

# Frostsikring av rørledninger i mark

**Frost protection of water and sewer pipes in the ground**

Av sivilingeniør Per Gundersen  
Norges byggforskningsinstitutt

Norges byggforskningsinstitutt

**NORGES BYGGFORSKNINGSINSTITUTT**



# Frostsikring av rørledninger i mark

Av siv.ing. Per Gundersen, Norges byggforskningsinstitutt

Hvilke metoder kan benyttes for å sikre vann- og avløpsledninger mot ytre påkjenninger som følge av frost?

Artikkelen belyser forskjellige generelle sider ved problemet og angir noen metoder som kan benyttes for å beskytte ledningene mot frost. Jordmateriales og snøens innvirkning på teledypet behandles. Som det vil fremgå av det etterfølgende er det av meget stor nasjonaløkonomisk interesse å få utredet dette spørsmål. Norges byggforskningsinstitutt har tatt opp et større utredningsarbeid om disse problemene.

## *Økonomiske perspektiver.*

For å kunne løse de stadig mer alvorlige vannforsynings- og kloakkavløpsproblemer på en tilfredsstillende måte, kreves det milliardinvesteringer i de kommende år. Det er gjort omfattende undersøkelser som viser at investeringsbehovet på denne sektoren i Norge under ett kommer opp i 25 milliarder kroner fram til år 2000. Hertil kommer vann- og kloakksystemer for den økende fritidsbebyggelse som i Østlandsfylkene krever ytterligere tre milliarder. Man kan grovt regne at ca. 70 % av de totale utgiftene til vann- og avløpsanlegg faller på ledningsarbeider. Størstedelen av dette arbeidet utføres av grunnarbeider som grøftegraving, sprengning og gjenfylling. Kostnadene i forbindelse med graving, sprengning og gjenfylling øker som regel progressivt med grøftedybden. Rent nasjonaløkonomisk vil man selv ved små reduksjoner i grøftedybden kunne spare betydelige beløp. Dette er særlig tilfellet når ledningene skal legges i fjellgrunn.

## *Praktiske begrensninger.*

Når det skal legges et grunt ledningsnett, er det viktig å ta med i betraktningen alle de aktuelle ledningstyper som skal legges i samme grøft. Vi har vanligvis tre typer ledninger: vann- og avløpsledninger til og fra husinstallasjoner og avløpsledninger for overflate- og dreisvann. Disse typer finnes både som hoved- og stikkledninger. Hver type ledninger skal fylle meget bestemte funksjoner. Dette medfører at de har forskjellige karaktertrekk også i frostteknisk henseende.

De overnevnte ledningstyper kan legges enkeltvis ned i en grøft, men vanligvis legger man av økonomiske og praktiske grunner samtlige hovedtyper ned i en og samme grøft. Det vil da komme inn en rekke praktiske problemer i forbindelse med leggedybden i tillegg til de frosttekniske problemer. For eksempel må alle avløpsledninger legges med fall. Leggedybden for disse ledninger vil følgelig bl. a. være avhengig av terrenget og husenes plassering i terrenget.

Det samme er tilfellet for overflate- og dreisvannledningene. Hovedvannledninger kan p.g.a. en kontinuerlig vannstrømning legges betydelig over telegrensen; dette krever imidlertid som regel at mindre avgreningsledninger må frostsikres spesielt.

Byggehøyden på brannventiler, trafikkbelastning, kryssing av dreisgrøfter og kabler etc., kan også være avgjørende faktorer for leggedybden.

Som en konklusjon på det overnevnte ser vi at det er nødvendig å samordne prosjektering og anlegg av veier, vann, avløp, el. kabler, fundamenter osv. hvis det skal legges grunne ledninger.

Dette har man f. eks. mulighet for å gjøre ved anlegg av nye hovedvannledninger mellom vannkilde og fordelingsnett og ved prosjektering av sammenhengende naturlige avsluttede boligfelt.

Vi vil i det følgende betrakte de forskjellige ledningstyper ut fra et rent frostteknisk synspunkt.

