



Det här verket har digitaliserats vid Göteborgs universitetsbibliotek och är fritt att använda. Alla tryckta texter är OCR-tolkade till maskinläsbar text. Det betyder att du kan söka och kopiera texten från dokumentet. Vissa äldre dokument med dåligt tryck kan vara svåra att OCR-tolka korrekt vilket medför att den OCR-tolkade texten kan innehålla fel och därför bör man visuellt jämföra med verkets bilder för att avgöra vad som är riktigt.

This work has been digitized at Gothenburg University Library and is free to use. All printed texts have been OCR-processed and converted to machine readable text. This means that you can search and copy text from the document. Some early printed books are hard to OCR-process correctly and the text may contain errors, so one should always visually compare it with the images to determine what is correct.



Rapport

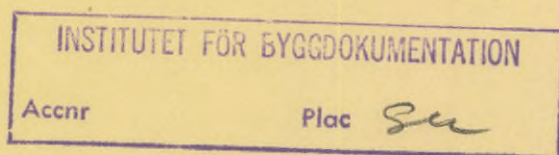
R111:1984

Tjälproblem vid fjärrvärme- ledningar i gator

Probleminventering och teoretisk analys

Lars-Eric Janson

*R
AW*



Byggforskningsrådet

R111:1984

TJÄLPROBLEM VID FJÄRRÄRMELEDNINGAR I GATOR
Probleminventering och teoretisk analys

Lars-Eric Janson

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag
821365-9 från Statens råd för byggnadsforskning
till Vattenbyggnadsbyrån AB (VBB), Stockholm.

I Byggforskningsrådets rapportserie redovisar forskaren sitt anslagsprojekt. Publiceringen innebär inte att rådet tagit ställning till åsikter, slutsatser och resultat.

R111:1984

ISBN 91-540-4187-2

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Liber Tryck Stockholm 1984

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

SAMMANFATTNING	4
1. PROBLEMPRESENTATION.....	5
2. PROBLEMINVENTERING.....	9
3. TEORETISK ANALYS	12
LITTERATURHÄNVISNING	16
Bilaga 1: Tjälproblem vid fjärrvärmeledningar i gator. Probleminventering. Enkät. VBB Stockholm 1983-11-09.	17
Bilaga 2: Utredning beträffande temperaturförhållandena vintertid runt en värmekulvert i mark i Umeå. VBB Stockholm 1981-02-18.	57
Bilaga 3: PM beträffande risken för frysning under välisolerad värmekulvert i mark i Umeå. VBB Stockholm 1983-01-10.	73
Bilaga 4: Tjälnedträngning i mark runt fjärrvärmekulvert. - Inverkan av värmeisolering ovanför kulverten. Husbyggnadsteknik, Tekniska Högskolan i Lund. /1-18/ (1983).	81
Bilaga 5: PM angående beräkning av temperaturförhållandena runt fjärrvärmeledningar. VBB Stockholm 1983-12-13.	99
Bilaga 6: Protokoll nr 1/83 från sammanträde med referensgruppen för projektet; BFR Tjälproblem vid fjärrvärmekulvertar. VBB Stockholm 1983-11-24.	103

SAMMANFATTNING

Värmeavgivningen från fjärrvärmeledningar i mark medför att den naturliga tjälbildningen påverkas i området närmast ledningarna. Sålunda blir tjäldjupet kraftigt reducerat mitt över ledningen, vilket medför att också eventuell tjällyftning reduceras eller uteblir. Under den tid tjällyftning inträffar, dvs fram till den begynnande tjällossningen, märks fenomenet av att markytan blir lägre över ledningen än vid sidan därom. Höjdskillnader på mer än 20 cm kan då uppstå på korta sträckor, och där fjärrvärmeledningen korsar gator och vägar kan men uppstå för fordonstrafiken. Under tjällossningen sker av motsvarande skäl en snabbare upptining av marken över fjärrvärmeledningen, vilket i sin tur temporärt kan medföra ännu större höjdskillnader mellan ledning och omgivande mark än under vintern.

Problemet med den ojämna markytan kan lösas genom mycket kraftig isolering av fjärrvärmeledningen eller genom bortledning av värmeströmmen från ledningen exempelvis längs ett ventilerat foderrör. I båda fallen uppstår emellertid för de ofta grunt förlagda fjärrvärmeledningarna (ca 0,8 m till rörcentrum) ett annat problem. Sålunda kan marken under ledningarna därmed frysa, resulterande i att hela ledningen kan komma att skadas av tjällyftning.

En annan möjlighet som har prövats är att medelst markskivor av polystyren utjämna skillnaderna i tjäldjup över och vid sidan av fjärrvärmeledningen.

En enkätbaserad undersökning riktad mot landets energiverk och gatukontor visar att det praktiska problemet med ojämna markrörelser vid fjärrvärmeledningars korsning med gator är tillräckligt omfattande för att behöva närmare studeras. En allmängiltig problemlösning är således i hög grad önskvärd.

En inledande teoretisk analys visar att det generella problemet låter sig tämligen enkelt behandlas medelst utnyttjande av en datorbaserad differensberäkningsmetod tillämpad på olika konstruktionsformer, klimatbetingelser och jordartsförhållanden. Möjligheten att finna en acceptabel problemlösning utan användande av omfattande isolering med markskivor bör härvid inte försummas. Sedan teoretiskt lämpliga problemlösningar framtagits rekommenderas dessa till prövning i fält eller ännu hellre under preciserade laboratoriebetingelser.

1. PROBLEMPRESENTATION

I jordar som vid frysning får diskontinuerlig israndig tjäle (dvs i leriga och siltiga jordar) sker som regel varje vinter en lyftning av markytan, vars omfattning är beroende av främst jordartens kapillärt vattentransporterande förmåga, avståndet till grundvattenytan samt vinterns köldmängd. Denna tjällyftning av markytan når sitt optimum vid vinterns slut och följs därefter av en återgång ofta förenad med en bärighetsnedsättning i det övre marklagret i samband med vårens tjällossning.

Är betingelserna för utbildning av den diskontinuerliga israndiga tjälformen likartade över större områden uppmärksammas som regel tjällyftningen inte som ett problem för väg- och gatutrafiken under vintern. Först i samband med tjällossningen kan i flytbenägna jordar överskottet av vatten som kommer från de smälta islinserna i jorden medföra nedsatt bärighet hos vägbanan. Modern vägbyggnadsteknik har emellertid inriktats mot att med lämpliga överbyggnadssystem och isoleringsformer lösa detta problem, som regel också på ett för vägtrafiken tillfredsställande sätt.

Om man emellertid i väggroppen lokalt inför ett värmealstrande system som förhindrar normal tjälbildning i jorden kommer givetvis detta att medföra en diskontinuitet i markytans form under vintern. Sålunda kan en markyta under naturliga former få tjällyftningar upp till mer än 20 cm. Skulle i en sådan mark lokalt tillföras värme exempelvis i form av ett värmekulvertsystem kan en kraftig ojämnhet uppträda i markytan. Problemet kan bli särskilt påtagligt där en ytligt förlagd fjärrvärmekulvert korsar en väg eller gata. (Se Fig 1,2 och 3).



Fig 1 Svagt synlig svacka i vägbanan som korsas av ser-
visledning till fjärrvärmenät (Umeå, mars 1982).



Fig 2 Avsmältning av snö på vägbana som korsas av servisledning till fjärrvärmenät (Umeå, april 1982).



Fig 3 Avsmältning av snö på vägbana som korsas av huvudledning till fjärrvärmenät (Umeå, mars 1983).

Problemet har uppmärksamrats på senare år speciellt i samband med utbyggnad av fjärrvärmeledningar i norra delarna av Sverige. Ledningarna läggs här som i övriga landet med ett läggningsdjup räknat till rörcentrum av ca 0,8 m medan det naturliga tjäldjupet kan gå ned mot 2 à 3 m. Förutom att snöläggning försenas eller uteblir där fjärrvärmeledningen dras fram blir effekten där den korsar en gata en plötslig "nedsjunkning" av markytan. Upplevelsen av en nedsjunkning av markytan kommer av att marken vid sidan av värmeledningen tjällyfter normalt medan marken rakt ovanför värmeledningen tjällyfter betydligt mindre än inte alls. Följden har rapporterats i många fall bli att betydande olägenheter uppstår för fordonstrafiken. (Det bör påpekas att ett liknande fenomen är välbekant inom vägbyggnadstekniken och kan återfinnas där vägen korsas av en dagvatten-dränerande vägtrumma. Se Fig 4 /1/.

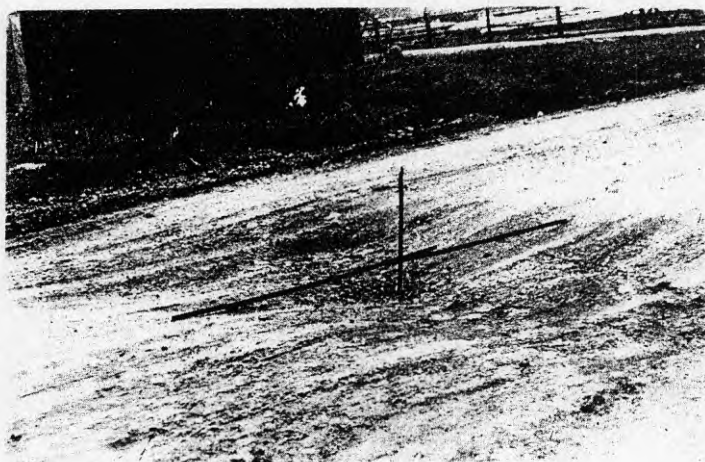


Fig 4 Svacka över vägtrumma på tjällyftande mark (Fig 57 i /1/).

Lösningen på problemet synes i första ögonblicket ligga nära till hands. Antingen kan sålunda fjärrvärmeledningen läggas på större djup eller också kan den värmeisolerats kraftigare. Den första lösningen medför emellertid svåra tekniska och ekonomiska konsekvenser, medan den andra medför risk för tjälnedträngning under ledningen och därmed tjällyftning och sönderbrytning av konstruktionen. Ett annat försök som gjorts att lösa problemet innebär att man i markytan utlägger markskivor av värmeisolerande cellpast, exempelvis av extruderad styv polystyren, för att därmed söka utjämna tjällyftningsskillnaderna på större sträcka utanför själva ledningskorsningen. Metoden är mycket dyrbar såväl vad gäller anläggnings- som underhållskostnad, den

senare som följd av tämligen ofta återkommande behov av schaktning i gatumarken. Man kan dessutom riskera att det primära problemet med ojämn tjällyftning i många fall endast flyttas, och då ut till en punkt där markskivorna slutar.

