene ved at teglsteinsvegg med fundament skulle fjernes og at man skulle støpe nye betongfundamenter ned på utsprengt/gravid permafrost. For de mindre skadede delene av bygget antok man at man skulle fundamentere i en fyllmasse man hadde på stedet

(«terrassefyllmasse»), noe som antakelig bestod av kull og slagg som gode isolatorer.

Skadene som oppstod har sin åpenbare forklaring i at det er store varmekilder ved bakkenivå, slik at grunnen rundt pelene og under fundamentene er tint opp og permafrostfronten er presset dypere. Dette gir tap av bæreevne for pelene. I nyere tid er det også installert varmeveksler i kjelleren, slik at varmetilskuddet til rommene nær bakken ble øket.

Mot slutten av 1980-tallet var det deforrasjoner i bygget som var ganske store, med en høydeforskjell mellom peis (sentralt i bygget) og yttervegg på ca. 90 mm.

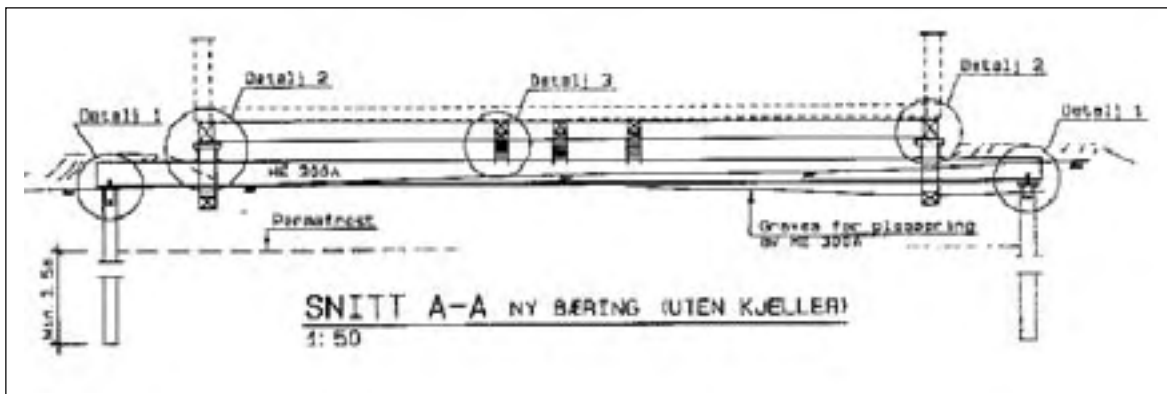
I 1991 gikk Statsbygg i gang med en utbedring der vi ønsket å fjerne kontakten mellom bygget og bakken for å unngå oppvarming av grunnen. Hovedprinsippet for utbedringen er at for den delen som ikke har kjeller blir de gamle pelene satt ut av funksjon ved å etablere fem nye pelere utenfor langveggen på begge sider av bygget med senteravstand 2,0 meter. Mellom disse to peleradene på tvers under bygget ble det lagt stålbjelker av dimensjon HE300A. Ny bæring ble etablert utenfor bygget. De nye pelene skulle bores minimum 3,5 meter inn i permafrost. Pelene ble senket ned i forborede hull og gyst fast med en blanding av silt og vann. Pelediameter skulle være rundstokktømmer, ikke mindre diameter enn 150 mm. Se figur 3.

For den delen som har kjeller ble det valgt å fryse ned grunnen. Dette ble gjort med fryserør lagt i grøfter på utsiden av bygget og på innsiden. Det ble etterfylt med «tørre» elvegrusmasser $d < 100$ mm. Som fryserør ble det brukt 40 mm PVC rør. Kjølensystemets effekt er beregnet til 1,6 kW, med temperaturkrav -8 °C i kjølerørnivå og -5 °C 5 meter under dette.

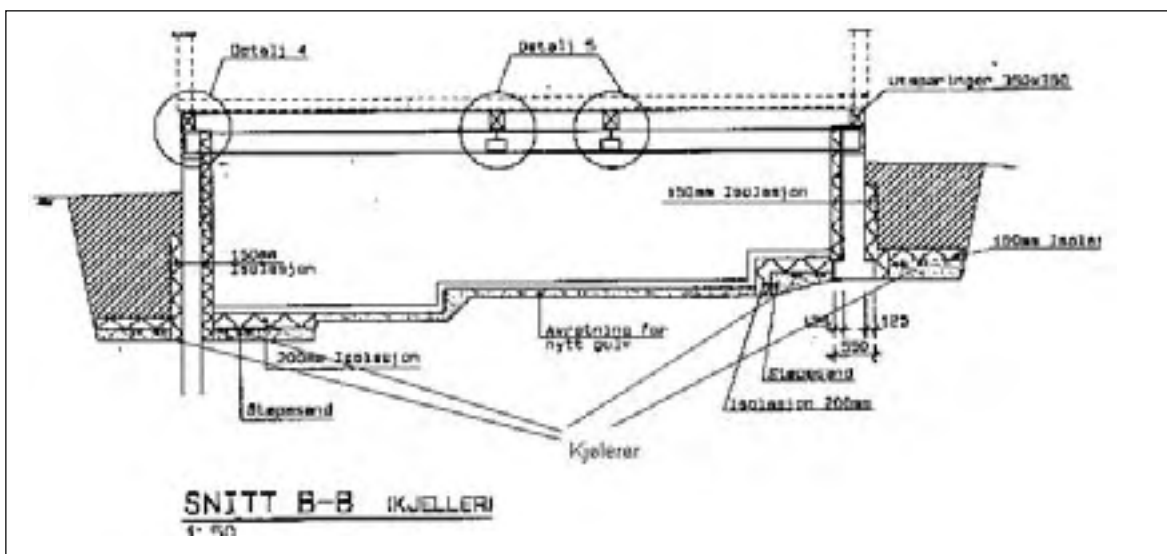
Etter at arbeidet var utført viste det seg at det oppstod flere problemer ved at det gjennomgående var for høy romtemperatur i kjeller – langt over de nivåer som var satt som krav. I tillegg er det problemer med en fjernvarmeledning som ligger for nær bygningen i kombinasjon med for svak isolering. Man hadde også erfart at varmepumpen var ute av drift i perioder. Disse forhold ledet til økt risiko for ny smelting av frossen grunn, og ga høy belastning på kjølesystemet. Forholdene ble utbedret og fungerer nå. Se figur 4.

UNIS

Universitetssenteret på Svalbard er under utvidelse. Tilbygget blir fundamentert på pelere fastfrosset i permafrosten. Pelene installeres i forborede hull.



Figur 3: Tverrsnitt gjennom bygget der det ikke er kjeller, med nytt bæreak og peler.



Figur 4: Tverrsnitt gjennom bygget der det er kjeller, med isolasjon og kjølerør.

I hullene mellom pel og omkransende frossen jord støpes det med en slurry som fryser. Slurryen består av følgende mengder (pr. m³): 500 kg sement, 250 kg kalksteinsfiller, 1250 kg sand 0-4 mm, 42 liter frostvæske Scancem FP2039 og vann.

For tilbygget benyttes i hovedsak stålpeler. Peleavstanden er varierende fra ca. 3-8 meter tilpasset etter byggets spesielle geometri. Typisk var ønsket pel lengde 12 meter. Det endte opp med at man boret hull med ca. 400 mm diameter og 300 mm diameter, der henholdsvis stålpeler av dimensjon HEB-240 og HEB-160 ble benyttet. Under boring oppstod det problemer i dybde ca. 9 meter der det var ufullstendig frosset grunn, slik at man boreteknisk fikk stopp og skader på utstyret. Det ble valgt å endre til 10 meter peler gjennomgående der man ikke fikk ned 12 meter peler. Årsaken til diskontinuiteten i permafrosten er det høye saltinnholdet.

For å forbedre dimensjoneringsgrunnlaget ble det besluttet å gjennomføre et pelebelastningsforsøk i samarbeid mellom NGI og Statsbygg, samt UNIS. Ved siden av UNIS-bygget er det satt opp en forsøksrigg som består av tre (3) bærende peler og en referansepel. Alle pelene er instrumentert med termistorer for temperaturmålinger og lastceller for måling av spenning i topp og bunn av pel. Det er bygget en kasse for belastning av pelene med grusmasser. Figur 5 viser den ferdige kassen med pelene. Figur 6 viser et av hullene som er boret. Figur 8 viser en ferdig instrumentert pel som heises i hullet, mens figur 7 viser en detalj av koblingen mellom kasse og pel. Forsøket skal gå til oktober 2008. Det er planlagt 6 lasttrinn der det siste er til brudd. Foreløpige resultater, se figur 9 og 10 som viser temperaturvariasjonene langs en pel over tid og deformasjoner (setninger) som forventet.



Figur 5: Forsøksrigg for peleforsøk.