## *Vannledninger.*

### *1. Hovedvannledninger.*

Disse har vanligvis kontinuerlig vannstrømning. Hvis vanntempera-

turen er over frysepunktet, kan man, med å utnytte det varmemagasin som ligger i vannets egenvarme redusere grøftedybden. Svenskene har utarbeidet et forslag til leggeanvisninger der de har tatt hensyn til disse forhold. [1]. For store ledninger med kontinuerlig vannstrømning kan varmetilførselen være så betydelig at det ikke lenger er teledypet som er den avgjørende faktor for bestemmelse av leggedybden.

Mange av våre vannverk tar imidlertid vann fra elver og bekker som om vinteren kan ha underkjølt vann. Her kan man risikere frysing selv om ledningene er gravd ned i frostsikker dybde, hvis vannstrømningen skulle bli liten, f. eks. om natten.

I de tilfeller hvor vi i perioder eller kontinuerlig har en vannstrømning, kan det være aktuelt å isolere ledningen. Dette vil redusere vannets temperaturfall i ledningen og tillate lengere driftsstopper. Under disse forhold vil det være vannets temperatur, ledningens lengde og driftsstoppenes lengste varighet som er avgjørende for leggedyp og isolasjonstykkelser. Det må kreves at hovedvannledningen kan tåle å stå avstengt en viss tid, f. eks. 20 timer, uten at mer enn 5—10 % av rørtverrsnittet fryser igjen under de mest ekstreme frostpåkjenninger.

Man skal imidlertid være oppmerksom på at isolasjonen vil redusere rørets varmeavgivelse til omgivelsene. Dette kan medføre at frosten kan trenge ned under røret og ødelegge dette hvis grunnen er telefarlig.

### *2. Stikkledninger.*

I stikkledninger kan vannstrømningen opphøre i lengere perioder. For at disse ledningene skal være frostsikre legges de vanligvis under den maksimale nedtrengningsdybde for O-isotermen. Hvis ledningene ligger over den overnevnte dybde, er det nødvendig å kompensere for ledningenes varmetap til omgivelsene med en varmetilførsel. Varmen kan f. eks. tilføres ved hjelp av elektriske varmekabler. Dette kan foregå på to forskjellige måter. I det ene tilfellet kan det benyttes en type varmekabel med kobbermantel som tillates lagt inne

i vannledningen. Denne fordel at man hurtig kan tine opp selv større ledninger med beskjedne effekter. Videre kan den trekkes inn i allerede nedgravde rør. Den andre metoden går ut på å legge varmekablen utenpå rørløpningen. Man har da mulighet for å regulere varmetilførselen til spesielle utsatte deler, f. eks. ventiler o. l., ved å vikle varmekablen flere ganger rundt disse. Begge typer kan tilkobles lysnettet direkte.

For kortere ledningsstrekker må det imidlertid benyttes en transformator da de vanlige varmekablene har relativt liten motstand pr. meter. Når frostsikringen foregår ved hjelp av varmekabler, kreves det at strømmen må tilkobles når det er behov for det. Dette kan gjøres manuelt eller automatisk ved hjelp av termostater, urbrytere, vannmålere etc.

Det vil i mange tilfeller være ønskelig å ha en permanent frostsikring. Bl. a. har det vært hevdet fra vannverkfolks side at mange lar vannet renne istedenfor å benytte varmekablene til å holde ledningen frostfri.

Som nevnt over kan man oppnå en permanent frostsikring hvis ledningen legges under den maksimale nedtrengningsdybde for O-isotermer. Av sikkerhetsmessige grunner har det lenge vært praksis å legge vann- og avløpsledninger på et nivå som svarer til det størst observerte teledyp på stedet. Når det ikke tas hensyn til jordart, terreng og snøforhold, vil dette kunne føre til unødvendig dype grøfter. Viktige spørsmål er da: Hvor dypt trenger telen ned i de forskjellige materialer under varierende klimaforhold, og har vi noen mulighet for å kontrollere, evt. redusere, teledypen?

Vi vil komme nærmere inn på dette i avsnittene om teledyp og telesolering.