Syftet med föreliggande projekt är dels att bedöma problemets praktiska omfattning och dels att med en beräkningsmässig ansats söka skapa förutsättning för en på teoretisk grund byggd problembehandling.

Projektet som helhet har enligt den ursprungliga ansökan en betydligt högre ambitionsnivå än detta inledande delprojekt. Sålunda har föreliggande förstudie avgränsats till att avse ett påvisande av det praktiska behovet av liksom de teoretiska möjligheterna till en utvidgad analys av problemområdet.

Problemets praktiska omfattning har under ledning av civilingenjör Lennart Andersson, VBB, studerats med hjälp av en tämligen omfattande enkät som berört de flesta av landets energiverk och gatukontor. Resultatet av denna diskuteras i Kapitel 2 och återges i sin helhet i Bilaga 1.

Den grundläggande teoretiska ansatsen har redovisats i samband med ansökan om anslag till föreliggande projekt i form av en utredning för Umeå Energiverk benämnd "Utredning beträffande temperaturförhållandena vintertid runt en värmekulvert i mark i Umeå", VBB, Stockholm 1981-02-18 (Bilaga 2). Till denna hör också "PM beträffande risker för frysning under välisolerad värmekulvert i mark i Umeå", VBB Stockholm 1983-01-10 (Bilaga 3). En utveckling av beräkningen att omfatta även den detaljerade betydelsen av en begränsad markskiva förlagd över värmekulverten diskuteras i Kapitel 3. Den datorstödda beräkningen har utvecklats vid institutionen för husbyggnadsteknik vid Lunds tekniska högskola (LTH) under ledning av docent Johan Claesson. En orienterande beräkning utförd av civilingenjör Carl-Eric Hagentoft vid nämnda institution redovisas i Bilaga 4. En komplettering av densamma utförd av civilingenjör Johan Larsson, VBB, återfinns i Bilaga 5.

Till projektet har knutits en referensgrupp bestående av byggnadschef Rune Widmark, Umeå Energiverk, ingenjör Martin Åberg, Stockholms Energiverk (Svenska värmeverksföreningens representant) samt docent Johan Claesson, LTH. Protokoll 1/83 från sammanträde med referensgruppen återges i Bilaga 6.

2. PROBLEMINVENTERING

För bedömning av den praktiska omfattningen av problemet med ojämn tjällyftning kring värmekulvertar i gatumark utsändes i juni 1983 en enkät till Svenska värmeverksföreningens (VVF) 114 medlemmar. Enkäten utsändes med benäget bistånd av VVF. I de kommuner som har energiverk och som är medlemmar i VVF har även kommunernas gatukontor eller va-verk tillsänts enkäten genom Svenska vatten- och avloppsverksföreningens (VAV) försorg. Tanken härmed var att få erfarenheter och synpunkter inte bara från den ansvarige för fjärrvärmenätet utan också från den ansvarige för gatu- och vägunderhållet. Sammanlagt har 216 enkäter utsänts, varav 159 besvarats motsvarande en svarsandel av 74 %. Frågeformuläret jämte bearbetningen av inkomna svar återges i sin helhet i Bilaga 1.

Enkäten domineras av två inledande huvudfrågor; den ena avser frågan om ojämn tjällyftning överhuvudtaget observerats vid korsning mellan fjärrvärmekulvert och gator, och den andra om sålunda observerad ojämnhet varit av den omfattningen att den kan anses ha medfört olägenheter för gatutrafiken. Av 75 energiverk och 76 gatukontor som avgett svar på den första frågan, har 28 respektive 35 observerat ojämnheter som man ansett bero på tjällyftningsskillnader. (Det bör observeras att frågans formulering inte medger en värdering av huruvida observerad ojämnhet kan ha orsakats av annat än tjällyftning). Detta innebär att 37 % av energiverken och 46 % av gatukontoren har observerat ifrågakvarande ojämnheter. Anmärkningsvärt många, eller över 50 %, har således aldrig observerat några ojämnheter som sätts i samband med ojämn tjällyftning. Den andra frågan, dvs om observerade ojämnheter medfört olägenheter för gatutrafiken, besvaras jakande av 19 energiverk och 26 gatukontor, motsvarande 68 % respektive 74 % av de som gjort ifrågakvarande iakttagelse enligt den första frågan. Tendensen är som väntat att gatukontoren som har ansvaret för gatuunderhållet något oftare anmäler problem med ojämnheter i gatumarken än energiverken i motsvarande kommuner. De gatukontor som inte ansett att ojämnheterna förorsakat problem för gatutrafiken har sin geografiska placering huvudsakligen i Svealand. Det bör dock observeras att flera kommuner i Svealand med likartade klimatiska förutsättningar som grannkommuner utan rapporterade problem har angivit att problem uppstått för gatutrafiken. I övrigt återfinns de gatukontor som anmält problem för gatutrafiken från Gällivare i norr till Kalmar i söder. En speciell fråga har gällt huruvida ojämn snösmältning eller isbildning har inneburit halkrisk eller andra olägenheter för fotgängare där fjärrvärmekulverten passerar gångbana. Jakande svar har erhållits från 19 gatukontor fördelade från Gällivare i norr till Malmö i söder.

Storleken på observerade ojämnheter som ansetts inte medföra trafikproblem har angivits till ca 4 cm "nedsjunkning" över en bredd tvärs över värmekulverten av ca 2,5 m. Motsvarande medelvärde i de fall olägenheter rapporterats uppgår till ca 15 cm över en bredd av ca 3 m. I extremfallet har ojämnheten i form av "nedsjunkning" angetts till 35 cm.

I de kommuner där 26 gatukontor rapporterat olägenheter för trafiken har man i 9 fall prövat att lösa problemet med hjälp av över kulverten horisontellt utlagda markskivor av polystyren. Av dess 9 gatukontor rapporterade 5 att man är missnöjd med resultatet. Sålunda har markskivorna i dessa fall inte förhindrat behovet av årligen återkommande reparationer av vägbanan. I flera fall rapporteras sättningsproblemet kvarstå men förflyttat till den punkt där markskivan slutar. Bland de 40 gatukontor som inte ansett sig ha råkat ut för olägenheter för trafiken har 5 använt markskivor med uppenbarligen nöjaktigt resultat.

En intressant iakttagelse gäller de kommuner som svarat att de inte haft olägenheter för gatutrafiken. Sålunda uppger de flesta av dessa att man likväl fått göra reparationer av vägbanan, men att detta erfordrats endast efter den första vintern som följt efter det fjärrvärmekulverten installerats. Slutsatsen härav torde bli att dessa kommuner upplevt sättningsproblemet väsentligen såsom uppkommet till följd av dålig återfyllning och/eller som följd av den vid alla schaktnings- och återfyllningsarbeten uppkomna störningen av den naturliga jordlagerföljden. Man kan härtill också foga den tidigare redovisade iakttagelsen, nämligen att kommuner (även i Norrland) som gränser till varandra och som har samma klimatiska förutsättningar för tjälbildning ändå redovisar olika erfarenhet av problemet med ojämn väg bana.

Som inledningsvis omnämnts kan en kraftig extra rörisolering av fjärrvärmeledningen medföra att tjälen tränger ned under ledningen. I tjällyftande jordar skulle detta därmed kunna förorsaka lyftning och sönderbrytning av kulverten. Rörskadorna av denna typ är hittills sällsynta enligt enkätsvaren men har likväl rapporterats i några enstaka fall (Piteå, Bollnäs, Västerås). Som framgår av Bilaga 3 är emellertid problemet som störst under de allra kallaste vintrarna, och dylika har inte förekommit i Sverige under de senare år då det energiekonomiska behovet av extra rörisolering aktualiserats. Problemet måste således uppmärksammas och göras till föremål för överväganden i varje enskilt fall.

Som sammanfattning av den enkätbaserade probleminventeringen kan sägas, att det tämligen ofta föreligger ett problem för gatutrafiken till följd av ojämna markrörelser vid korsning mellan fjärrvärmekulvert och gata. Problemet har rapporterats förekomma över

praktiskt taget hela Sverige, men är inte säkert identifierat som enbart ett tjällyftningsproblem. Även återfyllningsteknik, val av återfyllningsmaterial, dräneringsform, etc har uppenbarligen stor betydelse. Man får vidare stöd för uppfattningen, att den problemlösning som numer allt oftare tillgrips, nämligen isolering med markskivor utbredda över och vid sidan av fjärrvärmekulverten, generellt sett inte utgör en tekniskt/ekonomiskt optimal lösning. Problemet med ojämn tjällyftning kan kvarstå under vissa förhållanden och då förflyttat till isoleringens ytterkant. Dessutom innebär drift och underhåll av olika övriga ledningssystem i gatumar-ken schaktningsarbeten, som tämligen ofta kan medföra skador och reparationsbehov för markskivorna. En lämpligare problemlösning baserad på en teoretisk studie bör därför utarbetas och därefter prövas under väl definierade fält- eller laboratorieförhål-landen. Denna slutsats delas också av projektets referensgrupp enligt Bilaga 6.

3. TEORETISK ANALYS

Värmeavgivningen från en i homogen mark förlagd oändligt lång cirkulär värmekälla låter sig enkelt behandlas analytiskt. Marken utgör härvid ett halvoändligt medium begränsat av markytan där luftens årliga temperaturvariation styr värmebalansen i jorden. Problemet behandlas genom att spegelvänt i förhållande till markytan införa en negativ värmekälla av samma absoluta storlek som den positiva, och betrakta båda som inbäddade i ett oändligt utsträckt medium, /2/. Isotermerna i jorden runt värmekällan kan därmed bestämmas i första hand med antagande av att temperaturen i jordmassan i begynnelseögonblicket är konstant. Eftersom emellertid temperaturen i jorden varierar med tiden och med djupet under markytan måste, för problemets fullständiga lösning, superpositionsprincipen tillämpas på värmekällan och marken såsom varande två av varandra oberoende separata värmealstrande system.

Om man sålunda till att börja med antar att temperaturen i marken är konstant = ϑ_h , motsvarande jordtemperaturen på värmekällans nivå h i begynnelseögonblicket, kan temperaturen ϑ_{xy} i en valfri punkt x, y utanför värmekällan beräknas enligt uttrycket

$$\vartheta_{xy} - \vartheta_h = \frac{q}{4\pi\lambda_1} \cdot \ln \frac{y^2 + (h+x)^2}{y^2 + (h-x)^2} \quad (1)$$

där q är värmeavgivningen från värmekällan och λ_1 är jordens värmekonduktivitet.