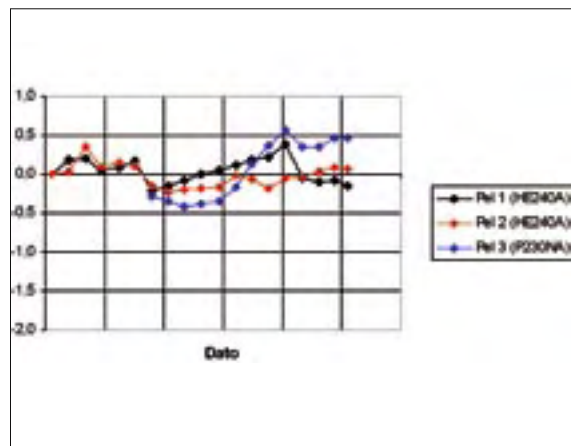
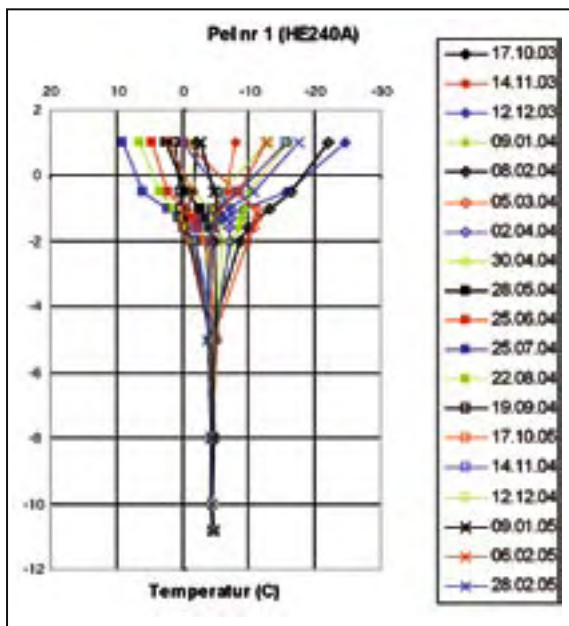
Figur 6: Bilde ned i boret hull for peleinstallasjonen.



Figur 7: Detalj av overgang.



Figur 8: Betongpel med lastcelle.



Figur 9 (til venstre): Temperaturvariasjon med dybden under terreng.

Figur 10 (over): Målte setninger.

Sverdrupstasjonen i Ny-Ålesund

Statsbygg har bygget en forskningsstasjon for Norsk Polarinstitutt i Ny-Ålesund på Svalbard. Bygget er fundamentert på stålpeleer i forborede hull i permafrosten. Stålpelene er isolert for å hindre varmetransport fra bygget til permafrosten via pelene – se figur 11. Metoden har fungert fint uten rapporterte skader.



Figur 11: Fundamenter og dekke 1. etg., Sverdrupstasjonen.

Trollbasen i Antarktis

Statsbygg har vært ansvarlig for bygging av en utvidelse av eksisterende base for Norge i Antarktis. Bygningene er her blitt fundamentert på stålsøyler som står på prefabriserte stålføtter på et avrettet planum like under overflaten. Etter at fundamentene er montert blir de overfylt med stedlige masser. Figur 12 viser oversikt over stålkonstruksjoner med fundamenter, mens figur 13 viser en detalj av fundamentet som har kvadratisk grunnflate. Figur 14 viser monterte fundamenter for garasjebygget. Figur 15 viser oversikt over basen i sin helhet.



Figur 12: Fundamenter og stålkonstruksjoner under forskningsstasjonen.



Figur 13: Viser en søyle og et fundament.



Figur 14: Fundamentene for garasjebygget satt ut, før søyler er montert.



Figur 15: Oversiktsbilde over Trollbasen i Antarktis.

Lagerbygg for Sysselemanden og SFT i Longyearbyen

Lagerbygget er et kaldt lager som ligger i industriområdet nede ved sjøen. Tomten er på en fylling som ligger i sjøen. Av denne årsak er bygget ikke fundamentert på tradisjonell Svalbard-vis med peler ned til og inn i permafrosten. Bygget er fundamentert på en hel betongplate som ligger på fyllingen. Fyllingshøyden er ca. 1-3 meter. Naturlig sjøbunn består av siltige leire med innhold av sand og grus i en mektighet på 3,5 til 5 meter under sjøbunnen. Her er det altså benyttet normal fundamentering, som i områder uten permafrost.



Figur 16: Plate på fylling for lagerbygg på fylling i sjø.

Evaluerer av erfaring

Gjennomgangen av noen få prosjekter viser spennvidden i hva som har vært benyttet av metoder. Ved å se på de skader som har oppstått og de utbedringer som er utført ser vi også der løsningene er i konflikt med de fysiske prosesser.

De fundamenteringsmetoder vi har erfaring med er:

- Pelefundamentering, der pelene er rammet ned i permafrost, installert i forboret hull, eller installert i sprengt grop som er etterfylt og frosset. Pelelengdene er fra få meter til 12 – 14 meter. Pelemateriale er trepeler, stålprofiler, betongpeler og armeringsjern.
- Enkeltfundamenter på permafrost der det ved graving, pigging eller sprengning er etablert en avrettet overflate som det settes betongfundamenter på, og hvor det etterfylles. Normalt vil enkeltfundamenter og banketter være av plasstøpt betong, men vi har også stålfundamenter.
- Kjellerkonstruksjoner

- Krypromsløsninger
- Kunstig frosset fylling/byggegrunn

En oppsummering av erfaringene, som innebærer generelle anbefalinger for fundamentering og grunnarbeider, er følgende:

- Man må forstå de grunnleggende mekanismer innen fysikk med varmetransport, fryse-/kjøleprosesser. Dvs. at en tilstrekkelig vitenskapelig basert kompetanse er nødvendig.
- Man må fokusere på å bruke de naturlige prosesser og ikke motarbeide dem.
- Der det er nærhet mellom konstruksjoner og grunnen må man unngå å plassere varmekilder.
- Man bør unngå kjellerkonstruksjoner, da det viser seg vanskelig å «isolere seg vekk» fra varmetransport fra bygget til grunnen.
- Målingene ved peleforsøket viser at det kan gå varmetransporter langs ledende materiale ned i grunnen, slik at en effekt er utjevning av temperaturer med dybden. Dette betyr at varmeledende konstruksjonselementer som går ned i bakken må isoleres fra bygget.
- Det er klart å anbefale at det gjøres grunnundersøkelser for kontroll med beliggenhet av/dybde til permafrostfronten, og for å fastlegge hvorvidt vi har intakt permafrost i nødvendig dybde videre nedover eller om det er soner nedover som ikke er frosset.
- Det bør foretas nøyere målinger og oppfølging av bygningsmassen, slik at vi får samlet mer kvantitative data.
- Videre bør det settes fokus på virkningene av klimaendringene som pågår nå. Permafrosten er dannet ved langvarig nedfrysing av grunnen i tidligere istider, og den vil bestå bare så lenge den ikke smeltes bort. Det er sannsynlig at permafrostfronten nær terreng vil presses nedover med tiden pga. global oppvarming. Dette vil føre til at grunne fundamenter som i dag er på frossen mark vil komme over permafrostfronten, og det vil videre føre til at innfrysingslengden på pelene blir redusert ved tining ovenfra. Bør vi ta hensyn til dette ved å legge inn reserver (øke pelelengdene) i dimensjoneringen? Det er også et spørsmål om man bør ta hensyn til dette ved valg av fundamenteringsmetode og bæresystem opp i bygget, da tilnærmingen bør være å velge den metode som vil være mest robust og gi minst mulige deformasjoner ved nedsmelting.

Referanser

1. Riksantikvaren (1989). *Notat – Bevaring av Bergmesterboligen. Longyearbyen*. 9. juni 1989
2. Riksarkitekten (1954). *Ominnredning til Bergmesterbolig. Svalbard gamle telegrafbygning*. 28. mai 1954.
3. AS Fredriksen (1989). *Rapport – Bygningsmessig vurdering av Bergmesterboligen i Longyearbyen*. 11. juli 1989.
4. Instanes Svalbard AS (1996). *Rapport – Bergmesterboligen i Longyearbyen, Tilstandsrapport*. 3. oktober 1996.
5. Statsbygg (1991). *Tilbudsinnbydelse – Stabilisering av fundamentene for Bergmesterboligen i Longyearbyen*. 19. juni 1991.
6. Instanes Svalbard AS (1991). *Detaljprosjekt/Anbudsbeskrivelse. Stabilisering av fundamentene for Bergmesterboligen i Longyearbyen*. Juni 1991.
7. AS Frederiksen (1987). *Sykehuset i Longyearbyen. Notat fra befaring 12-14-mai 1987 vedrørende bygningens bygningsmessige tilstand*. 27. mai 1987.
8. AS Frederiksen (1987). *Longyearbyen kirke. Brev med beskrivelse av skade på peler*. 19.05.1987.
9. AS Frederiksen (1956). *Svalbard nye kirke. Notat om fundamentering med arbeidsbeskrivelse*. 14. juni 1954.
10. NGI (1994). *UNIS – bygget på Svalbard. Rapport (930060-1) fra grunnundersøkelser*. 4. februar 1994.
11. Barlindhaug AS/UNIS (1996). *Geotechnical Drilling & Sampling Field Report. Student work*. September 1996.
12. NGI (1990). *Longyearbyen sykehus. Rapport (899961-1) om grunnforhold og vurdering av fundamenteringsløsninger*. 28. februar 1990.
13. Statsbygg (1989). *Ferdigmelding 354. Administrasjonsbygg for Sysselmannen på Svalbard*.
14. Statsbygg (1997). *Ferdigmelding 546. Lagerbygg for SMS/SFT*.
15. Statsbygg (1990). *Ferdigmelding 359. Atmosfærekjemisk forskningsstasjon på Svalbard*.
16. Statsbygg (1999). *Ferdigmelding 576. Sverdrupstasjonen Nors Polarinstitutt – Ny-Ålesund*.
17. Statsbygg (1992). *Ferdigmelding 392. Longyearbyen Sykehus*.
18. Statsbygg (1995). *Ferdigmelding 495. Longyearbyen skole – Tilbygg for videregående skole*.
19. Statsbygg (1998). *Ferdigmelding 550. Administrasjonsbygg for Sysselmannen på Svalbard*.
20. NGI (2004). *Rapport (20041071-1). Pelebelastningsforsøk – Longyearbyen Svalbard. Feltarbeider og instrumentering*. 6. august 2004.
21. NGI (2003). *Teknisk notat 20021214 Svalbard forskningspark. Geoteknisk dimensjonering av pelefundamenteringen for UNIS*. 16. oktober 2002.
22. NGI (2002). *Rapport (20021442-1). Grunnundersøkelser*. 3. oktober 2002.
23. Jullum, Rolf (1990-2005). *Diverse tekniske dokumenter, tegninger, bilder, og erfaringsmateriale*.
24. Andersland, Orlando B./Ladanyi, Branko (2004). *Frozen ground engineering – Second edition*.