#### Avløpsledninger.

Avløpsrørene er dimensjonert så de aldri går fulle, og stikkledningene kan stå tomme i lengere perioder. Stikkledningene vil periodvis ha store vannmengder med høye temperaturer. Dette medfører igjen en større varmeavgivelse til omgivelsene. I rent frostteknisk henseende er avløpsledningene langt gunstigere stillet enn vannledningene. Imidlertid må avløpsrørene legges med fall, og det må

kreves at de er tette. Det siste kravet er nødvendig for å forhindre forurensning av grunnvannet og nedsettelse av renseanleggenes effektivitet. Dette medfører at avløpsledningene må beskyttes mot skadelig telehivning. Som regel stilles det samme krav til leggedybde for avløpsledninger som for vannledninger.

#### Overflate- og dreisvannledninger.

Om vinteren har avløpsledninger for overflate- og dreisvann som regel ingen eller bare liten vannstrømning. Ledningene har ofte kommer som står i åpen forbindelse med markoverflaten uten vann- eller sandlås. Dette medfører at man kan få en kraftig, kald luftstrøm i ledningen. Vannrør som ligger nær en overflatevannledning kan derfor i ugunstige tilfeller fryse selv om de ligger under et nivå som svarer til maksimal teledybde på stedet. Rent generelt bør avstanden mellom vanlige vannledninger og overflatevannledninger aldri være for liten.

#### Teledyp.

For å kunne besvare de tidligere stilte spørsmål må vi se på hvilke faktorer som er bestemmende for teledypen.

Den termiske tilstand i grunnen er bl. a. bestemt av følgende faktorer:

1. Lufttemperaturen.
2. Overgangsmotstanden mellom luft og jordoverflaten. Det totale varmeovergangstall er summen av varmeovergangstallene for fri og tvungen konveksjon, stråling, fordampning og kondensasjon.
3. Grunnmaterialets egenskaper. (Varmeledningsevne, varmekapasitet, fuktinnhold etc.).
4. Grunnvannstanden.

Varmetilførselen fra jordas indre, den såkalte geotermiske varmestrøm, er hos oss i gjennomsnitt ca. 0,05 kcal/m<sup>2</sup>h. Dette svarer til en temperaturøkning på 0,03° C/m. Denne varmestrømmen er ubetydelig i forhold til de varmestruer vi vanligvis har i grunnen, men den får betydning for områder med permafrost.

De årlige temperaturvariasjoner i grunnen er et overflatefenomen som havbølgene, og dempes hurtig i dybden. Allerede i en bølgelengdes dybde i grunnen, ca. 20 m i

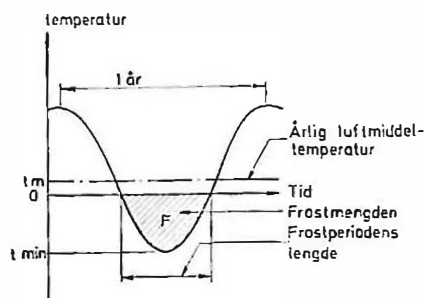


Fig. 1. Den årlige lufttemperaturvariasjon avbildet som en sinus kurve.

fjell og ned til noen få meter i fuktige materialer, er amplituden redusert til 1/1000 av lufttemperaturamplituden. I denne dybden har vi en konstant temperatur lik middeltemperaturen for hele året.

Den årlige lufttemperaturvariasjon kan statistisk uttrykkes som en ren sinusfunksjon. Begrepet frostmengde F kan benyttes som et mål for vinterens strenghet og er i fig. 1 vist som det skraverte areal. Luftas og jordas årlige middeltemperatur regnes ofte like. Imidlertid er jordas årlige middeltemperatur noe høyere, bl. a. p.g.a. snødekke.

Det er grunnens fuktinnhold som er av avgjørende betydning for teledypen p.g.a. vannets store innfrysingsvarme. En økning av grunnmaterialets vanninnhold vil derfor bevirke en sterkt økende kuldemagasinerende evne, og som følge av dette vil frostens nedtrengningsdybde reduseres. Grunnens fuktinnhold kan variere sterkt p.g.a. nedbør, fordampning og kondensasjon. Både varmeledningsevne og varmekapasitet er direkte avhengig av fuktinnholdet.