Värmeavgivningen q från värmekällan bestäms av uttrycket

$$q = \frac{2\pi\lambda_1 (\vartheta_u - \vartheta_h)}{\ln 2h/r_u} \quad (2)$$

där ϑ_u = temperaturen på värmekällans mantelyta

och r_u = värmekällans utvändiga radie.

Är värmekällan isolerad med ett isoleringsmaterial med värmekonduktiviteten λ' och isoleringens invändiga radie är r_i blir

$$q = 2\pi\lambda' \frac{(\vartheta_i - \vartheta_u)}{\ln r_u/r_i} \quad (3)$$

där ϑ_i = temperaturen på isoleringens insida.

Med hjälp av ekv (1)-(3) har några olika förenklade typfall av värmeströmning från värmekulvertar genomräknats enligt Bilaga 2. Härvid har främst 0°-isotermen studerats såsom markerande tjälfronten i jorden.

Det antagandet görs att den ojämna tjällyftning som i verkligheten kan iakttas runt en värmekulvert är direkt avhängig av tjäldjupet samt att tvära förändringar av 0°-isotermens nivå i marken indikerar risk för ojämnheter i markytan som kan skapa problem för gatutrafiken. En stor förändring av 0°-isotermens läge på en kort sträcka förutsätts således kunna ge större och mer dramatiska diskontinuiteter i markytans nivåförändring än en mjuk förändring utbredd på en lång sträcka. Detta är givetvis en grov förenkling och man måste också beakta att tjällyftningsprocessen redan under naturliga förhållanden har starkt varierande omfattning om man jämför närliggande platser även under tämligen homogena jordartsbetingelser. Flera faktorer inverkar härvid av vilka de mest betydelsefulla är avstånd till grundvattenytan, jordens kapillaritet, kornstorleksfördelning, packningsgrad, temperaturgradientens storlek, belastning, etc. Stora plötsliga förändringar av markytan kan således uppstå lokalt oberoende av isoleringens omfattning och typ. Speciellt måste beaktas tidigare nämnd risk för ojämn markrörelse enbart betingad av att den naturliga marken störts till följd av schaktning, inhomogen återfyllning och förändrad grundvattennivå.

Som resultat av undersökningen kan följande sammanfattas:

1. Problemet med ojämn tjällyftning kan reduceras genom kraftigt ökad isolering av värmöröret. Dock riskerar man därmed tjälnedträngning under kulverten under kalla vintrar med lyftning och sönderbrytning av kulverten som följd.
2. En markisolering med begränsad bredd kan under vissa förhållanden dämpa tjällyftningsskillnaderna men medverkar huvudsakligen till att flytta diskontinuiteterna i markytan till en punkt längre från kulverten.
3. En utbredd markisolering motiverar, i förhållande till sin obetydliga tjällyftningsutjämnande funktion, inte de kostnader den för med sig.
4. Det finns ingen praktisk isoleringsform som generellt ger bättre tjällyftningsutjämnning än den, värmeförlusterna från kulverten redan representerar. En förbättring skulle rent av kunna åstadkommas genom en viss minskning av värmörörets isolering vid kulvertens passage av en gata.

För att mer i detalj pröva ovanstående slutledning beträffande en markisolerings funktion har en noggrannare studie gjorts medelst datorbaserad differensberäkning. Datormodellen som utvecklats vid LTH bygger på ett program för tvådimensionell, tidsberoende värmeströmning enligt Fourier's klassiska differentialekvation för temperaturfördelning i en homogen kropp. Studien redovisas i sin helhet i Bilaga 4.

I denna har samma klimatförhållanden och jordartskonstanter använts som ligger till grund för beräkningarna i Bilaga 2. Man kan därmed göra vissa jämförelser av beräknade isotermer i Bilaga 2 och Bilaga 4. Det bör dock härvid observeras att beräkningarna i Bilaga 4 bygger på två större rör ϕ_u 0,432 m med en isoleringstjocklek av blott 38 mm. (I Bilaga 2 räknas med bara ett rör ϕ_u 0,225 m med en isoleringstjocklek av 38 mm). Värmeströmningen från den större kulverten är därmed nära tre gånger så stor som den som gäller för det generella fallet i Bilaga 2, eller ca 110 W/m. Närmast jämförbara resultat erhålls bäst om det svagt isolerade röret i Fig 8 i Bilaga 2 studeras jämsides med Figur 3.3 i Bilaga 4 (månad 5 = 15 mars). Överensstämmelsen är här nära total. Man ser hur 0°-isotermer vid markeringen "månad 5" = 15 mars mycket mjukt övergår från ett ytligt läge (0,4 m) till det maximala tjäldjupet 1,8 m på ett avstånd av ca 5 m från värmekulverten. Samtidigt kan som väntat konstateras att tjällossningen går mycket snabbt rakt ovanför kulverten (månad 6 = 15 april) för att inte vara helt avslutad på långt avstånd från kulverten förrän i månad 8 (15 juni). Emellertid torde en ojämn bärighetsnedsättning till följd av tjällossningen inte bli speciellt problematisk eftersom den schaktade kulvertgraven som regel återfylls med sandiga, icke tjälskjutande jordar.

I studien har förutsatts att markytans temperatur årligen följer en enkel harmonisk funktion och att markytans temperatur överensstämmer med luftens årsmedeltemperatur vid tiden $t = 0$, $t = t_0/2$ och $t = t_0$ där t_0 = perioden 1 år. Detta innebär teoretiskt att marken börjar avkylas vid tiden $t = -t_0/8$ och börjar åter uppvärmas vid tiden $t = 3t_0/8$. /3/. Månad 1 i studien kan därmed för Umeå sättas lika med den 15 oktober, månad 3 = 15 januari, månad 6 = 15 april och månad 9 = 15 juli. Det maximala tjäldjupet uppträder fasförskjutet som regel 1,5 à 2 månader efter tidpunkten för luftens lägsta månadsmedeltemperatur. Eftersom denna här antas inträffa i månad 3 (15 januari) kommer det maximala tjäldjupet att inträffa i månad 5 (= 15 mars).

Ett antal olika beräkningsexempel redovisas dels utan och dels med markisolering med oändlig, 10 m respektive 4 m utbredning över värmekulverten. Vid studiet av framräknade isotermer bör observeras att det vänstra röret representerar framledningen med en antagen temperatur av 115°C medan den högra representerar returledningen med en antagen temperatur av 75° C. Detta förklarar den i flera fall redovisade asymmetrin gällande för 0°-isotermerna på ömse sidor om värmekulverten.

För de beräkningsfall som inkluderar isoleringsåtgärder medelst markskivor finner man att tjällyftningsprocessen i sig torde medföra små problem beträffande ojämn tjällyftning så länge isoleringen ges en mycket bred utformning. Emellertid kan man lätt se att betydande diskontinuiteter torde kunna uppstå under tjällossningen eftersom den branta förändringen av 0°-isotermens nivå förflyttats utanför rörgraven och därmed drabbar alltigenom tjälfarligt jordmaterial. (Se Fig 3.7 i Bilaga 4). I fallet med en 4 m bred isolering är problemet särskilt klart demonstrerat. (Se Fig. 3.8 i Bilaga 4). Dessutom uppträder här redan under tjälbildningen en mycket kraftig nivåförändring av 0°-isotermen där markisoleringen avslutas (se Fig. 3.10 och 3.11 i Bilaga 4). Det sistnämnda synes bekräfta riktigheten av den ofta rapporterade iakttagelsen, innebärande att ojämn tjällyftning av betydande omfattning kan uppstå, där markskivornas utbredning upphör. Iakttagelsen ändras inte principiellt av att rördiametern minskas till ϕ_u 0,216 m med bibehållen isolertjocklek 38 mm. Detta framgår tydligt av Fig. 2 i Bilaga 5.

Den mer ingående teoretiska analysen har således inte medverkat till en dementering av den arbetshypotes som formulerats på basis av den preliminära teoretiska ansatsen sammanfattad i punkterna 1-4 ovan, och heller inte av redovisade praktiska iakttagelser. Det synes samtidigt som om det vore möjligt att med en rikhaltigare variation av olika isoleringsformer och med utnyttjande av den datoriserade differensberäkningsmetoden utveckla den isoleringsform, som optimalt skulle kunna minimera problemet med ojämn markrörelse till följd av tjäle i jorden. Ett dylikt fortsatt arbete enligt ursprungligt angivna intentioner kan bedömas väl motiverat med tanke på problemets stora ekonomiska omfattning. Sedan lämpliga isoleringsformer framtagits på teoretisk grund skall dessa prövas i full skala. För möjliggörande av en simulering av olika klimatbetingelser vore det önskvärt om de praktiska försöken kunde utföras i ett islaboratorium av tillräcklig storlek. Omsorgsfulla åtgärder för eliminering av försökskropparnas randstörningar måste därvid givetvis vidtagas (Jfr metod beskriven i /3/).

LITTERATURHÄNVISNING

- /1/ Beskow, G. 1935. Tjälbildningen och tjällyftningen med särskild hänsyn till vägar och järnvägar. - Statens väginstitut. Medd 48, 1935.
- /2/ Janson, L-E, 1968. Tjäldjupet i Sverige. - Info Statens naturvårdsverk, Stockholm. V4, 1968
- /3/ Janson, L-E, 1964. Frost Penetratioin in Sandy Soil. - Trans. Royal Inst. Technology, Stockholm. Nr 231, 1964.

TJÄLPROBLEM VID FJÄRRÄRMELEDNINGAR I GATOR**Probleminventering. Enkät**

INNEHÅLL

SAMMANFATTNING

- 1 PROBLEMINVENTERING
- 1.1 Enkät
- 1.2 Sammanställning av enkätsvar
 - Iakttagelser Fråga 1.1 till och med 1.11
 - Markisolering Fråga 2.1 till och med 2.4
 - Rörisolering Fråga 3.1 till och med 3.3
 - Reparationer Fråga 4.1
 - Grunddata Fråga 5.1 till och med 5.12
 - Övrigt Speciella upplysningar och kommentarer

BILAGOR

- Bilaga 1.1:1 Frågeformulär angående tjalproblem för fjärrvärmeledningar (primärsidan)
- Bilaga 1.1:2 Svenska Värmeverksföreningen, sändlista
- Bilaga 1.1:3 Svenska Vatten- och Avloppsverksföreningen, sändlista

TJÄLPROBLEM VID FJÄRRVÄRMELEDNINGAR I GATOR

Probleminventering - enkät

SAMMANFATTNING

Föreliggande rapport utgör en del av ett av BFR finansierat projekt benämnt "Tjälproblem vid fjärrvärmeledningar i gator - probleminventering och teoretisk analys". Sälunda har den i rubriken nämnda probleminventeringen utförts med hjälp av bearbetning av ett förfrågningsunderlag som utsänts till 114 st energiverk och 102 st gatukontor i Sverige.