Soil sampling in frozen ground

Prøvetaking i frossen grunn

Rolf Sandven, Norwegian University of Science and Technology, Geotechnical division
(rolf.sandven@bygg.ntnu.no)

Summary

Sampling of frozen ground is usually confined to continuous or discontinuous permafrost areas in arctic and sub-arctic regions. Generally, the sampling methods used for frozen soils, are based on much the same principles as used for non-frozen ground, but some important differences also exist. The sampling methods may include test pits and trenches, hand-operated augers and shovels, machine-operated augers, drive sampling, piston tube sampling, core barrel sampling and block sampling.

The type and number of samples will depend on many factors, such as the variability of the materials encountered, the use of samples, the required sample quality and the type and number of laboratory tests to be performed. As with many other operations in cold regions, logistics and transportation of equipment and personnel can be the most difficult aspect when planning the field investigations.

The information required from and tests planned to be performed on the sample largely determine the methods that should be employed to obtain the samples. Three categories of sample quality are proposed: Undisturbed (Class 1), disturbed (Class 2) and remoulded (Class 3). The sample quality is sensitive to sampling-procedure and –equipment, and is influenced both by mechanical, thermal and chemical disturbance. The consequences of sample disturbance may be changes in soil structure, ice content and distribution, unfrozen water and mechanical strength and compressibility. Undisturbed samples should be used for special laboratory tests, such as strength or creep tests.

Introduction

Sampling of frozen ground is usually confined to continuous or discontinuous permafrost areas in arctic and sub-arctic regions, but may also be used in

ground freezing stabilization projects. A major part of the sampling is carried out for foundation works or geotechnical studies, within sampling depths limited to the upper 20-25 m of the soil. In geological explorations and for mapping of permafrost, sampling depths may be substantially larger, often several hundreds of meters.

The equipment needed for sampling frozen soils includes, in the most sophisticated versions, a drill bit or coring edge suited to sample frozen soil, a sample container with equipment to chill the drilling fluid to the appropriate temperature and equipment for transport and storage of the frozen samples. Generally, the sampling methods used for frozen soils, are based on much the same principles as used for non-frozen ground. There exist however some important differences:

- A higher force is needed to penetrate frozen ground due to the harder ice - soil matrix
- The sample may be both mechanically and thermally disturbed. The heat produced by drilling and sample shearing must be removed without influencing the sample, and this requires chilling of the equipment
- Cuttings have to be removed from the borehole as they may influence both the sampling efficiency and the sample quality
- Refrigerators or similar facilities are required for storage of the frozen soil cores

In the following, various types of sampling equipment and field procedures are discussed, with obtained samples categorized according to proposed sample quality classes. Some aspects of planning site investigations and sampling operations are also included.

PLANNING OF FIELD INVESTIGATIONS IN FROZEN GROUND

Characterization of frozen soils

The determination of the type, distribution and properties of both frozen and unfrozen materials is essential in geotechnical investigations in cold regions. The soil, rock and permafrost conditions may vary considerably, which will influence both the location and the design of a proposed structure. Important considerations include the extent and continuity of the permafrost, the maximum depth of frost penetration and the thickness of the active layer. In its simplest way, this information may be gathered by inspection of test pits or quarries see Figure 1, but for geotechnical purposes this is usually not sufficient.

The most important information achieved from characterization of frozen soils is:

Soil type and composition

- Identification and classification
- Moisture and ice content
- Frost- and thaw-susceptibility of the soil

Distribution

- Soil stratification
- Depth to bedrock
- Distribution of frozen ground
- Presence of ice lenses
- Depth of the active layer

Properties

- Mechanical parameters (strength, deformation)
- Thermal properties
- Chemical composition properties



Figure 1: Inspection of soil type in a natural exposure.

In addition, it is very important to profile the ground temperature, and this is usually included in frozen soil investigations. The temperature greatly influences the properties and behaviour of frozen materials, particularly soils containing both ice and unfrozen water.

Purpose of sampling

Sampling generally gives the following information for geotechnical evaluations:

- Verification of layering and soil types
- Detection of soft/loose layers as possible sliding planes or compressible zones
- Detection of other phenomena of interest, e.g. organic content, special mineralogy etc.
- Basis for laboratory tests with parameter determination
- Determination of stress history and in situ stress conditions

The type and number of samples from a profile will depend on factors such as the variability of the encountered materials, the required sample quality and the type and number of laboratory tests to be performed. The planning of soil sampling should hence address the following features:

Need for samples

- Required sample quality (remoulded, disturbed, undisturbed)
- Location with respect to the actual problem (plan, vertical section)

Introductory soundings

- Information of soil profile
- Aid for choosing optimal sampling equipment
- Identification of interesting layers or zones for sampling

Choice of sampling equipment

- Type of operation mode (hand-operated, manually operated)
- Appropriate equipment for required sample quality, including type and configuration of drill bit/coring edge
- Penetration equipment for drilling or coring operations
- Necessary equipment and test routines for temperature control during sample shearing
- Accessibility of sampling equipment at the site

Field procedures

- Available guidelines or standards for chosen equipment
- Use of drilling fluid for temperature control
- Routines for field checks of obtained samples
- Sealing, storage and temperature control of recovered samples
- Maintenance routines for test equipment

Exploration of retrieved samples

- Field classification of obtained samples, including quality assessment
- Updating of drilling program according to status of performed sampling
- Plan for utilisation of samples in laboratory investigations
- Storage of excessive material for later use

Aspects to consider in planning of site investigations

As with many other operations in cold regions, logistics and transportation of equipment and personnel can be the most difficult aspect when planning field investigations. Samples of unfrozen ground may for example best be sampled during the summer, but due to access or transport restrictions, the work may have to be carried out during the winter time. The summary below includes some practical aspects to be considered when planning soil investigations in arctic or sub-arctic regions.

Geological conditions

- Composition and distribution of soil layers
- Depth to the rock surface and expected rock type
- Weathering of rock materials

Topography

- Surface conditions, including rock outcrops
- Ditches, ponds, wells

Buried services

- Infrastructure such as water and sewer pipes, power supply, telephone cables
- Oil and gas tanks, heating ducts

Previous use of site

- Status for adjacent buildings, including foundation methods and possible structural or settlement problems
- Possible sources for local soil contamination

Area conditions

- Flooding and erosion risk
- Earthquake risk

- Extent and continuity of permafrost areas
- Depth of the active layer

Access for machinery

- Roads or other access to the site
- Transport restrictions and limited accessibility

Materials and facilities available locally

- Power supply
- Water reservoirs
- Other infrastructure

SAMPLING METHODS

Choosing sampling methods

At present, there is no international standard on sampling of frozen ground, even if some national guidelines may provide a relevant background. Hence, the selection of sampling methods depends on locally available equipment and experience, which may not represent the most optional procedures or satisfy the project needs. Skilled and experienced field operators with good knowledge of the local conditions are, however, very important to obtain the required sample quality.

Most samples are obtained from boreholes or test pits, either obtained by hand-operated tools or, more often, by mechanical equipment such as excavators, drill rigs or other machine-powered equipment. Samples of different qualities can be obtained, with sample quality generally improving by use of more sophisticated sampling equipment and procedures. It is usually an advantage to sample large diameter samples of frozen ground since the torsion strength of the sample increases with the 3rd power of its diameter. The effect of thermal degradation will also be less influential in such samples since the outer, most influenced zones may be taken away when preparing the test specimens.

Sample quality classes

The tests planned and information required from the sample largely determines the employed sampling methods at the site. For some purposes, remoulded samples obtained from test pits or by hand-operated methods may be sufficient. In other projects, undisturbed samples with negligible influence from any mechanical, thermal or chemical disturbance may be required for special laboratory tests, such as strength, compression or creep tests. It is very important that

the engineer defines the objective of the sampling and the relevant sample quality class. The engineer should later check whether the obtained samples are in accordance with the specifications or not.

Table 1 outlines the general requirements for sample quality classes presently used in Norway (NGF, Guideline 11), suggesting obtained samples to be placed in one of three categories: *Undisturbed* (Class 1), *Disturbed* (Class 2) or *Remoulded* (Class 3). The table indicates the characteristics of each sample class, also addressing some special features for sampling of frozen ground. Table 2 shows which type of laboratory tests that may be carried out on samples in the three different categories.

General requirements for soil samplers to provide undisturbed samples are indicated in the following, experience primarily being relevant for non-frozen samples obtained by tube samplers:

- The length of the sample tube should normally be 5-10 times the inner diameter
- The diameter of the sample cylinder should be between 50 and 100 mm

- The cross-section should be circular without permanent deformations
- The inner cylinder wall or liner surface shall be smooth without damages or corrosion
- The cutting edge shall be sharp and smooth without damages or irregularities
- The use of a piston will generally improve both sample recovery and sample quality

Most of these requirements also apply for sampling of frozen ground. For such conditions, the temperature at the sampler should be controlled, ensuring sufficient cooling of the sample during and after sampling.

Table 3 summarizes available sampling methods for frozen soils, also indicating applicable methods for sampling in the unfrozen active layer. A typical depth range for the various methods is also indicated. Table 3 also classifies the normal sample quality class obtained with the sampling methods when recommended test procedures and maintenance routines are followed.