For de grovkornige materialer kan man regne med et vanninnhold under teleperioden som svarer til materialets adsorpsjonsmetningsgrad. I finkornige materialer kan det finne sted en fuktvandring mot frostsonen, så vanninnholdet kan overstige metningsgraden. Dette overskuddsvannet vil fryse, og det kan dannes islinser. P.g.a. vannet volumøkning (9 %) ved frysning, vil islinsedannelsen medføre at vi får telehivning.

I slutten av 1950-årene ble det utarbeidet et teledypkart for Norge. [2]. Det er her inntegnet telesobater som forbinder steder som har like store maksimale teledyp. Kartet er utarbeidet på grunnlag av erfaringsverdier og gjelder for sandig grus uten snødekke. Det er derfor nødvendig å korrigere

Materialbetegnelse	Spesifikk vekt av lørt matr.	Sp. varmeledn. evne		Fuktig - hetsinnh.	Korrek - sjons - faktor
	kg / m <sup>3</sup>	kcal/m.h. °C		vekt %	
	$\gamma$	$\lambda_1$ frosset	$\lambda_2$ ufross.	W	$\alpha$
1. Stein ( Pukk, steinfylling, stenig grus )	1800	1,2	1,2	2	1,4
2. Sand og grus ( Sandig grus, stenig morene )	1800	2,0	1,6	8	1,0
3. Silt ( kvabb ) ( Mjelig morene, sandig mo )	1600	2,4	1,6	14	0,85
4. Leire og blandingsjord ( Leirholdige morenearter )	1400	1,2	0,9	20	0,5
5. Torv	200	1,0	0,4	100	0,3

Tabell 1. Multiplikasjonsfaktorer for bestemmelse av teledyp i forskjellige materialer. Maksimale teledyp for sandig grus uten snødekke bestemmes fra teledypskart for Norge.

de avleste verdier når jordas beskaffenhet er en annen.

Svenskene har ved tallrike systematiske målinger gjennom en årrekke fått et øket kjennskap til teledyp i forskjellige materialtyper. [3]. De har kommet fram til en langt sterkere differensiering av teledybden i ulike jordarter enn det som er vanlig praksis her.

Tabell 1 er hentet fra overstående referanse. Det er utført noen mindre endringer og forenklinger av tabellen for å kunne benytte våre vanlige materialbetegnelser. Materialenes spesifikke ledningsevne er bestemt ved å benytte en ikke-stasjonær varmestromsmetode. Fuktighetsinnholdet for silt, leire og torv er av sikkerhetsmessige hensyn valgt lave. Disse materialers fuktighetsinnhold vil være noe lavere i rørgrofter enn i naturlig mark. Her skal vi særlig merke oss det organiske materiale torv som har stor praktisk betydning. Anvendelsen av torv vil bli omtalt senere i forbindelse med teleisolering.

En annen faktor som har stor betydning for teledybden, er snødekke. Hvis ledningene skal legges i snødekke mark, bør man ta hensyn til dette når teledypet skal bestemmes. Sannsynligheten for at en ekstremt kald vinter skal ha et minimalt snødekke er liten. Den ovennevnte kombinasjon vil gi meget ugunstige forutsetninger, og det kan tenkes at det vil være økonomisk riktig å sikre at rørene kan tines, hvis de skulle fryse. For å kunne kalkulere med snøen, må

man kjenne middelsnødybden under teleperioden og snøens spesifikke ledningsevne. Snøens spesifikke ledningsevne er direkte avhengig av romvekten (porøsiteten) som igjen er meget variabel. Ved å sammenligne teledyp for snødekke og snøfri mark, har svenskene kommet fram til en ekvivalent ledningsevne for snødekke som funksjon for stedets årsmiddeltemperatur.