Resultatet visar att 75 energiverk och 76 gatukontor har erfarenhet av problemställningen. Av dessa har ca 40 % observerat ojämna markrörelser i korsning mellan gata och fjärrvärmeledning. (Dessa finns från Gällivare i norr till Kalmar i söder.) Av dessa 40 % anser mer än 2/3 att olägenheter har uppstått för gatutrafiken till följd av de ojämna markrörelserna. (Dessa kommuner återfinns i Norrland och Svealand samt på sydsvenska höglandet.)

Knappt hälften av dessa kommuner med trafikproblem har prövat att eliminera problemet med hjälp av markskivor av polystyren lagda över fjärrvärmeledningen. Av dessa rapporterar 5 av 9 att isoleringsåtgärden ej givit tillfredsställande resultat. Trots att markskivor används måste reparationer utföras i dessa kommuner varje år.

Flera kommuner i Svealand och även Norrland utan trafikproblem har samma klimattyp och förutsättning för tjällyftning som angränsande kommuner med rapporterade trafikproblem. Av kommunerna utan rapporterade trafikproblem har likväl ett stort antal genomfört reparationer första året efter installationsarbetets avslutning men inte senare.

En preliminär och grov sammanfattning av utredningen är att det ofta föreligger ett problem för gatutrafiken till följd av ojämna markrörelser vid korsning mellan fjärrvärmeledning och gata, som är av den omfattningen att en närmare problemanalys är motiverad. Man kan också konstatera att den problemlösning som ofta tillgrips, nämligen isolering med extra markskivor inte är tekniskt/ekonomiskt optimal. En lämpligare problemlösning byggd på en teoretisk studie bör utarbetas och sedan prövas under väl definierade fältförhållanden.

Stockholm 1983-11-09

VBB

Lars-Eric Janson /Lennart Andersson

1.1 Enkät

Fjärrvärmeledningar i mark orsakar till följd av värmeavgivning ett ändrat tjäldjup. I tjälfarlig mark kan därför under vintertid ojämna tjällyftningar uppstå, vilket i gator kan leda till olägenheter för trafiken. Med syfte att undersöka hur vanligt förekommande ovan nämnda problem är har en enkät sänts ut via branschorganisationerna Svenska värmeverksföreningen (VVF) och Svenska Vatten- och avloppsverksföreningen (VAV).

Enkäten har tillsänts VVFs 114 medlemmar. I de kommuner som berörs av VVFs utsändning har även gatukontor, vatten- och avloppsverk, tekniskt kontor eller motsvarande tillsänts en enkät genom VAV. Denna utsändning omfattar 102 kommuner.

Frågeformuläret omfattar totalt 31 st frågor uppdelade på följande rubriker:

1. Iakttagelser
2. Markisolering
3. Rörisolering
4. Reparationer
5. Grunddata

Det fullständiga frågeformuläret redovisas i bilaga 1.1.1.

Enkäten utsändes i juni 1983. Dessutom utgick en påminnelse i september 1983.

Sammanlagt har 216 st enkäter sänts ut. Totalt har 159 svar erhållits vilket ger en svarsprocent på 74 %. I bilaga 1.1.2 och 1.1.3 redovisas de som svarat på enkäten i respektive utsändning.

1.2 Sammanställning av enkätsvar

Frågeformuläret inleds med en fråga om enkäten besvarats av Energiverket (EV) eller Gatukontoret (GK). Därvid avser beteckningen energiverk att täckas in av VVFs utsändning och beteckningen gatukontor att täckas in av VAVs utsändning. Svarens fördelning på de olika förvaltningarna framgår av nedanstående sammanställning:

	Tillfrågade	Antal svar st	%
Energiverk (EV)	114	81	71
Gatukontor (GK)	102	89	87

Tolv kommuner har valt att samordna svaret varför bara ett formulär erhöles från dessa med kryss både i rutan för EV och GK. Skaraborgs Vattenverksförbund har inte lämnat något eget var utan hänvisar till förbundsmedlemmarna Skövde, Skara och Falköpings kommun. Sammanlagt har 14 kommuner, 4 EV och 10 GK, inte besvarat enkäten på grund av bristande erfarenhet av tjälproblem.

Iakttagelser

Fråga 1.1

Har ojämn tjällyftning observerats vid korsning mellan FV-kulvert och gata?

		Antal svar			
		EV		GK	
		st	%	st	%
1	ja	28	35	35	39
2	nej	47	58	41	46
	inget svar	6	7	13	15
	summa	81	100	89	100

Svaren visar att 75 EV och 76 GK har erfarenhet av problemställningen. Av dessa har ca 40 % observerat ojämna markrörelser i korsning mellan gata och fjärrvärmekulvert. I figur 1.2.1 visas geografiska läget av de gatukontor som har observerat ojämn tjällyftning.

Fråga 1.2

Har observerad ojämn tjällyftning medfört olägenheter för gatutrafiken?

		Antal svar			
		EV		GK	
		st	%	st	%
1	ja	19	23	26	29
2	nej	37	46	40	45
	inget svar	25	31	23	26
	summa	81	100	89	100

Nästan hälften av kommunerna bedömer att inga olägenheter uppstått för gatutrafiken. Ungefär en fjärdedel av kommunerna har bedömt att olägenheter förekommer. Av EV har 31 % avstått ifrån att besvara frågan.

Av svaret på fråga 1.1 framgick att 28 EV och 35 GK har observerat ojämn tjällyftning vid korsning mellan FV-kulvert och gata. Av dessa anser 19 EV och 26 GK, dvs ca 70 % att olägenheter har uppstått för gatutrafiken till följd av de ojämna markrörelserna. I figur 1.2.2 visas geografiska läget av de gatukontor som anser att olägenheter har uppstått för gatutrafiken.

En jämförelse av figur 1.2.1 och 1.2.2 visar att det är 9 st orter där gatukontoret observerat ojämn tjällyftning men där de inte medfört några olägenheter för gatutrafiken. Dessa orter är belägna i mellansverige från Gävle i norr till Karlstad i väster och Stockholm i öster.

Motsvarande jämförelse för energiverken visar att även här 9 st orter observerat ojämn tjällyftning men ansett att de inte medfört några olägenheter för gatutrafiken. Dessa orter sammanfaller rätt väl med de 9 gatukontoren enligt tidigare, undantaget Gällivare, Skellefteå, Bollnäs i norr och Kristianstad i söder.

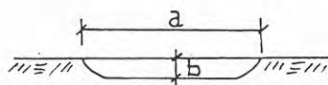
Fråga 1.3

Om observerad ojämn tjällyftning inte medfört olägenheter för gatutrafiken, ange ungefärliga mått på sättningen i sämsta fall. Välj ett typiskt fall.

	Antal svar		GK	
	EV st	%	st	%
Svar	16	20	18	20
inget svar	65	80	71	80
summa	81	100	89	100

Storleken av de angivna sättningarna kan sammanfattas på följande sätt:

	Antal	a/m/	b/cm/
extremvärden	2	2 till 3	10
extremvärden	2	20 till 25	2
medelvärde övriga	23	2,3	3,7





Figur 1.2.1 Geografiskt läge på centralorten i de kommuner vars gatukontor har observerat ojäm tjärluftning vid korsning mellan fjärrvärmekulvert och gata enligt fråga 1.1.



Fråga 1.2.2 Geografiskt läge på centralorten i de kommuner vars gatukontor anser att olägenheter har uppstått för gatutrafiken till följd av de ojämnare markrörelserna vid korsning av fjärrvärmekulvert och gata enligt fråga 1.2.

Fråga 1.4

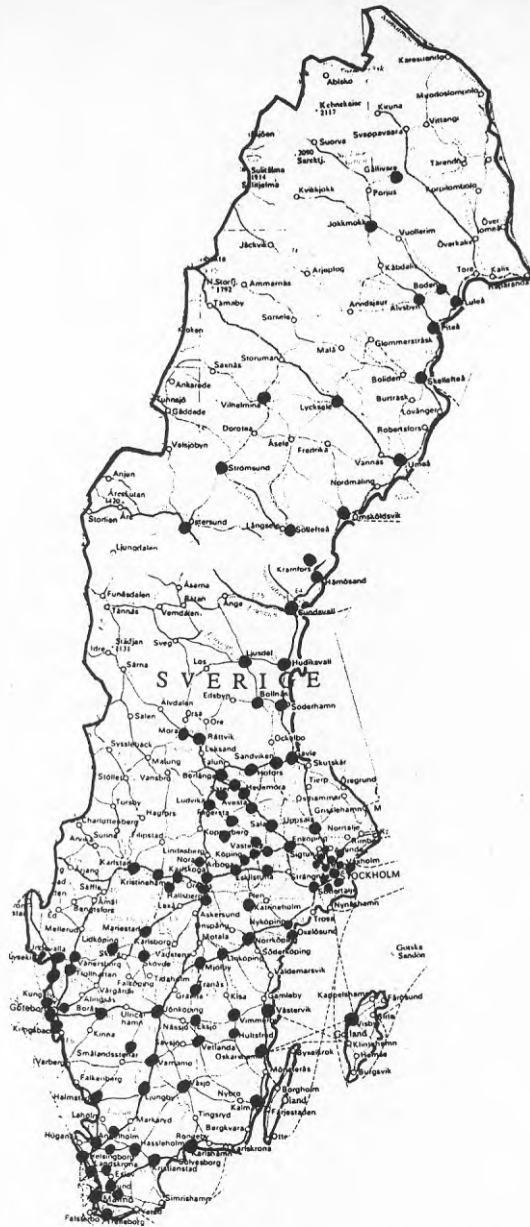
Om observerad ojämn tjällyftning medfört olägenheter för gatutrafiken, ange ungefärliga mått i sämsta fall.