Class 1 Undisturbed	Class 2 Disturbed	Class 3 Remoulded
Minimal influence on sample structure and texture Natural layering, water and ice content intact Natural frozen properties intact	Sample structure and texture are disturbed Natural frozen properties are disturbed Natural layering, water and ice content intact	Remoulding of the soil and ice masses during sampling Intrusion of particles from adjacent layers Change in natural water and ice content
Note: This class is very sensitive to quality of sample equipment and procedure The sample quality may be evaluated from laboratory tests!	Note: Gradual transition between Classes 1 and 3.	Note: Appropriate for inspection and rough mapping

Table 1: Characteristics of soil samples in the three different sample classes (NGF, Guideline 11).

Table 2 (on top of next page): Relevant laboratory tests on samples from the three different sample categories (NGF Guideline 11, slightly modified by the author to also include frozen soils). Tests in brackets provide uncertain or non-representative results.

Table 3 (on bottom of next page): Summary of relevant sampling methods for frozen ground applications with normal quality class indicated.

Class 1 Undisturbed	Class 2 Disturbed	Class 3 Remoulded
Layering Water content Ice content Atterberg limits Density, grain density Sensitivity Grain size distribution Organic content	Layering Water content Ice content Atterberg limits Density, grain density Sensitivity Grain size distribution Organic content	(Layering) (Water content) (Ice content) Atterberg limits (Density) Grain density (Sensitivity) (Grain size distribution) Organic content
Shear strength Deformation properties Permeability Creep properties	Applicable on built-in samples: (Shear strength) (Deformation properties) (Permeability) (Creep properties)	

Sampling method	Depth range* (m)	Soil type	Quality class
Double-wall core barrels	0-15	Clays, silts, sands	1-2
Block sampling	0-10	Unfrozen clays	1-2
Piston tube sampling	0-30	Unfrozen clays, silts, loose sands	1-2
Hand-carved blocks (from exposed surface)	0-1	Frozen soils. Not applicable in unbonded soils	2-1
Drive sampling	0-10	Fine-grained soils, loose sands	2-3
Drive piston sampling	0-10	Fine-grained soils, loose sands	2
Rock coring techniques	0- ++	Coarse soils, gravels	2-3
Test pits and excavations	2-10	All soils, depending on equipment and local conditions. Not applicable in unbonded soils.	3-2
Machine-powered augers	0-5	Fine-grained soils, sands	3
Hand-powered sampling tools	0-3 -	Loose soils. In coarse soils limited by GWT	3
Trenching, ripping	0-5	All soils, except coarse gravels and in unbonded soils.	3

Notes:

- * Penetration ability depends on type of equipment, the local soil conditions and the frost depth
- Quality class 1 is very sensitive to quality of sample equipment and procedure
- Thermal control of sample necessary to obtain highest quality class
- Gradual transition between Classes 1 and 2.

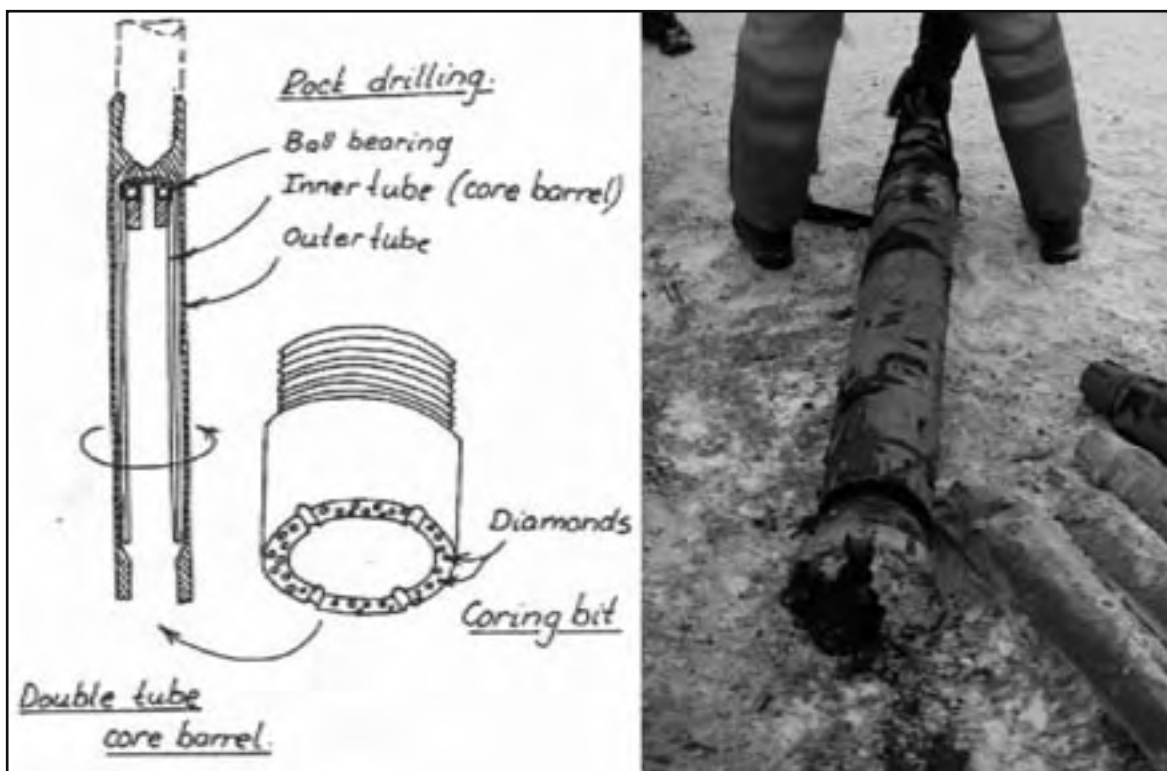


Figure 2: Principal lay-out of a core barrel (left). Single-wall core barrel with drill bit (right).

Figure 2 shows the principal design of a double-wall core barrel; together with a single-wall barrel used by UNIS at Svalbard.

Design of drill-bits

A drill bit is a necessary part of drilling and sampling equipment for frozen soils, and is used as a main component of auger systems, core barrels and rock coring equipment. The drill bit is equipped with cutters of tungsten carbide or similar, or it is impregnated with diamonds or hard-metal pieces to enable abrasion or tearing of soil particles during sampling.

When a finger-style drill bit is used, see Figure 3, the shape and orientation of the cutting wedges influence the efficiency and the stability of the drill bit. When drilling in fine-grained soils or ice, the teeth should be configured at a fairly small angle. The material at the bottom of the borehole will then be shaved off in thin layers when the drill bit rotates. In coarser materials, such as gravels and stone-rich sands, the cutting teeth should be equipped with nearly vertical teeth made of hardened or impregnated material. This configuration will enable the teeth to tear loose the coarse particles

from the frozen matrix and in this way make the auger to advance. Drilling in frozen soils may also cause the cuttings to stick together, freeze or clog the valves of the circulating drilling fluid, and this feature should also be considered when choosing the drill bit.

Use of drilling fluids

Drilling fluids are used when sampling frozen ground to cool and lubricate the drill bit so that sample disturbance from temperature effects is reduced. If the temperature of the drilling fluid or the sample container is higher than the ambient in situ temperature, pore ice could begin to melt and the soil will thaw. If a drilling fluid is used, it should therefore be cooled down to the in situ temperature to minimize the thermal shock to the soil formation.

For air temperatures below -5°C , fresh water or brine solutions may be used as cooling liquid. For lower temperatures, diesel oil (de-waxed at extremely low temperatures), freezing liquids such as mixtures of propylene glycol or ethylene glycol, or compressed air may be more applicable. Both fluids and compressed air have to be cooled down before use to reduce the



Figure 3: Examples of drill bits with hard-metal, diamond-impregnated cutters.

effect of temperature disturbance on the samples. The liquid fluids have a greater capacity for heat exchange than compressed air, but on the other hand they tend to alter the freezing point of the soil if they are not sufficiently cooled.

The use of drilling medium should be evaluated with respect to environmental restrictions in the actual area. In particular, the use of diesel oil may be in conflict with environmental issues nowadays, as it may contaminate both the soil formation and the sample cores. The water-based drilling fluids, mixed with salt or glycols, make an efficient cooling liquid and are also more environmentally acceptable than diesel oil. However, these liquids may also alter the temperature in the sample if they are not sufficiently cooled.

Compressed air does not exchange heat as efficiently as water-based solutions, and may furthermore not remove soil cuttings very efficiently from the borehole. However, this is by far the most environmental friendly solution and it is therefore chosen in many projects.

Use of drill fluids will usually ensure removal of cuttings from the borehole. It should be noted, however, that larger fluid ports may be necessary in sampling of frozen soils, in order to avoid ice cuttings to be transported without clogging the drill bit. If the drill bit is clogged, the drilling equipment could, as

the worst scenario, be lodged in the borehole.

In general, rapid penetration at high rates of revolution of the drill bit is recommended for most soils. Experience has shown that slow rates of penetration have resulted in increased erosion and thawing of the borehole walls due to effects of the drilling fluid.

Experience from practical use

Recovery of good samples of sands and gravels requires that the ice content of the material is sufficient, so that single grains are not ripped out from the matrix. Insufficiently bonded gravels are very difficult to sample, as the strength of the matrix reduces accordingly. The performance of such materials during sampling is also somewhat influenced by the ground temperature.

Compared to drilling and sampling in unfrozen soils, the time required to shear and retrieve a complete sample would depend on the material type, the type of equipment used, and the skill of the operator, the required sample quality class and the core retrieval efficiency. Recommended procedures adapted to the required sample quality class should be followed closely, whether the material is sampled in a frozen or an unfrozen state.

The type of drill bit and the rate of coring should be selected according to the encountered soils. If the rate of coring is too high, the sample may break easily

and the drill bit valves may easily clog. If the coring rate is too low, the cutting becomes ineffective and frictional thawing of the soil with subsequent re-freezing may become a problem.

The cutters should also be positioned properly and adjusted, and adapted to the soil type at hand. If the cutting surfaces are incorrectly positioned, an irregular or scoured core surface may be the result.