Tabell 2 viser at snøen har størst betydning for reduisering av teledypet på steder der luftas årsmiddeltemperatur er lav. Den ekvivalente ledningsevne er betydelig høyere enn snøens spesifikke ledningsevne som varierer fra 0,05 kcal/mh°C for nysnø til ca. 0,2 kcal/mh°C for tung snø. Årsaken til dette er at snødekke stadig endres. Det foregår en tilvekst,

Årsmiddeltemperatur	Ekvivalentledningsevne for snø
$t_m$ [ °C ]	$\lambda'_{snø}$ [ kcal/m.h. °C ]
$t_m < 0,5$	$\leq 0,1$
$0,5 \leq t_m \leq 1,5$	0,2
$1,5 < t_m \leq 5$	0,4
$5 < t_m$	0,6

Tabell 2. Ekvivalent varmeledningsevne for snø som funksjon av stedets årsmiddeltemperatur. Tallene bygger på observerte data for snøtykkelser og teledyp i snødekke og snøfri mark.

smelting og sammenpakking. Antallet mildværsperioder der snødekke smelter, tiltar jo høyere årsmiddeltemperaturen er.

Teledybden for snødekke mark kan med tilstrekkelig nøyaktighet bestemmes av formelen:

$$x_{snø} = x_0 - \frac{\lambda_1}{\lambda'_{snø}} d \quad (1)$$

$x_{snø}$  = teledybden for snødekke mark  
 $x_0$  = teledybden for snøfri mark  
 $\lambda_1$  = grunnmaterialets sp. varmeledningsevne i frosset tilstand  
 $\lambda'_{snø}$  = snødekkes ekvivalente varmeledningsevne

$d$  = middelsnøtykkelsen under teleperioden. Her kan man gå ut fra normale eller minimale snødybder avhengig av hvilken grad av sikkerhet man ønsker å ha i anlegget.

Den meget brukte håndregel som sier at teledybden i snødekke mark er lik teledybden i snøfri mark redusert med den overnevnte snøtykkelse gir alltid verdier på den sikre siden. Forholdet

$$\frac{\lambda_1}{\lambda'_{snø}}$$

ligger som regel mellom 1 og 4.

#### Teleisolering.

Når man først er klar over hvilke faktorer som er bestemmende for teledybden, har man mulighet for å påvirke denne. Man kaller gjerne tiltak som resulterer i en redusert teledybde for en teleisolering.

NSB har med stort hell benyttet masseutskiftningsmaterialer med høyt fuktighetsinnhold som et kuldeabsorberende middel for å forhindre telehivning på banelevene. Det telefarlige materiale i fryseseonen erstattes med et lag torv, bark eller annet materiale som har evne til å holde på fuktigheten.

Vanligvis kombineres det underliggende kuldemagasin med et overliggende bærelag med en lav varmeledningsevne. Dimensjonering av kuldemagasinet størrelse er relativt enkel da en direkte kan benytte frostmengden som et mål for vinterens strenghet. Vanskeligheten med denne metoden er at den krever at utskiftningsmaterialet holdes fuktig. Hvis det tørker ut, er frostbeskyttelsen borte. Hvis denne metode skal benyttes til å frostsikre rørledninger, er det viktig å ta hensyn til korrosjonsproblemer.

Ved masseutskifting oppnår man en reduksjon av teledybden ved en kombinasjon av et varmemagasin og et overliggende varmeisolerende lag. Man kan imidlertid tenke seg at hvis det overliggende isolasjonslag ble gjort effektivt nok, ville dette alene kunne forhindre frostens nedtrengning. Det er gjort mange forsøk som bekrefter dette. På grunn av stråling vil en reduksjon i jordas spesifikke ledningsevne bevirke at forskjellen mellom jordoverflate- og lufttemperaturer blir større. Når det legges et isolasjonslag nær overflaten, vil årsmiddeltemperaturen under isolasjonen kunne bli betydelig høyere enn årsmiddeltemperaturen i lufta.

Vanskelighetene med denne metoden har vært at man ikke har hatt praktisk brukbare materialer for formålet. Forbedrede produksjonsmetoder har imidlertid i den senere tid gjort det mulig å fremstille egnede isolasjonsmaterialer som skumplast, Leca og forskjellige mineralullprodukter til en rimelig pris.