	Antal svar		GK	
	EV st	%	st	%
svar ja	22	27	28	31
inget svar	59	73	61	69
summa	81	100	89	100

Storleken av de angivna sättningarna kan sammanfattas på följande sätt:

	Antal	a/m/	b/cm/
extremvärden max	3	10 till 20	10 till 20
extremvärden max	1	4	35
extremvärden min	7	1 till 5	3 till 8
medelvärde övriga	31	2,9	15,1

Resultatet av frågorna 1.3 och 1.4 kan sammanfattas på följande sätt. Om observerad ojämn tjällyftning inte medfört olägenheter för gatutrafiken bedöms sättningens storlek kunna uppgå till 4 cm djup fördelat på 2,5 m bredd. Där tjällyftningen medfört olägenheter för gatutrafiken uppgår sättningens storlek till 15 cm fördelat på 3 m bredd. Olägenheterna har framförts av kommuner företrädesvis i mellansverige och då framför allt i Södermanlands, Västmanlands, Örebro och Kopparbergs län. Kommunerna i hela Norrlands kustland poängterar även olägenheterna, se figur 1.2.2. Som jämförelse till figurerna 1.2.1 och 1.2.2 visas i figur 1.2.3 geografiska läget av Svenska Värmeverksföreningens medlemmar.



Figur 1.2.3 Svenska Värmeverksföreningens medlemmar

Fråga 1.5

När uppträder olägenheter för gatutrafiken?

	Antal svar		GK	
	EV st	%	st	%
1 varje vinter	22	27	28	31
2 endast under kalla vintrar	3	4	6	7
3 endast under milda vintrar	0	0	1	1
inget svar	56	69	54	61
summa	81	100	89	100

Svaren visar att olägenheterna uppträder i stort sett varje vinter i de kommuner som observerat olägenheter. En mindre del anser att olägenheterna endast uppträder under kalla vintrar.

Fråga 1.6

Under vilken del av vintern uppträder olägenheterna?

	Antal svar		GK	
	EV st	%	st	%
1 endast under tjälbildn perioden	3	4	4	4
2 endast under tjällossn perioden	8	10	7	8
3 både 1 och 2	15	18	24	27
inget svar	55	68	54	61
summa	81	100	89	100

Olägenheterna uppträder både under tjälbildnings- och tjällossningsperioden. En mindre del av de tillfrågade anser att olägenheterna är mer påtagliga under tjällossningsperioden.

Fråga 1.7

Kvarstår ojämnheter i gatan även efter det att tjäl-
len gått ur jorden?

	Antal svar		GK	
	EV st	%	st	%
1 ja	8	10	16	18
2 nej	25	31	25	28
inget svar	48	59	48	54
summa	81	100	89	100

Av de som besvarat frågan anser ca 70 % att ojämnheter-
na inte kvarstår. Ungefär 30 % bedömer att ojämnheter-
na kvarstår.

Fråga 1.8

Har ojämn snösmältning eller isbildning vid kulvertens
passage av gångbana inneburit halkrisk eller andra
olägenheter för fotgängare?

	Antal svar		GK	
	EV st	%	st	%
1 ja	12	15	19	21
2 nej	53	65	49	55
inget svar	16	20	21	24
summa	81	100	89	100

Av svaren framgår att snösmältning och isbildning
är ett ej obetydligt problem. Figur 1.2.4 visar det
geografiska läget av de kommuner som har olägenheter
för fotgängare på grund av snösmältning eller isbild-
ning. Den geografiska fördelningen sammanfaller väl
med geografisk fördelning av tjällyftningar som med-
fört olägenheter för gatutrafiken, jämför figur 1.2.2
och 1.2.4.

Fråga 1.9

Ojämn snösmältning eller isbildning vid kulvertens
passage av gångbana har inneburit halkrisk eller andra
olägenheter för fotgängare. Olägenheten har beskrivits
på följande sätt.

Energiverken

Kommun	Beskrivning
Eskilstuna	Valkbildning
Gävle	Vid vissa väderlekstyper isbildning
Nora	Halka pga snösmältning vid temp under 0°C
Norrköping	Snösmältning, isbildning vid hastigt fallande temperatur i enstaka fall
Sala	Speciellt skarv på eternitkulvert läcker värme lokalt varje 5 m
Umeå	Ishalka i förening med iskanter och svackor
Uppsala	Isvall vid kulvert
Västerås	Smältvatten kan ge is - halka
Örebro	Vid nederbörd, svallis i gränzonen

Gatukontor

Avesta	I huvudsak problem med avsmältn på FV-lock vilket inneburit att man blivit tvungen att hålla omkringliggande delar rena från is och packad snö för att minska höjdskilln
Enköping	Isfläckar med halka som följd svårt att bevaka och sanda. Gäller även vissa körbanor
Kalmar	Bar fläck kantad med isbildning.
Katrineholm	Fryspunkten förskjuts lokalt vid kulvertens passage
Kramfors	Halkrisk i gränzon mellan "torr" och snöig del av gata
Mora	Ishalka i en backe
Norrköping	Isbildning kring nedstigningslock
Piteå	Isbildning uppstår längs kulverten vid spec 0-gradig väderlek
Sala	Isbildning ovan rörskarvar på gångbana vid eternitrörskulvert
Stockholm	Halkrisker pga isvalkar
renhålln avd	
Uddevalla	Iskanter bildas i gränsen mellan avsmält mark och snötäckt mark
Umeå	Iströskel uppstår mellan tjälad del och icke tjälad del
Uppsala	Isvall vid kulvert
Växjö	Isvallar i kombination med fläckhalka vid passagen
Östersund	Nivåskillnader



Figur 1.2.4

Geografiskt läge av orter där ojäm snösmältning eller isbildning har inneburit halkrisk eller andra olägenheter för fotgängare vid fjärrvärmekulverts passage av gångbana enligt fråga 1.8.

Fråga 1.10

Har rörsador observerats på andra ledningar (exempelvis för vatten och avlopp), som bedöms kan ha förorsakats av närhet till fjärrvärmekulvert?

	Antal svar		GK	
	EV st	%	st	%
1 ja	4	5	7	8
2 nej	67	83	65	73
inget svar	10	12	17	19
summa	81	100	89	100

Skador har förekommit på andra ledningar på grund av ojämn tjällyftning orsakad av fjärrvärmekulvert men omfattningen är begränsad.

Fråga 1.11

Rörsador har observerats på andra ledningar (exempelvis för vatten och avlopp), som bedöms kan ha orsakats av närheten till FV-kulvert. Typen av rörskada beskrivs på följande sätt

Energiverken

Kommun	Beskrivning
Lidköping	Fjärrvärme lagd för nära vattenledn
Malmö	Endast vid utläckage av hetvatten - kallvattenservis av plast har smält
Östersund	Knäckt vattenledning
Örebro	Sättning på spillvattenledning belägen under värmekulvert. TV-fotografering har utförts

Gatukontor

Avesta	Söndertryckn av dagvattenavlopp på grund av ojämn tjällyftn
Bollnäs	Ledningsbrott i gränsen tjälad - otjälad mark
Lidköping	Sättningar orsakade av dålig komprimering samt åverkan vid anläggningen
Linköping	Vattenledning av gråjärn tvärt av vid korsning med FV-kulvert
Norrköping	Vid anläggningsarbete av fjärrvärme vid för litet avstånd i höjddled mellan fjärrvärme och annan ledn sättningsskador
Sollentuna	Rörbrott på huvudvattenledning ø400

Markisolering

Fråga 2.1

Har horisontella markskivor av exempelvis polystyren använts över kulverten för minskning av ojämn tjällyftning?

	Antal svar		GK	
	EV st	%	st	%
1 ja	17	21	15	17
2 nej	57	70	44	49
inget svar	7	9	30	34
summa	81	100	89	100

Ungefär 20 % använder horisontella markskivor.

Av de 15 GK som använder markskivor anger 10 att olägenheter har uppstått för gatutrafiken, 3 anger att inga olägenheter uppstått och 2 har inte svarat på frågan om olägenheter uppstått.

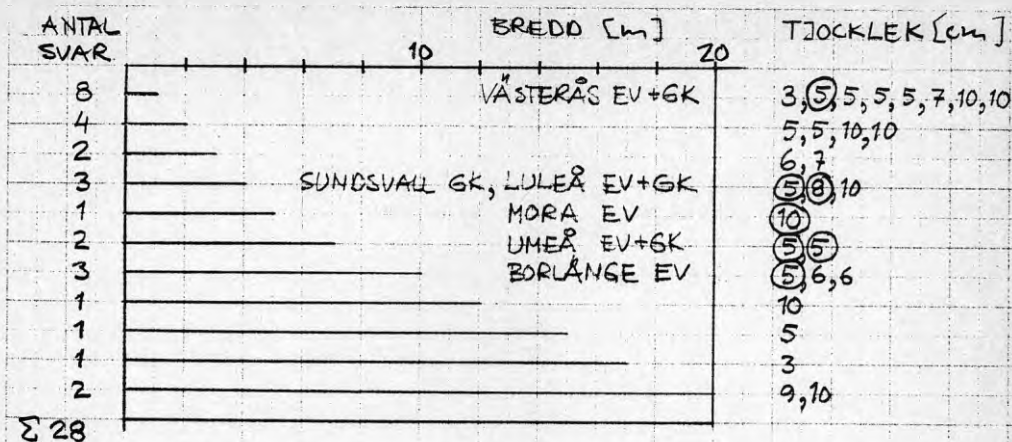
Fråga 2.2

Om markskivor har använts ange isoleringens tjocklek T i centimeter och bredd B i meter. Välj ett typiskt fall.

	Antal svar		GK	
	EV st	%	st	%
svar	17	21	14	16
inget svar	64	79	75	84
summa	81	100	89	100

I figur 1.2.5 redovisas en sammanställning av de dimensioner som används på markskivor. Markskivornas bredd har i 61 % av de redovisade fallen valts till 4 m eller mindre. I 39 % av de redovisade fallen har bredden valts från 5 m upp till 20 m. Markskivornas tjocklek är i allmänhet 5 till 10 cm tjocka. I två fall är tjockleken 3 cm. Medeltjockleken är 6,8 cm.

Av de 14 GK som anger mått på markskivorna anger 9 att olägenheter har uppstått för gatutrafiken, 3 anger att inga olägenheter uppstått och 2 har inte svarat på frågan om olägenheter uppstått.



Anmärkning: Inringad tjockleksangivelse markerar de markskivor som ej anses ha givit tillfredsställande resultat, se vidare fråga 2.3. Ifrågavarande kommun har även angivits.

Figur 1.2.5 Markskivors bredd och tjocklek

Fråga 2.3

Har använda markskivor givit helt tillfredsställande resultat?