HANDLING OF OBTAINED SAMPLES

Undisturbed samples should be transported and stored so that they are not exposed to frost, strong heat, sunshine, shocks or vibrations. These effects could influence the grain structure and water content of the soil. It is generally recommended to use shock protected, insulated transport boxes during transport to the laboratory.

Storage of undisturbed, unfrozen samples should principally take place under temperature conditions corresponding to in situ soil temperature, and with appropriate relative humidity in the storage room. Even under such optimal conditions, the soil properties may be influenced by time, and it is recommended to carry out important mechanical tests as close to the sampling date as possible.

During extrusion of the sample in the laboratory, the condition of the sample should be evaluated and documented. This includes observation of important features of the sample cylinder, such as damages of the cutting edge, corrosion of cylinder surfaces, filling rate of the cylinder or visible scars, see the example in Figure 4. The sample extruder should be designed so as to provide a smooth and even movement of the extruder piston.

Sample disturbance

The sample quality is sensitive to shortcomings in sampling procedure and test equipment. In addition to the mechanical disturbance caused by penetration and intrusion of the sampler into the ground, the sample may be exposed to frost and heat, shocks and vibration during transport and swelling during storage. The consequences of sample disturbance may be changes in soil structure, ice content and distribution, content of unfrozen water and mechanical strength and compressibility. Causes for sample disturbance are elaborated below:

Related to equipment and maintenance

- Deficient preparation or maintenance of the sampling equipment



Figure 4: Visual evidence of sample disturbance after extrusion.

- Damaged or badly configured drill bit/cutting edge
- Vibrations from the drilling equipment
- Influence from the drilling or cooling liquid

Related to test procedures

- Damages during coring of the sample
- Overcoring of the sample cylinder
- Insufficient cooling of the drilling equipment (frozen samples)
- Disturbance from ice or soil cuttings

Related to sample handling

- Influence and vibrations during transport
- Temperature influence during transport and storage
- Trimming and preparation in the laboratory

To keep the quality from the sampling process intact, it is important to handle the samples very carefully, both during transport to the laboratory and the subsequent storage and handling in the laboratory.

Transport and storage of frozen samples

For frozen samples, it is recommended that some simpler index tests, e.g. density, moisture and ice content, are carried out in the field, immediately after sampling. This will give a set of reference index parameters that can be used as reference for subsequent testing in the laboratory. For more sophisticated strength- and deformation testing, samples have to be transported to and stored in the laboratory. The storage time should however be kept to a minimum to avoid temperature and swelling effects on the sampled soil.

In particular, samples of frozen ground should be protected from loss of moisture and thawing prior to testing. Sufficient protection may be obtained by wrapping the samples in cellophane in the field and store them in insulated transport boxes before transport to the laboratory. To prevent sublimation of ice from the sample, the air should be evacuated from the container. This procedure will necessarily not be sufficient to maintain a constant temperature in the sample (e.g. the ground temperature), even if the sample container is filled with snow or ice. A better, but also more expensive and less practical procedure, would be to store the sample in a temperature controlled environment (e.g. a refrigerator or freezer) where the temperature can be regulated automatically.

During handling of the sample in the laboratory, it is important to avoid local shear and bending during extrusion of the sample. Special precautions should also be shown to maintain the temperature conditions for frozen samples during sample preparation. It is necessary to prepare samples in a cold room and leave the samples to adapt to test room temperature for a period of at least 24 hours prior to testing.

LITERATURE

- Andersland, O. & Ladanyi, B. (2004). *An Introduction to Frozen Ground Engineering*. 2nd edition, Wiley publishers, Higher education.
- Gregersen, O. (1987). *Foundation design on permafrost*. Frost i jord nr. 26.
- Ladanyi, B. & Johnston, G.H. (1978). *Field investigations of frozen ground. Geotechnical Engineering for Cold Regions*. McGraw-Hill Books Co.
- Reimers, S. (1982). *Drilling and sampling in frozen ground. A few basics, a few problems*. Frost i jord nr. 24.
- Sandven, R. (2005). *Course material AT329. Cold regions field investigations*, UNIS Svalbard.

Research on Cold Regions Pavement Engineering in USA and Canada

Forskning på overbygning for veger i kalde strøk i USA og Canada

Ivar Horvli, NTNU, Department of Civil and Transport Engineering, Trondheim, Norway
(ivar.horvli@ntnu.no)

Summary

In spite of new developments in pavement design systems and material utilization, there are still huge challenges in designing cost effective and durable pavements with good maintainability in frost affected areas. Research projects of significant importance are under work in USA and Canada, among these several projects organized by University of Alaska Fairbanks and Anchorage (UAF, UAA), DOT Alaska, DOT Minnesota (MnROAD), Engineer Research and Development Center-Corps of Engineers-Cold Regions Research and Engineering Laboratory ERDC/CRREL, Ministry of Transportation Quebec (MTQ) and Université LAVAL.

INTRODUCTION

Approximately 50 % of the land area in the world has cold climates, e.g. periods of the year where low temperatures, frost, snow and ice will set limits for human activities. In these areas the effects of low temperatures has to be taken into consideration in engineering work, as this may have a considerable influence on the behaviour on roads and highway structures and are making limitations for construction and maintenance work. The effect of frost on pavement structures is highly dependent on the in situ conditions and the materials used, and can be categorized in two main physical aspects, namely frost heave and thaw weakening. Both effects are dependant of the presence of water and frost susceptible materials. In addition, low temperatures also influence the material properties in the pavement. The important properties and parameters in this context are:

- Elastic properties; E-modulus, Resilient modulus (Mr)

- Plastic and visco-plastic properties; permanent deformation
- Material strength; shear strength

The challenge for pavement design in cold climate regions is to choose proper materials and make the structural and geometric design to meet the climate as well as the traffic loads. Strongly linked to the pavement design is also the geometry design of slopes and cuttings as well as the drainage design.

RESEARCH NEEDS STATEMENTS

The Transportation Research Board Frost Action Committee (ATP50) has recommended two research project related to frost and highway problems:

- A. Characterization of Soil and Materials for Susceptibility to Moisture, Frost and Thaw Action
- B. Design Methods for Pavements in Seasonal Frost Areas

Topic A has the following scope:

In many northern countries, states, and provinces, frost action is the primary factor leading to premature pavement deterioration. Two major phenomena are related to frost action:

1. *During winter, the progression of the freezing front in frost-susceptible subgrades can cause an accumulation of segregation ice. The resulting frost heave can reach and even exceed 200 mm. Frost action can lead to excessive roughness and premature cracking.*
2. *During spring thaw, segregation ice melts, inducing excess pore water pressure. The resulting undrained, unconsolidated conditions cause*

significant reductions in the bearing capacity. This loss in pavement stiffness ultimately results in premature pavement damage during springtime trafficking.

The synthesis will review current practices and recent developments in moisture, frost and thaw susceptibility characterization methods for soils and pavement materials. Frost action remains one of the shortfalls of new mechanistic pavement design procedures. The synthesis of practice will provide a strong foundation for future improvements.

Topic B has the following scope:

The synthesis will review the major problems related to frost action on pavements and summarize the design methods currently used and being developed to mitigate these problems. In the context of the new mechanistic-empirical pavement design guide, the proposed synthesis topic is timely. Frost action remains one of the shortfalls of the new guide. The synthesis of practice will provide a strong foundation for future improvements of the new design procedure.

RESEARCH PROJECTS IN USA

AASHTO 2002 Guide

The AASHTO 2002 Guide is now available on the website: <http://www.trb.org/mepdg/>, and is planned to be used in future pavement design in USA. Even when this now is available on internet, it is not to be used in its present form for routine pavement design. The distribution of the present product is made for

information exchange, and for the purposes of introducing the design guide and software to the pavement design and engineering community.

Major developments in the new design guide are the possibilities of using performance testing of materials, use of real load spectra and the adoption of specific climate data and environmental effects. There are however still a considerable need for calibration and verification to in situ conditions, even when the new guide now in principle is available for use. There are in addition still considerable shortcomings in the new guide's ability to include frost effects (associated with frost heave, thaw weakening and weathering caused by freeze/thaw cycles), see also the previous chapter; research needs.

MnROAD

The Minnesota Road Research Project, MnROAD, is a huge outdoor research test site system consisting of 5.6 km test sections on existing roads and a 4.0 km closed loop test site for low volume traffic rural road simulation. The MnROAD Research project is located 40 miles from Minneapolis, and incorporates a variety of electronic sensors and monitoring systems linked to a database. Located in the cold climate area in Minnesota, this provides an excellent opportunity to study the effect of frost and freeze/thaw cycles on pavement materials and structural design.

The data from MnROAD is stored in a huge database, and are made available for researchers all over the world for analyses and interpretations as basis for material and pavement modelling.



Projects under work & future priority projects cover the following issues:

Issue	Currently under work	Priority research and implementation activities	Frost/low temperature related issue
Seasonal loading	•		•
Best practices manuals	•		(•)
Preventive Maintenance Techniques	•	•	
Pavement rehabilitation selection	•		(•)
Use of recycled materials	•	•	(•)
Calibration and implementation of mechanistic designs Design Guide (2002)	•	•	(•) (•)
Evaluation of new technology	•		(•)
Quiet pavement design		•	
Low temperature cracking		•	•
Intelligent compaction		•	
Non-pavement research		•	(•)

Research projects in Alaska

Some projects with focus on cold regions engineering are:

- Long term evaluation of insulated roads & airfields in Alaska
- Park Highway load restriction study field data analyzer
- Cost-effectiveness of hard aggregate sources
- Optimization of anti-icing & sanding operations via mobile data collection in Southeast Alaska

DOT Alaska southeast region (including Juneau) are currently working on research projects on asphalt mix design to mitigate rutting caused by studded tires. The influence of several aggregate qualities is under evaluation as well as the effect of adding rubber (crumb rubber & rubber grains) to reduce rutting caused by wear from studded tires. Promising results have been obtained in the laboratory (significant improved Prall values), and are also followed up with field test sections. Polymer modified binders are

used to enhance the low temperature properties and mitigate low temperature cracking.