Det er utført en rekke forsøk bl. a. i USA, Sverige og Norge med disse materialer. Det er særlig i vei- og jernbaneanlegg de er benyttet. [4], [5], [6]. Da disse forsøk er falt heldig ut, er det meget som taler for at denne metode også vil vinne innpass til frostsikring av vann- og avløpsledninger. Denne frostsikringsmetode er fundamentalt forskjellig fra kuldemagasin-

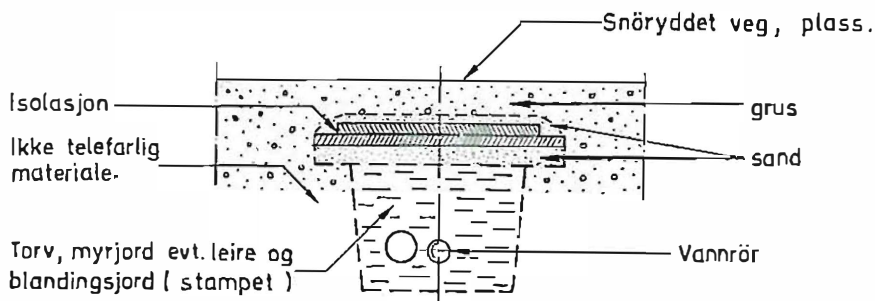


Fig. 2a.

Rørgrøft teleisolert med isolasjonsmatter.

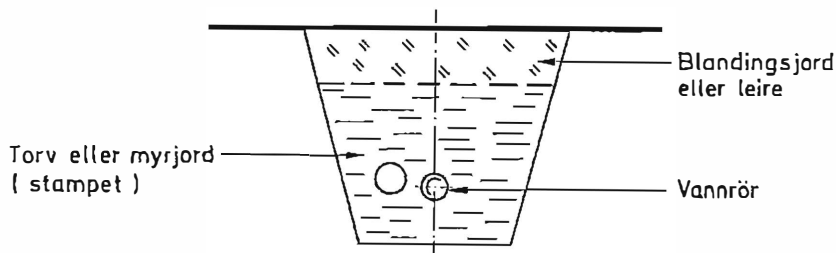


Fig. 2b.

Rørgrøft teleisolert med fuktige materialer.

ringsmetoden. Isolasjonsmetoden har sin særlige berettigelse hvis man kan få nyttiggjort seg jordvarmen, en faktor som uten større feil kan ignoreres ved magasinmetoden. I tillegg til jordvarmen nyttiggjøres også varmeavgivelse fra vann- og avløpsledninger. Fig. 2a og b viser hvorledes teleisoleringen kan utføres i rørgrøfter.

Fig. 2a viser en rørgrøft isolert med skumplast- eller mineralullmatter. Fig. 2b viser en rørgrøft med torv isolasjon. Her er det viktig å ha et torvlag både under og på sidene av røret.

Når rørene isoleres med matter, er det viktig at isolasjonsbredden er tilstrekkelig stor. Denne bredde er bl. a. avhengig av spesifikk varmeledningsevne for materialet under isolasjonen. Det er også viktig at det ikke forekommer kuldebroyer i isolasjonen. Man bør derfor benytte to lag med isolasjon med god overlappning i skjotene hvis det benyttes plater (matter) av mineralull eller skumplast.

Isolasjonslaget bør legges så nær overflaten som praktisk mulig slik at størst mulig varmemagasin blir liggende under isolasjonen og over vannrørene.

En forutsetning for at denne metoden skal benyttes, er at isolasjonslaget beholder sin isolasjons-

evne uforandret. Dette er ensbetydende med at isolasjonen skal være relativt tørr. Hvis isolasjonen kunne dekket med et diffusjonstett lag, eventuelt plast både over og under, ville dette ha vært en god løsning. Imidlertid vil det i praksis være vanskelig å sikre full diffusjonstetthet da plasten kan skades under utlegging eller av senere belastninger. I dette tilfellet vil en eventuell fuktighet som slipper inn i isolasjonen vanskelig komme ut igjen.