	Antal svar		GK	
	EV st	%	st	%
1 ja	12	15	9	10
2 nej	5	6	5	6
inget svar	64	79	75	84
summa	81	100	89	100

I 5 fall av 17 dvs 29 % gällande EV och i 5 fall av 14 dvs 36 % gällande GK har använda markskivor ej givit helt tillfredsställande resultat. Dimensionerna på dessa skivor markeras i figur 1.2.5 genom en ring runt tjockleken. Ifrågavarande kommun och förvaltning har även noterats. Sammanfattningsvis kan man alltså säga att det är kommuner i norra Sverige som ej uppnått tillfredsställande resultat med använda markskivor. Dimensionerna på dessa är mellan 4 och 10 m bredd med en tjocklek varierande mellan 5 och 10 cm. Västerås har använt en markskiva med 1,2 m bredd i ett enda fall och därvid konstaterat att detta inte var tillräckligt utan bredare utspetsningar borde ha gjorts.

En koppling till tidigare frågor ger följande resultat. Av de 26 GK som observerat olägenheter för gatutrafiken enligt fråga 1.2 har endast 9 använt markskivor. Av dessa är 5 missnöjda med resultatet. Av de 40 GK som ej anmält olägenheter för gatutrafiken har 5 använt markskivor. Dessa 5 är således också nöjda med resultatet.

Fråga 2.4

Använda markskivor har ej givit tillfredsställande resultat. Gjorda iakttagelser har beskrivits på följande sätt.

Energiverken

Kommun	Beskrivning
Borlänge	Tjällyftning har uppstått vid isoleringens slut
Mora	Tjällyftning tas upp på längre sträcka
Umeå	I tjälfarlig mark kvarstår problemet med svackor
Västerås	Tjällyftningsproblemen kvarstår. Bredare utspetsning borde gjorts

Gatukontor

Sundsvall	Ojämn tjällyftning utanför isoleringen ("övergången")
Umeå	Inte helt bra men det har blivit bättre.
Östersund	Ojämn tjällyftning och svackor.

Rörisolering

Fråga 3.1

Har extra rörisolering använts från energiekonomisk synpunkt?

	Antal svar		GK	
	EV st	%	st	%
1 ja	61	75	29	33
2 nej	14	17	17	19
inget svar	6	8	43	48
summa	81	100	89	100

De flesta kommuner använder extra rörisolering ur energiekonomisk synpunkt nämligen 75 %.

Fråga 3.2

Om extra rörisolering använts från energiekonomisk synpunkt ange i så fall isolertyp.

	Antal svar		GK	
	EV st	%	st	%
1 normalt förstärkt (exv serie 2)	58	72	28	32
2 kraftigt förstärkt (exv serie 3)	3	4	2	2
inget svar	20	24	59	66
summa	81	100	89	100

Den vanligaste extra rörisoleringen är av typ, normalt förstärkt.

Fråga 3.3

Har rörskador observerats till följd av tjällyftning under sålunda extra isolerade rör?

	Antal svar		GK	
	EV st	%	st	%
1 ja	2	2	2	2
2 nej	59	73	33	37
inget svar	20	25	54	61
summa	81	100	89	100

Rörskador till följd av tjällyftning under extra isolerade rör har observerats i Piteå, Bollnäs och Västerås.

Reparationer

Fråga 4.1

Hur ofta har reparationer av gatan måst genomföras?

	Antal svar		GK	
	EV st	%	st	%
1 varje år	4	5	11	12
2 endast enstaka år	16	20	18	20
3 endast första året efter av- slutade installa- tions- och mark/ beläggnings- arbeten	32	39	28	32
inget svar	29	36	32	36
summa	81	100	89	100

Av de kommuner som besvarat denna fråga anger ungefär hälften att reparationer endast behöver utföras första året efter avslutade installations- och mark/belägningsarbeten. Den andra hälften anger reparationer endast enstaka år och varje år där endast enstaka år är vanligaste.

Av de kommuner som svarat att reparationer genomförs endast första året efter avslutade installations- och mark/belägningsarbeten har den övervägande delen angivit att olägenheter ej har uppstått för gatutrafiken. Slutsatsen av detta måste vara att man har identifierat problemet som dålig återfyllning. Beaktas svaren från både energiverk och gatukontor finner man dessa kommuner över hela landet från Gällivare i Norrbotten till Perstorp i Skåne.

En utförligare analys av svaren redovisas i figurerna 1.2.6, 1.2.7, 1.2.8.

Av figur 1.2.6 framgår det geografiska läget av orter där reparationer av gatan utförts varje år. Orterna ligger som synes i mellersta och norra Sverige. Markskivor för isolering har använts i 75 % av dessa kommuner. Samtliga kommuner anger att ojäm tjällyftning har medfört olägenheter för gatutrafiken.

I figur 1.2.7 redovisas det geografiska läget på de orter där gatukontoret angivit att reparationer av gatan utförts endast enstaka år. Orter över hela Sverige finns representerad i denna grupp. Markskivor för isolering har använts i 31 % av dessa kommuner. I 61 % av de redovisade gatukontoren har ojäm tjällyftning medfört olägenheter för gatutrafiken.

Av figur 1.2.8 framgår det geografiska läget av de orter där gatukontoret angivit att reparationer av gatan utförts endast första året efter avslutade installations- och mark/belägningsarbeten. Orter över hela Sverige finns representerad i denna grupp. Markskivor för isolering har använts endast i ett fall. I Nyköping och Tranås anger man att denna första årets ojämnheter medfört olägenheter för gatutrafiken.



Figur 1.2.8 Geografiskt läge på centralorten i de kommuner vars gatukontor har angivit att reparationer av gatan utförts endast första året efter avslutade installations- och mark/beläggingsarbeten, enligt fråga 4.1. Bokstaven M anger att markskivor har använts för isolering. I Nyköping och Tranås anger man att denna första årets ojämnhet medfört olägenheter för gatutrafiken.

Grunddata

Fråga 5.1

Vilken typ av område eller gata/gator har iakttagelserna vanligst avsett?

	Antal svar		GK	
	EV st	%	st	%
1 gångväg	0	0	0	0
2 cykelväg	0	0	0	0
3 lokalgata	19	23	19	21
4 huvudgata	11	14	14	16
5 motortrafikled	0	0	0	0
6 grönytor	0	0	0	0
inget svar	51	63	56	63
summa	81	100	89	100

Olägenheterna med ojämn tjällyftning är störst i lokal- och huvudgator. Detta är naturligt eftersom den mesta trafiken förekommer på dessa gator. Dessutom läggs förmodligen de flesta fjärrvärmekulvertar i denna typ av gator.

Fråga 5.2

Ange ett år då skador med säkerhet observerats.

	Antal svar		GK	
	EV st	%	st	%
1982	11	14	16	20
1981	4	5	4	4
1980	5	6	3	3
1979	2	2	2	2
1978	0	0	0	0
1977	1	1	2	2
1976	0	0	0	0
1975	0	0	1	1
1974-71	0	0	0	0
1970	0	0	1	1
inget svar	58	72	60	67
summa	81	100	89	100

Av de kommuner som besvarat frågan har ungefär hälften angett år 1982 som ett år då skador med säkerhet observerades.

Fråga 5.3

Byggnadsår för enligt punkt 5.2 berörd kulvert?

	Antal svar		GK	
	EV st	%	st	%
1982	3	4	3	3
1981	6	8	7	8
1980	4	5	3	3
1979	3	4	4	5
1978	4	5	5	6
1977	2	2	1	1
1976	1	1	2	2
1975	1	1	1	1
1974-60	4	5	3	3
1959	1	1	1	1
1952	1	1	0	0
inget svar	51	63	59	66
summa	81	100	89	100

Byggnadsåret för de kulvertar, på vilka en skada med säkerhet har inträffat, är företrädesvis mellan åren 1978 till 1982.

Fråga 5.4

Kulverttyp

Fråga 4.1 Reparationer
av gatan

	Antal svar				varje år							
	EV st	%	GK st	%	st	%	st	%	st	%	st	%
1 betongkulvert	2	2	3	3	0	0	1	3	2	4		
2 asbestcement kulvert	4	5	3	3	0	0	4	13	1	2		
3 plaströrskulvert	27	33	22	25	8	57	12	39	14	25		
4 stålörskulvert	3	4	6	7	2	14	2	6	4	7		
5 övrigt	0	0	1	1	1	7	0	0	0	0		
inget svar	45	56	54	61	3	22	12	39	34	62		
summa	81	100	89	100	14	100	31	100	55	100		

Tabellen ovan redovisar dels svaren på fråga 5.4 dels fråga 5.4 kombinerad med fråga 4.1. Fråga 4.1 behandlar hur ofta reparationer av gatan har genomförts.

Av resultaten framgår att reparationer av gatan har utförts oftast där plaströrskulvert har installerats.

Fråga 5.5

Dimension i millimeter för mediaröret.

	Antal svar		GK	
	EV st	%	st	%
1 20-32	0	0	0	0
2 40-65	6	8	5	6
3 80-125	10	12	6	7
4 150-250	13	16	14	16
5 300	4	5	0	0
6 400	1	1	2	2
7 500	0	0	1	1
inget svar	47	58	61	68
summa	81	100	89	100

Mediarörets dimension är vanligast mellan 80 och 250 mm där olägenheter av ojämn tjällyftning har observerats.

Fråga 5.6

Framledningstemperatur i medeltal under vintern C°.

	Antal svar		GK	
	EV st	%	st	%
130-121	0	0	0	0
120-111	4	5	6	7
110-101	14	17	10	11
100-91	11	14	10	11
90-81	5	6	5	6
80-71	1	1	0	0
70-61	0	0	2	2
inget svar	46	57	56	63
summa	81	100	89	100

Där olägenheter på grund av ojämn tjällyftning har observerats är framledningstemperaturen i aktuell fjärrvärmekulvert vanligast mellan 90 och 110°C.

Fråga 5.7

Isolering av fjärrvärmekulvert?

	Antal svar		GK	
	EV st	%	st	%
1 cellbetong	1	1	1	1
2 mineralull	5	6	4	5
3 PUR standard (exv Serie 1)	11	14	9	10
4 PUR extra (exv Serie 2 eller 3)	23	28	18	20
5 annan	0	0	1	1
inget svar	41	51	56	63
summa	81	100	89	100

Där olägenheter på grund av ojäm tjällyftning har observerats är isoleringen av fjärrvärmekulverten vanligast utförd med PUR extra därefter följer PUR standard.