Trial sections are established near Fairbanks for improvements on road construction in permafrost areas. "Thermosyphons", self driven cooling systems were developed and occasionally used the last 30- 40 years to keep the thermo-balance in permafrost areas under constructions, such as buildings and roads. Thermosyphons are installed in 3 trial sections in an embankment on a new road project near the University of Alaska Fairbanks in 2004. The fill consists of sand and moraine, but the sides are covered by 30-40 cm of rock capping to make a good air circulation. The road pavement and embankment have instrumentation with thermocouples and cables for data recording. A big scale frost facility is planned in the area near the embankment.

In the 1950-ies a number of field experiments were established in the Fairbanks area by CRREL to develop techniques and improvements in road construction and foundation of several structures. The influence of surface layer colour and type is an example on an issue being studied. A number of reports are available

at CRREL from these studies. A field site was also established in 1998 in a joint project between UAF and CRREL.

RESEARCH PROJECTS IN CANADA

There are outstanding research projects under work on cold regions engineering in Canada. Major projects in the transport infrastructure sector are under work in LAVAL University and Ministry of Transportation Quebec (MTQ). Ongoing projects at LAVAL are:

- Roughness assessment of roads based on the spatial variability of pavement parameters – IRI – software on IRI. (PhD project)
- Study of pavement response and performance during spring thaw. Three test sections are monitored during spring thaw using multidepth deflectometers, strain gauges, moisture sensors and temperature sensors. The test sections include one in-service road near Trois-Rivières, and two test sections in the Laval University road experimental site (SERUL). Deflection testing and condition survey are also carried out at the test sites. Frost heave, thaw consolidation and rigidity are measured at 4 levels in the pavement structure using optic fiber technology. The project also involves the validation of the new “thaw weakening index” and the development of laboratory testing procedures to measure the index.
- The experimental site SERUL is a test facility to study pavement response and performance in real size and time. The road has periodically considerable amount of heavy vehicles with timber transport. Traffic loading can also be made by a standard truck passing over the test section. The test site consists of several test sections with different subgrade soils and different pavement design constructed in an instrumented concrete test pit under traffic. The test sections have possibilities for regulating the water table. The project is financed by several funding agencies and partners where Université LAVAL and Ministry of Transportation Quebec (MTQ) are key partners.
- Adaptation of transportation facilities (airfields and access roads) built on degrading permafrost (MSc and PhD project). The project involves a literature review, an assessment of the condition

of access roads and airfields built in the 1980's and modelling the thermal effect of different adaptation scenarios. The project is supported by Canada DOT and DOT Quebec.

- Several projects dealing with soil properties under frost action /3/, /4/, /5/:
 - Assessment of segregation potential (SP) of unbound material; gravel / crushed rock (theory, ref Konrad & Morgensterne).
 - Frozen water content in unbound aggregate under frost action.
 - Improved models for thermal conductivity of soils
- MSc-project: Effect of Anti-cracking layer to avoid cracking when strengthening severely cracked pavements. A new laboratory equipment is under development to simulate crack propagation in pavement slabs with anti-cracking material and a new layer on top.
- Development of design formulas for unbound base materials for specific applications (High modulus, drainage, gravel roads or shoulders, etc.) The project will be based on laboratory testing of mechanical properties, permeability, frost susceptibility, erosion resistance (a new laboratory testing method is under work) and other tests.
- Project on the development of low-cost surfacing techniques for low volume roads and natural resource access roads.

Several of these projects are parts of a common effort to develop a mechanistic-empirical pavement design method integrating environmental effects as freeze and thaw. A new method is under development being under validation for typical road conditions for Quebec, using the established test sites and reference sections, /1/, /2/, /10/, /11/. This is a project in cooperation with Quebec Ministry of Transportation where the Laboratoire Central des Ponts et Chaussées in France (LCPC) also is involved. The new design approach includes 3 distress parameters; 2 associated with frost heave (IRI and longitudinal cracking) and one associated with the spring thaw (fatigue cracking), see the figures below /1/. A thaw-weakening index based on physical parameters which can easily be measured is developed, showing good correlation with the loss of bearing capacity under the spring thaw period. This can be used as a part of the future new mechanical design approach.

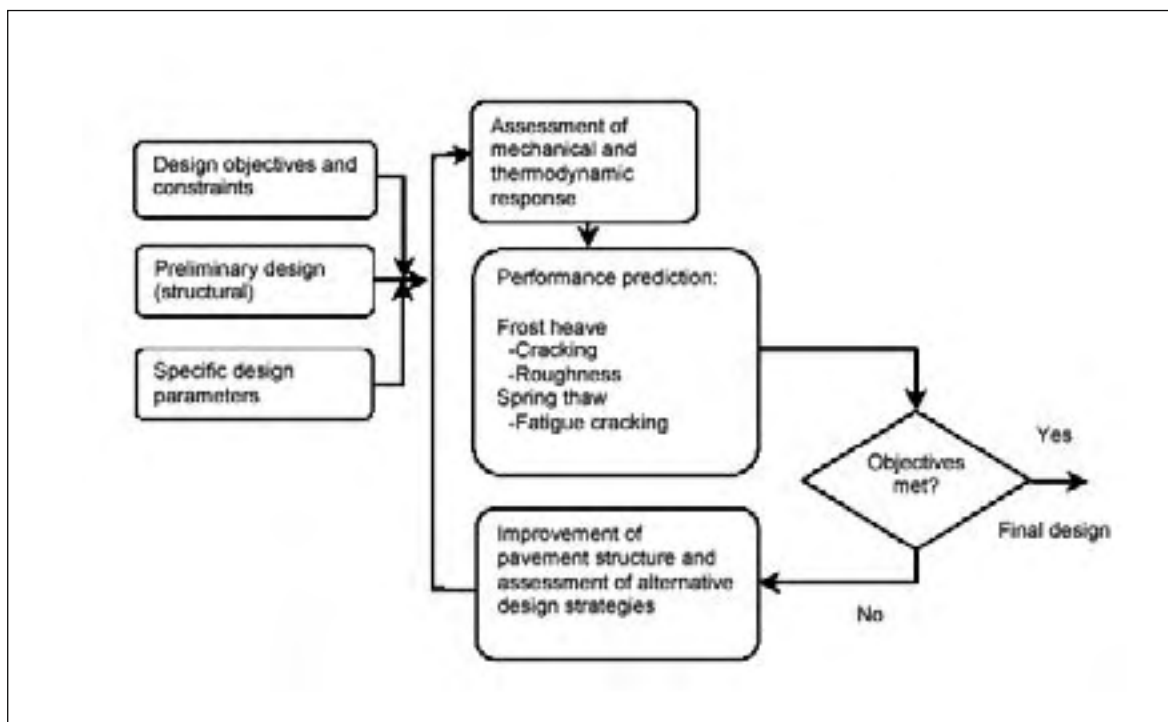


Figure 1: Conceptual outline of the proposed “ADAAGE” procedure for the verification of pavement structures in freezing and thawing conditions /1/.

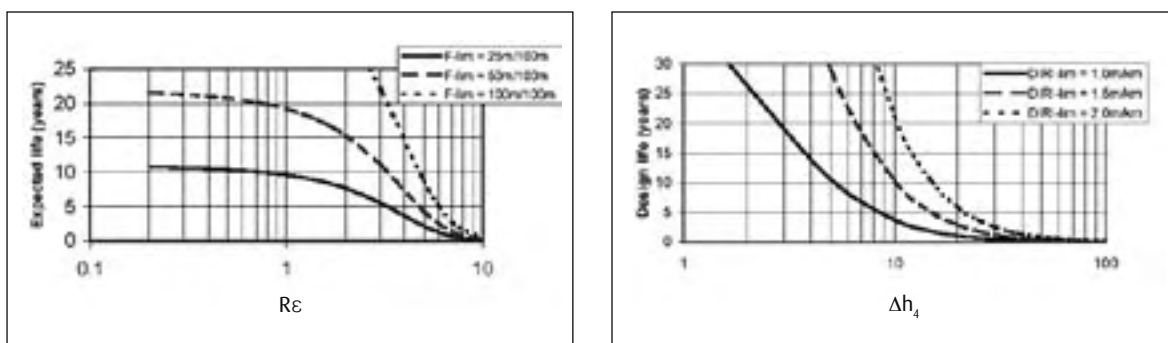


Figure 2: Conceptual pavement life evaluation under consideration of deterioration effects of frost heave /1/.

CONCLUSION

New materials (such as recycled and industrially produced materials) are used in pavement structures, and new pavement design methods are being developed (as Superpave and the 2002 Design guide). There are, however, still strong needs for further research work to obtain durable and cost effective pavements in frost affected areas. In these climate zones deterioration

caused by low temperatures and frost are essential for pavement life, and research needs on cold climate impact are obvious. A lot of research work is going on in USA and Canada to meet the engineering challenges represented by cold climates. There is a need to utilize this knowledge internationally through exchange of knowledge and interaction in research activities.