Det kan være direkte uheldig kun å legge et diffusjonstett lag på oversiden av isolasjonen. Fuktvandringen om vinteren kan føre til en betydelig økning av fuktinnholdet i de øverste deler av isolasjonslaget. [5].

Det er i de senere år utført en del forsøk med å legge isolasjonen ubeskyttet direkte ned i grunnen. Under forutsetning av at grunnen er veldrenert, vil vanninnholdet f. eks. i mineralull eller Leca sjelden overstige 5—10 volumprosent. [5]. Fullskalaforsøk viser at det tilsynelatende impermeable materiale skumplast også kan ta opp en del vann som det senere vanskelig kan avgi. [4]. Derimot er vannabsorpsjonen sterkt avhengig av kvaliteten. Det er materiale med lav romvekt som opptar mest fuktighet.

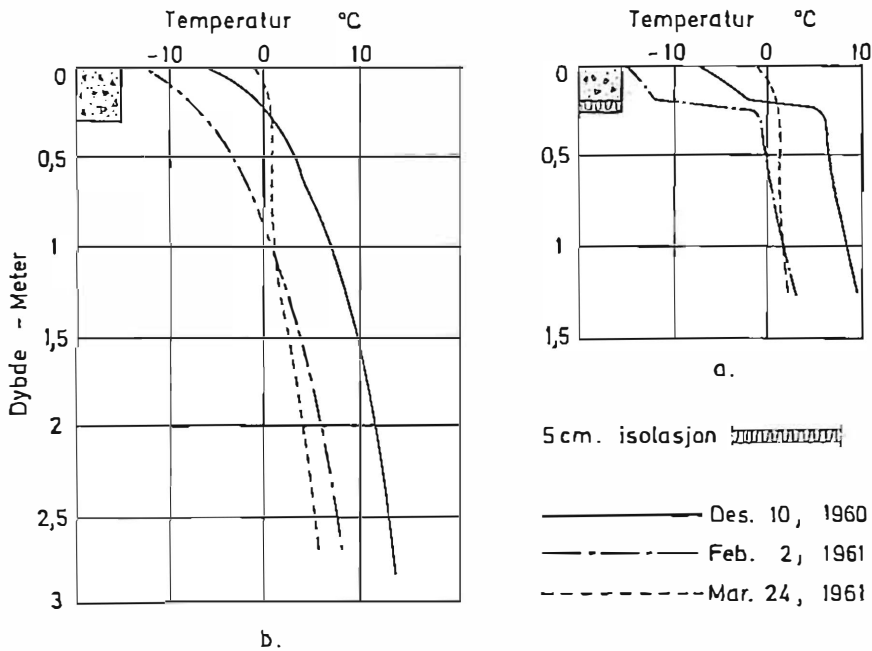


Fig. 3a,b - Temperaturgradienter

Fig. 3 viser temperaturgradienten målt i senter under en rektangulær betongplate. [7]. Platen har dimensjonene (1,5 x 1,5) m og er i (a) 0,2 m tykk og i (b) 0,3 m tykk. Plate (a) er isolert med et 5 cm tykt skumplastlag. Isolasjonen ligger på et 15 cm sandlag. Materialet i grunnen er grus iblandet noe silt, og fuktighetsinnholdet er 4 vekt-%. Platene er holdt snøfrie hele vinteren.

Figuren viser at selv om overflaten er liten, vil et isolasjonslag ha stor innflytelse på varmestrommen. Vi ser at teledybden er redusert ca. 50 % p.g.a isolasjonen.

Frostmengden det året målingene er utført er ca. 9000 h°C. Dette svarer omtrent til en normal vinter på Østlandet. Derimot er årsmiddeltemperaturen hele 9°C. Dette betyr at det har vært store kuldeintensiteter det året målingene ble foretatt.

Isolasjonen har overtatt styringen av varmestrommen. Varmestrommen gjennom isolasjonslaget vil følge i fase med temperaturbølgen over isolasjonslaget (lufttemperaturen). Uten dette isolasjonslaget vil man ha maksimal varmestrom over en måned før lufttemperaturen kulminerer ca. den 20. januar. Dette betyr at man har en større varmemengde til rådighet i jorda på forvinteren når det benyttes isolasjon.