Fråga 5.8

Läggningsdjup i centimeter räknat till mediarörets centrum?

	Antal svar		GK	
	EV st	%	st	%
200-151	0	0	0	0
150-121	2	3	3	3
120-101	8	10	4	5
100-81	19	23	19	21
80-60	13	16	13	15
inget svar	39	48	50	56
summa	81	100	89	100

Där olägenheter på grund av ojäm tjällyftning har observerats är läggningsdjupet av fjärrvärmekulverten vanligast mellan 80 till 100 cm. Därefter följer läggningsdjupet 60 till 80 cm.

Fråga 5.9

Är kulvertgraven dränerad?

	Antal svar		GK	
	EV st	%	st	%
1 ja	26	32	25	28
2 nej	19	24	17	19
inget svar	36	44	47	53
summa	81	100	89	100

Där olägenheter på grund av ojäm tjällyftning har observerats är det något vanligare med dränerad kulvertgrav jämfört med odränerad.

Fråga 5.10

På vilken nivå är den naturliga grundvattenytan belägen i förhållande till fjärrvärmeröret?

	Antal svar		GK	
	EV st	%	st	%
1 över röret	1	1	3	3
2 under röret	43	53	38	43
inget svar	37	46	48	54
summa	81	100	89	100

Där olägenheter på grund av ojämn tjällyftning har observerats är grundvattenytan nästan uteslutande belägen under fjärrvärmeröret.

I de fall där grundvattenytan är belägen över fjärrvärmeröret gäller följande data.

förvaltn	sättning		markskivor		reparationer	läggningsdjup cm
	bredd m	djup cm	bredd m	tjocklek cm		
E	20	10	-	-	-	120
G	2	20	-	-	varje år	80
G	5	5	1	3	enstaka år	80
G	2	10	-	-	endast en gång	40

Fråga 5.11

Naturlig jordart?

	Antal svar		GK	
	EV st	%	st	%
1 lera	14	17	10	11
2 silt	10	12	12	14
3 sand	5	6	2	2
4 grus	2	3	3	3
5 morän	11	14	13	15
6 berg	0	0	0	0
inget svar	39	48	49	55
summa	81	100	89	100

De tjälfarliga jordarna är helt naturligt vanligast där olägenheter på grund av ojämn tjällyftning har observerats.

Fråga 5.12

Återfyllnadsmaterial om annat än det naturliga.

	Antal svar		GK	
	EV st	%	st	%
1 sand	28	35	22	25
2 grus	13	16	16	18
3 annat	2	2	1	1
inget svar	38	47	50	56
summa	81	100	89	100

Där olägenheter på grund av ojäm n tjällyftning har observerats är sand det vanligaste återfyllnadsmaterialet. Grus förekommer också i stor utsträckning.

Övrigt

Frågeformuläret avslutas med en fråga om VBB kan kontakta kommunen om den anser att enkäten inte på ett rättvisande sätt beskriver de av respektive kommun observerade olägenheterna. Följande kommuner har besvarat denna fråga.

<u>Kommun</u>	<u>Energiverk</u>	<u>Gatukontor</u>
Borlänge	X	
Piteå	X	
Solna		
Gällivare		X
Hallsberg	X	X
Mora		X
Nyköping		X
Sala		X
Växjö		X

Förutom svar på de frågor som ställts i enkäten har några kommuner lämnat ytterligare upplysningar eller kommentarer. Dessa redovisas i det följande.

Energiverken

<u>Kommun</u>	<u>Kommentar</u>
Borås	Vinterproblem utgör alla oisolerade stålbetäckningar till nedstigningsbrunnar för VA och fjärrvärme, som vintertid blir påfrusna av is runt om, vilket utgör problem för trafik och gående.
Mjölby	Det enda problem vi märkt är sättningar där expansionsanordningar finns, vilket borde tyda på dålig packning eller är det där vi har dessa problem med tjälen som ni frågar efter? Värmeverket tillsammans med gatukontoret har för avsikt att under kommande vinter följa upp de ev problem som kan uppstå med de olika expansionsanordningar vi använder i gatorna. Expansionsanordningar kan uppmuras eller att man använder markskivor med btg platta för jordtrycket eller enbart markskivor.
Piteå	Vi har utarbetat teknik med utspetsningar för att eliminera dessa problem.

- NAB Konsult i Piteå har utrett ärendet och förfogar över utredningsmaterial. Kontaktperson Staffan Sandberg, tel 0911-160 65.
- Skellefteå Problemet med tjällyftningar är mera vanligt vid förläggning av elkraftkabel som korsar gator. F ö är tjällyftning/nedsäkning ett problem året runt.
- Vilhelmina Observationerna av tjällyftning har skett på de gator där kommunen har asfalterat direkt på leran. Vi har däremot inga problem där gatan är riktigt gjord. Markisolering läggs där gata korsar = inga problem. Där kulverten gått parallellt efter gatan och där gatan inte är riktigt gjord uppstår tjällyftningsdifferenser.
- Västerås Av kommunens ca 40 mil FV-ledningar, är det endast på ett ställe, Vegagatan, en 6 m bostadsgata, där tydliga och ständigt återkommande problem observerats. Trots att uppgrävning och markskiveisolering gjordes 1980(?) kvarstår problemen. Utspetsning och isolering borde ha gjorts åtminstone 5-6 m bredare (än 1,2m!)

Gatukontor

- Järfälla Inga påtagliga problem eller skador har rapporterats som antyder att ojämn tjällyftning ägt rum i anslutning till fjärrvärmekulvert. Ej heller har problem uppmärksammats till följd av ojämn snösmältning-isbildning vid kulvert i GC-väg. Eftersom större delen av fjärrvärmenätet har byggts ut under de senaste 5-10 åren saknas dock längre tids erfarenheter. Framtida problem av nämnt slag kan därför ej uteslutas.

Stockholm
Renhåll-
ningsavd

Otillräckligt isolerad kulvert på framför allt mindre trafikerade gator ger under milda väderleksförhållanden vintertid snögropar/vallar i körbana. Intill dessa gropar uppstår vid låga temperaturförhållanden isvallar som kan orsaka halkningsolyckor. I förorter med kulvert liggande i gräsyta intill gång- och cykelbana har i några fall långsgående sprickor uppstått i asfaltbeläggningsen. Någon större olägenhet ur vinterväghållningens synpunkt har fjärrvärmekulvertarna hittills inte givit renhållningsavdelningen.

Stockholms
Byggnadsavd

I bif formulär har kontoret svarat med ett typfall. Utöver detta har vi funnit: att otillräckligt isolerad kulvert på framför allt mindre trafikerade gator ger under milda väderleksförhållanden vintertid snögropar/vallar i körbana med halkrisk. Att i förorter med kulvert i gräsyta intill plogad gång- och cykelbana i några fall sprickbildning har uppstått i beläggningsen.

FRÅGEFORMULÄR ANGÅENDE TJÄLLYFTNING FÖR FJÄRRVÄRMELEDNINGAR (primärsidan)

Frågeformuläret har utarbetats så att ifyllandet och efterföljande bearbetning ska bli så enkel som möjligt. De flesta frågorna besvaras genom att välja angivet tillämpligt alternativ och sätta ett kryss eller vald alternativsiffra i rutan till höger om respektive fråga. I de fåtal frågor som ska besvaras med beskrivande text bör svaret vara mycket kortfattat helst i form av några nyckelord. Siffrorna under svarsrutorna är till för automatisk databearbetning av enkäten. Frågorna besvaras i den omfattning respektive verk/myndighet äger kännedom om förhållandena.

Kommun 1-15

Besvarat av energiverket (markera med x i rutan)

16

Besvarat av gatukontoret (markera med x i rutan)

17
1. Iakttagelser

1.1 Har ojämn tjällyftning observerats vid korsning mellan FV-kulvert och gata?

1 = ja, 2 = nej

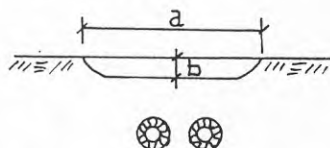
18

1.2 Har observerad ojämn tjällyftning medfört olägenheter för gatutrafiken?

1 = ja, 2 = nej

19

1.3 Om observerad ojämn tjällyftning inte medfört olägenheter för gatutrafiken, ange ungefärliga mått på sättningen i sämsta fall, se figur. Välj ett typiskt fall.



meter, a =

21

centimeter, b =

23

1.4 Om observerad ojämn tjällyftning medfört olägenheter för gatutrafiken, ange ungefärliga mått i sämsta fall, se figur i fråga 1.3. Välj ett typiskt fall.

meter, a =

25

centimeter, b =

27

1.5 När uppträder olägenheter för gatutrafiken?

- 1 = varje vinter
2 = endast under kalla vintrar
3 = endast under milda vintrar

28

1.6 Under vilken del av vintern uppträder olägenheterna?

- 1 = endast under tjälbildningsperioden
2 = endast under tjällossningsperioden
3 = både 1 och 2

29

1.7 Kvarstår ojämnheterna i gatan även efter det att tjälen gått ur jorden?

- 1 = ja, 2 = nej

30

1.8 Har ojämn snösmältning eller isbildning vid kulvertens passage av gångbana inneburit halkrisk eller andra olägenheter för fotgängare?

- 1 = ja, 2 = nej

31

1.9 Om 1.8 besvaras med ja beskriv olägenheten kortfattat

.....
32-52

1.10 Har rörsador observerats på andra ledningar (exempelvis för vatten och avlopp), som bedöms kan ha förorsakats av närhet till FV-kulvert?

- 1 = ja, 2 = nej

53

1.11 Om 1.10 besvaras med ja beskriv i så fall typen av rörskada.

.....
54-74

2. Markisolering

2.1 Har horisontella markskivor av exempelvis polystyren använts över kulverten för minskning av ojämn tjällyftning

- 1 = ja, 2 = nej

75

- 2.2 Om markskivor har använts ange isoleringens tjocklek T i cm och bredd B i meter. Välj ett typiskt fall.

T =

77

B =

79

- 2.3 Har använda markskivor givit helt tillfredsställande resultat?

1 = ja, 2 = nej

80

- 2.4 Om använda markskivor ej givit tillfredsställande resultat ange gjorda iakttagelser!

.....

81-101

3. Rörisolering

- 3.1 Har extra rörisolering använts från energiekonomisk synpunkt?

1 = ja, 2 = nej

102

- 3.2 Om extra rörisolering använts från energiekonomisk synpunkt ange i så fall isolertyp

1 = normalt förstärkt (ex.vis Serie 2)

2 = kraftigt förstärkt (ex.vis Serie 3)

103

- 3.3 Har rörsador observerats till följd av tjällyftning under sålunda extra isolerade rör?