References

/1/ Guy Doré, ing. PhD, Nelson Rioux, ing., Pascale Pierre, PhD: *Development of a rational design procedure for pavements subjected to frost action*, ISAP 2002, Copenhagen

/2/ De Blois K., Doré G., and Pierre P. 2 : *Use of FWD Time History Data for the Analysis of Seasonal Variation in Pavement Response*, TRB annual meeting CD-ROM, Washington DC, 2005

/3/ Jean Côté and Jean-Marie Konrad: *Thermal conductivity of base-course materials*, Can Geotech Journal 42, 61-78 (2005)

/4/ Jean Côté and Jean-Marie Konrad: *A field study of hoarfrost formation on insulated pavements*, Can Geotech Journal 39, 547-560 (2002)

/5/ Ruth L. Roberson, John Siekmeier (2000), *Determining Frost Depth in Pavement Systems Using a Multi-Segment Time Domain Reflectometry Probe*, TRB Session: Effects of Moisture and Temperature on Pavement Systems

/6/ Hou, L. J; Voller, VR; Sterling, RL: *Progressive Lifting of Shallow Sewers due to Frost Heave Actions: Investigation of a Lumped Parameter Frost Heave Model*, MN/RC-2003-25; Final Report, University Of Minnesota, Minneapolis, Minnesota Local Road Research Board, Minnesota DOT, 2003.

/7/ Radislaw L. Michalowski: *A Constitutive Model of Saturated Soils for Frost Heave Simulations*, Cold Regions Science and Technology, 22 (1993) Pg 47-63, Elsevier Science Publisher, Amsterdam.

/8/ Andrew G. Heydinger: *Evaluation of Seasonal Effects on Subgrade Soils*, TRB record 1821, 2003.

/9/ Michel Boutonnet, Yves Savard, Patrick Lerat, Denis St-Laurent, Nadia Pouliot: *Thermal Aspects on Frost-Thaw Pavement dimensioning: In situ measurement and numerical Modelling*, TRB record 1821, 2003.

/10/ Yves Savard, Michel Boutonnet, Pierre Hornyh, Nadia Pouliot, Kate de Blois, Oilliver Hameury: *Performance Prediction of test Roads in Cold Regions*, 2nd International Conference on Accelerated Pavement Testing, Minneapolis, September 25-29, 2004

/11/ Michel Boutonnet, Yves Savard, Nadia Pouliot, Pierre Hornyh: *Pevement Damage by Cracking under Severe Frost conditions*, 5th RILEM International Conference, Limoges, France, May 5-8, 2004

FHWA / DOT Alaska Reports on cold regions pavement engineering

- FHWA-AK-RD-94-18: Long term evaluation of insulated roads & airfields in Alaska
- AK-RD-98-07: Park Highway load restriction study field data analyzer
- FHWA-AK-RD-02-10: Cost-effectiveness of hard aggregate sources
- FHWA-AK-RD-03-05: Optimization of anti-icing & sanding operations via mobile data collection in Southeast Alaska

Websites

DOT Alaska Statewide Research & Technology Transfer FFY 2003 Annual Report or on-line at the website: www.dot.state.ak.us/stwddes/research/search_lib.html

DOT Alaska Report on ACE and Thermosyphon design for Loftus/UAF new entrance: http://www.dot.state.ak.us/stwddes/research/assets/pdf/fhwa_ak_rd_02_01.pdf

AASHTO 2002 Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide (ME-PDG) (also known as NCHRP 1-37A):

<http://www.trb.org/mepdg/>

MnROAD

<http://www.mnroad.dot.state.mn.us>

<http://www.lrrb.org>

CRREL

<http://www.coldregions.org/>

<http://www.crrel.usace.army.mil/>

Vedlegg 1

Etablering av en midlertidig

Komité for Frost i Jord

Tilknyttet Norsk Geoteknisk Forening

Komit medlemmer

Anne Lise Berggren, Geofrost AS

Geir Berntsen, Statens Vegvesen

Lars Grande, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU)

Ivar Horvli, NTNU, leder for komiteen

Ole Humlum, Universitetet i Oslo (UiO)

Arne Instanes, Opticonsult AS

Ketil Isaksen, Meteorologisk Institutt

Øystein Myhre, Vegdirektoratet

Truls Mølmann, Barlindhaug AS

Anne Gunn Rike, Norges Geotekniske Institutt (NGI)

Hans Boye Skogstad, Norges Byggeforskningsinstitutt (NBI)

Rune Ødegård, Høgskolen i Gjøvik (HiG)

Mandat

Søke å 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.

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
- Terrestabilitet
- Infrastruktur
- Forurensing
- Avfallsbehandling

Grunnfrysing

Materialer

- Termiske
- Styrke og deformasjon
- Permeabilitet
- Telefarlighet

Produkter

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

Forholdet til IPA

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

Establishing a temporary

Committee on Frost in Ground

Affiliated Norwegian Geotechnical Society

Committee members

Anne Lise Berggren, Geofrost AS

Geir Berntsen, Norwegian Public Roads Administration

Lars Grande, Norwegian University of Science and Technology

Ivar Horvli, Norwegian University of Science and Technology, chair

Ole Humlum, University of Oslo

Arne Instanes, Opticonsult AS

Ketil Isaksen, Norwegian Meteorological Institute

Øystein Myhre, Directorate of Public Roads

Truls Mølmann, Barlindhaug AS

Anne Gunn Rike, Norwegian Geotechnical Institute (NGI)

Hans Boye Skogstad, Norwegian Building Research Institute

Rune Ødegård, Gjøvik 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
- 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

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 resyme.

All the publications in the series are out of print, but copies can be produced on demand from the 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. Varmeledningsevnenes 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 varmeparametre (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-Johannesen: 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 mineralske 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: Frostnedtrængning och bjällagsisolering 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. Førøyvik: 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 toppisoleringmetoden (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). Å. 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 Frost-resistant 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. Bespflug*: 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*: Frostsikre gulv på grunnen (Frost Protected Shallow Foundations). *Lars-Erik Janson*: Undersökning av frysrisk for 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 simplified 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 gulv på grunnen. *Erik Algaard*: Frostsikring av kalde konstruksjoner. Frostsikring av gulv, 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 användning 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 tinemengde (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 avløpsystemer 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. Mellerud*: 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. December 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 Sondbø and Alv Orheim*: Experiences from tunnelling in Svalbard. Desember 1987, 43 s.

Publikasjoner fra Teknologivdelingen

Oversikt over eldre publikasjoner fra Teknologivdelingen kan fås ved henvendelse til Statens vegvesen Vegdirektoratet, Arkivet, Postboks 8142 Dep., 0033 Oslo.

50. J. P. G. LOCH. Frost heave mechanism and the role of the thermal regime in heave experiments on Norwegian silty soils. K. FLAATE, P. SELNES. Side friction of piles in clay. K. FLAATE, T. PREBER. Stability of road embankments in soft clay. A. SØRLIE. The effect of fabrics on pavement strength – Plate bearing tests in the laboratory. S. L. ALFHEIM, A. SØRLIE. Testing and classification of fabrics for application in road constructions. 48 p. 1977.
51. E. HANSEN. Armering av asfaltdekker (Reinforced bituminous pavements). T. THURMANN-MOE, R. WOLD. Halvsåling av asfaltdekker (Resurfacing of bituminous pavements). A. GRØNHAUG. Fremtidsperspektiver på fullprofilboring av vegtunneler (Full face boring of road tunnels in crystalline rocks). E. REINSLETT. Vegers bæreevne vurdert ut fra maksimal nedbøyning og krumming (Allowable axle load (technically) as determined by maximum deflection and curvature). 52 p. 1978.
52. T. THURMANN-MOE, S. DØRUM. Lyse vegdekker (High luminance road surfaces). A. ARNEVIK, K. LEVIK. Erfaringer med bruk av overflatebehandlinger i Norge (Experiences with surface dressings in Norway). J. M. JOHANSEN. Vegdekkers jevnhet (Road roughness). G. REFSDAL. Vegers bæreevne bestemt ved oppgraving (indeksmetoden) og nedbøyningsmåling. Er metodene gode nok? (Road bearing capacity as decided by deflection measurements and the index method). 44 p. 1980.
53. E. HANSEN, G. REFSDAL, T. THURMANN-MOE. Surfacing for low volume roads in semi arid areas. H. MTANGO. Dry compaction of lateritic gravel. T. THURMANN-MOE. The Otta-surfacing method. Performance and economy. G. REFSDAL. Thermal design of frost proof pavements. R. G. DAHLBERG, G. REFSDAL. Polystyrene foam for lightweight road embankments. A. SØRLIE. Fabrics in Norwegian road building. O. E. RUUD. Hot applied thermoplastic road marking materials. R. SÆTERS DAL, G. REFSDAL. Frost protection in building construction. 58 p. 1981.
54. H. ØSTLID. High clay road embankments. A. GRØNHAUG. Requirements of geological studies for undersea tunnels. K. FLAATE, N. JANBU. Soil exploration in a 500 m deep fjord, Western Norway. 52 p. 1981.
55. K. FLAATE. Cold regions engineering in Norway. H. NOREM. Avalanche hazard, evaluation accuracy and use. H. NOREM. Increasing traffic safety and regularity in snowstorm periods. G. REFSDAL. Bearing capacity survey on the Norwegian road network method and results. S. DØRUM, J. M. JOHANSEN. Assessment of asphalt pavement condition for resurfacing decisions. T. THURMANN-MOE. The Otta-surfacing method for improved gravel road maintenance. R. SÆTERS DAL. Prediction of frost heave of roads. A. GRØNHAUG. Low cost road tunnel developments in Norway. 40 p. 1983.
56. R. S. NORDAL. The bearing capacity, a chronic problem in pavement engineering? E. REINSLETT. Bearing capacity as a function of pavement deflection and curvature. C. ØVERBY. A comparison between Benkelman beam, DCP and Clegg-hammer measurements for pavement strength evaluation. R. S. NORDAL. Detection and prediction of seasonal changes of the bearing capacity at the Vormsund test road. P. KONOW HANSEN. Norwegian practice with the operation of Dynaflect. G. REFSDAL, C-R WARNINGHOFF. Statistical considerations concerning the spacing between measuring points for bearing capacity measurements. G. REFSDAL, T. S. THOMASSEN. The use of a data bank for axle load policy planning and strengthening purpose. T. S. THOMASSEN, R. EIRUM. Norwegian practices for axle load restrictions in spring thaw. 80 p. 1983.
57. R. S. NORDAL, E. HANSEN (red.). Vormsund forsøksveg. Del 3: Observasjoner og resultater (Vormsund Test Road, Part 3: Observations and Results). 168 p. 1984.
58. R. S. NORDAL, E. HANSEN (red.). The Vormsund Test Road. Part 4: Summary Report. 82 p. 1987.
59. E. LYGREN, T. JØRGENSEN, J. M. JOHANSEN. Vannforurensning fra veier. I. Sammendragsrapport. II. Veiledning for å håndtere de problemer som kan oppstå når en veg kommer i nærheten av drikkevannforekomst (Highway pollution). 48 p. 1985.
60. NRRL, ASPHALT SECTION. Surfacing for low volume roads. T. E. FRYDENLUND. Superlight fill materials. K. B. PEDERSEN, J. KROKEBORG. Frost insulation in rock tunnels. H. ØSTLID. Flexible culverts in snow avalanche protection for roads. K. FLAATE. Norwegian fjord crossings why and how. H. S. DEIZ. Investigations for subsea tunnels a case history. H. BEITNES, O. T. BLINDHEIM. Subsea rock tunnels. Pre-investigation and tunnelling processes. 36 p. 1986.
61. Plastic Foam in Road Embankments: T. E. FRYDENLUND. Soft ground problems. Ø. MYHRE. EPS – material specifications. G. REFSDAL. EPS – design considerations. R. AABØE. 13 years of experience with EPS as a lightweight fill material in road embankments. G. REFSDAL. Future trends for EPS use. Appendix: Case histories 1-12. 60 p. 1987.
62. J. M. JOHANSEN, P. K. SENSTAD. Effects of tire pressures on flexible pavement structures – a literature survey. 148 p. 1992.
63. J. A. JUNCA UBIERNA. The amazing Norwegian subsea road tunnels. 24 p. 1992.
64. A. GRØNHAUG. Miljøtiltak ved vegbygging i bratt terreng (Environmental measures for road construction in mountain slopes). Ø. MYHRE. Skumplast uten skadelige gasser (The phase out of hard CFCs in plastic foam). T. JØRGENSEN. Vurdering av helsefare ved asfaltstøv (Evaluation of health risks of dust from asphalt wear). N. RYGG. Miljømessig vegtilpassing (Environmental road adjustment). 52 p. 1992.
65. C. HAUCK. The effect of fines on the stability of base gravel. A. A. ANDRESEN, N. RYGG. Rotary-pressure sounding 20 years of experience. 24 p. 1992.
66. R. EVENSEN, P. SENSTAD. Distress and damage factors for flexible pavements. 100 p. 1992.
67. STEINMATERIALKOMITEEN. Steinmaterialer (Aggregates). 20 p. 1993.
68. Å. KNUTSON. Frost action in soils. 40 p. 1993.