På forvinteren når jordtempera-

turen er høy, kan man tåle kraftige kuldeintensiteter uten at kulden trenger gjennom isolasjonslaget. Mot slutten av kuldeperioden, når jordvarmen er liten, vil unormalt store kuldeintensiteter kunne trenge gjennom isolasjonslaget. Det er derfor nødvendig å ha et kuldemagasin under isolasjonen, men over rørene som kan oppta en viss kuldemengde. Dette «kuldemagasin» er også hensiktsmessig idet det kan akkumulere den varmen som avgis fra vann og avløpsrør. Når kulden avtar, vil O-isotermen på grunn av varmestrommen nedenfra rykke opp i isolasjonslaget. For å kunne dimensjonere et frostsikringsanlegg etter denne metoden må man ha kjennskap til faktorer som kuldeintensitet og årlige middeltemperaturer.

Den kritiske perioden for uisolerte rør vil også vanligvis inntruffe mot slutten av kuldeperioden, når det er tappet varme fra jorda hele vinteren. Varmestrommen fra den varme jorda under telegrensen til den kalde jorda under overflaten vil fortsette selv når topplaget av jorda er tinet opp av solvarmen. Kraftige kuldeintensiteter på slutten av kuldeperioden vil forsinke oppvarmingen av teleglaget ovenfra og kan medføre en betydelig senkning av temperaturen i dybden.

Det er imidlertid en del uløste problemer i forbindelse med denne metoden, f. eks. bestemmelse av

nødvendig isolasjonsbredde og tykkelse. Rent teoretisk kan dette problemet løses ved å gå ut fra differensialligningen for todimensjonal varmeledning. Denne kan erstattes med en enkel differensapproximasjon. Beregningen blir i dette tilfellet meget omfattende og må utføres på regnemaskin. Metodens brukbarhet kan også undersøkes ved forsøk. NBI vil utføre forsøk med å benytte denne metoden i grøfter som inneholder både vann- og avløpsrør.

Av det foregående fremgår det at man kan benytte flere metoder til å frostsikre ledningsnett. Det vil være direkte tekniske og økonomiske faktorer som er avgjørende for valg av metode. Dette krever imidlertid nøye kjennskap til klimaforhold, jordart, terreng, vanntemperaturer, strømningsmengder, rørdiametre etc., samtidig som man må samordne prosjekteringen av hele det tomtetekniske anlegg.

#### LITTERATUR

- [1] Frostsikker grøftedyp for vann- og avløpsledninger. Forslag til retningslinjer utarbeidet av Svenska Vatten och Avloppverksforeningen i samarbeid med Naturvårdsverket. Kommunalt Tidsskrift nr. 9 1969.
- [2] Skaven — Haug, Sv.: Frostsikker fundamenteringsdybde for byggverk og vannledninger. Norges Geotekniske Institutt publ. nr. 46, 1961.
- [3] Janson, Lars-Eric: Tjälldjupet i Sverige. Statens Naturvårdsverk, Fack, 17120, Solna 1, 1968.
- [4] Skogseid, Anders: Telesikring ved isoleringsmaterialer. Norsk Vegtidsskrift nr. 9 og 10, 1968.
- [5] Jerbo, A. og Sundequist, Å.: Mineralullisoleringer ved järnvägar. Meddelande från Statens Järnvägars Centralförvaltning. Geotekniske Kontoret nr. 10, 13, 14 og 15.
- [6] Young, Fred D.: Experimental Foamed Plastic Base Course. Highway Research Record. Number 101, 1965.
- [7] Quinn, F. W. and Lobacz, E.-F.: Frost Penetration Beneath Concrete Slabs Maintained of Snow and Ice, With and Without Insulation. Highway Research Board. Bulletin 331.1962.
- [8] NBI(53).201. Byggedetaljblad. April 1963. Vannledninger. Legging i frostsikker dybde.
- [9] NB(53).202.2. Vannledninger. Frostsikring av ledninger.