69. J. VASLESTAD. Stål- og betongelementer i løsmassetunneler (Corrugated steel culvert and precast elements used for cut and cover tunnels). J. VASLESTAD. Støttekonstruksjoner i armert jord (Rein forced soil walls). 56 p. 1993.
70. SINTEF SAMFERDSELSTEKNIKK. Vegbrukers reduserte transportkostnader ved opphevelse av telerestriksjoner (Reduced transportation costs for road user when lifting axle load restrictions during spring thaw period). 144 p. 1993.
71. R. Evensen, E. Wulvik. Beregning av forsterkningsbehov basert på tilstandsvurderinger – 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. T. BÆKKEN, T. JØRGENSEN. Vannforurensning fra veglangtidseffekter (Highway pollution – long term effect on water quality). 64 p. 1994.
74. J. VASLESTAD. Load reduction on buried rigid pipes. J. VASLESTAD, T. H. JOHANSEN, W. HOLM. Load reduction on rigid culverts beneath high fills, long-term behaviour. J. VASLESTAD. Long-term behaviour of flexible large-span culverts. 68 p. 1994.
75. P. SENSTAD. Sluttrapport for etatsatsingsområdet «Bedre utnyttelse av vegens bæreevne» («Better utilization of the bearing capacity of roads, final report»). 48 p. 1994.
76. F. FREDRIKSEN, G. HASLE, R. AABØE. Miljøtunnel i Borre kommune (Environmental tunnel in Borre Municipality). F. FREDRIKSEN, F. OSET. GEOPLOT – dak-basert presentasjon av grunnundersøkelser (GEOPLOT – CAD-based presentation of geotechnical data). 48 p. 1994.
77. R. KOMPEN. Bruk av glideforskaling til brusøyler og -tårn (Use of slipform for bridge columns and towers). 16 p. 1995.
78. R. KOMPEN. Nye regler for sikring av overdekning (New practice for ensuring cover). R. KOMPEN, G. LIESTØL. Spesifikasjoner for sikring av armeringens 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. W. ELKEY, E. J. SELLEVOLD. Electrical resistivity of concrete. 36 p. 1995.
81. Å. KNUTSON. Stability analysis for road construction. 48 p. 1995.
82. A. ARNEVIK, E. WULVIK. 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 etatsatsingsområdet «Teknisk utvikling innen bru- og tunnelbygging» («Technical development – bridge and tunnel construction, final report»). 20 p. 1996.
84. OFU Gimsøystraumen bru. Sluttrapport «Prøvereparasjon og produktutvikling» («Trail repairs and product development, final report»). 156 p. 1997.
85. OFU Gimsøystramen bru. Sluttrapport «Klimapåkjenning og tilstandsvurdering» («Climatic loads and condition assessment, final report»). 248 p. 1998.
86. OFU Gimsøystraumen bru. Sluttrapport «Instrumentering, dokumentasjon og verifikasjon» («Instrumentation, documentation and verification, final report») 100 p. 1998.
87. OFU Gimsøystraumen 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 Gimsøystraumen bru. Anbefalinger for instrumentert korrosjonsovervåkning av kystbruer i betong. (Recommendations for instrumental corrosion monitoring of coastal concrete bridges). 60 p. 1998
89. OFU Gimsøystraumen bru. Hovedresultater og oversikt over sluttokumentasjon (Main result and overview of project reports). 24 p. 1998.
90. J. KROKEBORG. Sluttrapport for Veg-grepsprosjektet «Veg-grep på vinterveg» («Studded tyres and public health, final report»). 52 p. 1998.
91. A. GRØNHAUG. Tunnelkledinger (Linings for water and frost protection of road tunnels). 68 p. 1998.
92. J. K. LOFTHAUG, J. MYRE, F. H. SKAARDAL, R. TELLE. Asfaltutviklingsprosjektet i Telemark (Cold mix project in Telemark). 68 p. 1998.
93. C. ØVERBY. A guide to the use of Otta Seals. 52 p. 1999.
94. I. STORÅS et al.: Prosjektet HMS – sprøytebetong (Fullscale testing of alkali-free accelerators). 64 p. 1999.
95. E. WULVIK, O. SIMONSEN, J. M. JOHANSEN, R. EVENSEN, B. GREGER. Funksjonskontrakt for lav trafikkveg: 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. K. I. DAVIK, H. BUVIK. Samfunnstjenlige vegtunneler 1998–2001 (Tunnels for the citizen, final report). Sluttrapport. 94 p. 2001.
98. K. MELBY et al. Subsea road tunnels in Norway. 28 p. 2002.
99. J. VASLESTAD. Jordnagling (Soil nailing). 52 p. 2002.
100. T. E. FRYDENLUND, R. AABØE et al. Lightweight filling materials for road construction. 56 p. 2002.
101. A. PALMSTRØM, B. NILSEN, K. BORGE PEDERSEN, L. GRUNDT. Miljø- og samfunnstjenlige tunneler; Riktig omfang av undersøkelser for berganlegg (Appropriate amount of investigations for underground rock constructions). 134 p. 2003.
102. J. S. RØNNING. Miljø og samfunnstjenlige tunneler; Delprosjekt A, Forundersøkelser – Sluttrapport (New geological and geophysical methods for tunnel investigations). 68 p. 2003.
103. K. KARLSRUD, L. ERIKSTAD, P. SNILSBERG. 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 water quality 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 (redaktør) m. fl. forfattere. Frost i Jord 2005 (Frost in Ground 2005). 80 p. 2005.

Teknologiavdelingen

Organisasjon

Teknologiavdelingen ble etablert 1. januar 2003. Avdelingen består av tre seksjoner i Oslo og én i Trondheim:

SEKSJON FOR GEO- OG TUNNELTEKNIKK SEKSJON FOR MATERIALTEKNIKK SEKSJON FOR BRUTEKNIKK ADMINISTRASJON Telefon 22 07 35 00	Postadresse: Statens vegvesen Vegdirektoratet Teknologiavdelingen Postboks 8142 Dep 0033 Oslo	 Brynsengfareet 6A - Oslo
VEG- OG TRAFIKKFAGLIG SENTER Telefon 73 95 46 30	Postadresse: Statens vegvesen Vegdirektoratet Teknologiavdelingen Postboks 8142 Dep 0033 Oslo	 Abels gate 5 - Trondheim

Oppgaver

Hovedoppgavene er å drive forsknings- og utviklingsarbeid og være rådgiver innenfor avdelingens fagområder. I arbeidet inngår kurs, opplæringsvirksomhet og rekruttering.

Besøksadresse i Oslo: Brynsengfareet 6 a
Besøksadresse i Trondheim: Abels gate 5.
e-post: firmapost@vegvesen.no

www.vegvesen.no



Statens vegvesen

Statens vegvesen Vegdirektoratet
Postboks 8142 Dep
N - 0033 Oslo

Tlf. (47) 22 07 35 00
E-post: publvd@vegvesen.no

ISSN 1504-5064