1 = ja, 2 = nej

104

4. Reparationer

- 4.1 Hur ofta har reparationer av gatan måst genomföras?

1 = Varje år

2 = Endast enstaka år

3 = Endast första året efter avslutade installations- och mark/beläggningsarbeten

105

5. Grunddata

Om iakttagelser av olägenheter har observerats och besvarats i föregående frågor är det angeläget att grunddata beträffande aktuella fjärrvärmeledningar besvaras i det följande. Uppgifterna skall hänföras till det typfall av skada som tidigare angetts, exempelvis under 1.3 eller 1.4.

5.1 Vilken typ av område eller gata/gator har iakttagelserna vanligast avsett?

- 1 = Gångväg
- 2 = Cykelväg
- 3 = Lokalgata
- 4 = Huvudgata
- 5 = Motortrafikled
- 6 = Grönytor

106

5.2 Ange ett år då skador med säkerhet observerats?

110

5.3 Byggnadsår för enligt pkt 5.2 berörd kulvert?

114

5.4 Kulverttyp

- 1 = Betongkulvert
- 2 = Asbestcementkulvert
- 3 = Plaströrskulvert
- 4 = Stålrörskulvert
- 5 = Övrigt

115

5.5 Dimension i millimeter för mediaröret

- 1 = 20-32
- 2 = 40-65
- 3 = 80-125
- 4 = 150-250
- 5 = 300
- 6 = 400
- 7 = 500

116

5.6 Framledningstemperatur i medeltal under vintern i C°

118

5.7 Isolering av FV-kulvert?

- 1 = Cellbetong
- 2 = Mineralull
- 3 = PUR standard (ex.vis Serie 1)
- 4 = PUR extra (ex.vis Serie 2 eller 3)
- 5 = Annan

119

5.8 Läggningsdjup i centimeter räknat till mediarörets centrum

--	--	--

122

5.9 Är kulvertgraven dränerad?
1 = ja, 2 = nej

123

5.10 På vilken nivå är den naturliga grundvattenytan belägen i förhållande till fjärrvärmeröret?
1 = över röret, 2 = under röret

124

5.11 Naturlig jordart

- 1 = lera
- 2 = silt
- 3 = sand
- 4 = grus
- 5 = morän
- 6 = berg

125

5.12 Återfyllnadsmaterial om annat än det naturliga

- 1 = sand
- 2 = grus
- 3 = annat, i så fall vilket

126

.....
Datum

.....
Kontaktperson

.....
Telefon

Om Ni tycker att enkäten inte på ett rättvisande sätt beskriver de av Er observerade olägenheterna, kan vi i så fall kontakta Er på ovanstående telefonnummer.
Om ja sätt kryss i rutan

127

Frågeformuläret ifylles och återsändes senast 1983-07-08
under adress

VBB

Att: Civing Lennart Andersson
Box 5038

102 41 STOCKHOLM

Frågor angående enkäten besvaras av
Lars-Eric Janson tel 08/782 70 54 eller
Lennart Andersson tel 08/782 70 90

Stockholm 1983-05-30
VBB

Lars-Eric Janson

Sändlista

* markerar inkomna svar

- Ale Fjärrvärme AB
 Arboga kommun
 *AB Avesta Energiverk
 *Bodens Energiverk
 *Bollnäs kommun
 *AB Borlänge Industriverk
 *Borås Energiverk
 Degerfors Värmeverk AB
 *Drefvikens Energiverk AB
 AB Eksjö Energiverk
 *AB Enköpings Värmeverk
 *Tekniska Verken, E-tuna
 *AB Fagersta kommuns Energiverk
 *Gislaveds kommun
 *Gotlands Energiverk AB
 *Gällivare Värmeverk AB
 *Energiverken i Gävle
 *Energiverken i Göteborg
 *Hallsbergs kommun
 *AB Hallstahammars Energiverk
 *Halmstads Energiverk
 *Hedemora Energiverk
 *Helsingborgs Energiverk
 *Stift Hoforshus
 *Hudiksvalls Energiverk AB
 Hultsfreds kommun
 *AB Härnösands Industriverk
 *Hässleholms Energiverk
 *Jokkmokks Värmeverk AB
 *Järfälla kommun
 *Jönköpings Energiverk
 *Kalmar Energiverk AB
 Karlshamns byggn kontor
 *Karlskoga kommun
 *Karlstads Energiverk
 *Katrinelholms Energiverk AB
 Klippans kommun
 *AB Kramfors Energiverk
 *Kristianstads Energiverk
 Kristinehamns Energiverk
 *Kumla Energiverk AB
 *Köpings tekn verk
 *Landskrona kommun
 *AB Lidingö Energiverk
 *Lidköpings Värmeverk AB
 *Lilla Edets Fjärrvärme AB
 *Tekn verken i Linköping AB
 *AB Ljungby Fjärrvärmeverk
 Ljusdals Energiverk
 Ludvika Elverk AB
 *Luleå Energiverk AB
 *Lunds Energiverk
 *Lycksele Energiverk AB
 Malmö-Burlöv Energi AB
 *Malmö Energiverk
 *Mjölby-Svartådalen E-verk
 *Mora Värmeverk AB
 Mölndals Energiverk
 *Nora kommun
 *Norrköpings Energiverk
 Nyköpings kommun
 *Oskarshamns Energiverk AB
 Oxelösunds kommun
 *Partille kommun
 *Perstorps Fjärrvärme AB
 *Piteå Energiverk AB
 *Rättviks Värmeverk AB
 *Sala-Heby Energi AB
 *AB Sandvikens Energiverk
 AB Sigtuna Energiverk
 Skaraborgs läns landsting
 *Skellefteå Kraft AB
 *Skinnskattebergs kommun
 *Skövde Energiverk
 Smedjebackens kommun
 *Sollefteå Elverk
 *AB Sollentuna Energiverk
 *Solna kommun
 *Staffanstorps kommun
 Stift Stenungsunds F-värme
 *Stockholms Energiverk
 Sthlms-Näs Kraft AB
 *Strömsunds Värmebolag
 Sundbybergs tekn förv
 *Sundsvalls Energiverk
 *Surahammars kommun
 Stift Svalövbostäder
 Sätters Energiverk
 Söderhamns Energiverk
 *Södertälje Energiverk
 *Södertörns Fjärrvärme AB
 *Tranås Energiverk
 Trelleborgs Tekn Verk
 Trollhättans Fjärrvärme AB
 Uddevalla kommuns Energiverk
 *AB Umeå Värmeverk
 Upplands-Väsby Energiverk
 *Uppsala Industriverk
 Vallentuna Värmeverk AB
 *Roslags Energi AB
 *AB Vetlanda Energiverk
 *AB Vilhelmina Värmeverk
 *Vimmerby Värmeverk
 *Vänersborgs Fjärrvärme AB
 *Värnamo kommun
 *Västerviks Värmeverk AB
 *Tekn Verken i Västerås
 *Växjö Energiverk AB
 Älvsbyns Fjärrvärme AB
 Ängelholms Energiverk
 *Örebro kommun industriverk
 Örkelljunga Fjärrvärmeverk
 *Örnsköldsviks Energiverk
 *Östersunds Fjärrvärme AB

SVENSKA VATTEN- OCH AVLOPPSVERKSFÖRENINGEN, VAV

Sändlista

* markerar inkomna svar

- | | | |
|--------------------------|--------------------------|------------------------|
| *Ale kommun | *Linköpings kommun | *Tranås kommun |
| *Avesta kommun | *Ljungby kommun | *Trelleborgs kommun |
| *Bodens kommun | *Ljusdals kommun | *Trollhättans kommun |
| *Bollnäs kommun | *Ludvika kommun | *Uddevalle kommun |
| *Borlänge kommun | *Luleå kommun | *Umeå kommun |
| *Borås kommun | *Lunds kommun | *Upplands Väsby kommun |
| *Degerfors kommun | *Lycksele kommun | *Uppsala kommun |
| Haninge kommun | *Malmö kommun | Vallentuna kommun |
| Eksjö kommun | *Mjölby kommun | Vaxholms kommun |
| *Enköpings kommun | *Mora kommun | *Vetlanda kommun |
| Tekn verken i Eskilstuna | Mölnads kommun | *Vilhelmina kommun |
| *Fagersta kommun | *Nora kommun | Vimmerby kommun |
| *Gotlands kommun | *Norrköpings kommun | Vänersborgs kommun |
| *Gällivare kommun | *Nyköpings kommun | *Västerviks kommun |
| *Gävle kommun | *Oskarshamns kommun | *Västerås kommun |
| *Göteborgs gatukontor | *Partille kommun | *Växjö kommun |
| *Göteborgs va-verk | *Perstorps kommun | Älvsbyns kommun |
| *Hallsbergs kommun | *Piteå kommun | *Ängelholms kommun |
| Hallstahammars kommun | Rättviks kommun | *Örebro kommun |
| *Halmstads kommun | *Sala kommun | Örkelljunga kommun |
| *Hedemora kommun | *Sandvikens kommun | *Örnsköldsviks kommun |
| *Helsingborgs kommun | *Sigtuna kommun | *Östersunds kommun |
| *Hofors kommun | *Skaraborgs Vattenverksf | |
| Hudiksvalls kommun | *Skellefteå kommun | |
| *Härnösands kommun | *Skinnskatteberg | |
| Hässleholms kommun | Skövde kommun | |
| *Jokkmokks kommun | *Sollefteå kommun | |
| *Järfälla kommun | *Sollentuna kommun | |
| *Jönköpings kommun | Solna kommun | |
| *Kalmar kommun | *Stenungsunds kommun | |
| *Karlskoga kommun | Stockholms va-verk | |
| *Karlstads kommun | *Stockholm gatukontor | |
| *Katrineholms kommun | *Strömsunds kommun | |
| *Kramfors kommun | Sundbybergs kommun | |
| Kristianstads kommun | *Sundsvalls kommun | |
| Kristinehamns kommun | *Surahammars kommun | |
| *Kumla kommun | *Svalövs kommun | |
| *Köpings kommun | Säters kommun | |
| *Lidingö kommun | *Söderhamns kommun | |
| *Lidköpings kommun | *Södertälje kommun | |
| *Lilla Edets kommun | | |

Utredning
beträffande temperaturförhållandena vintertid
runt en värmekulvert i mark i Umeå

(Härtill 8 fig)

1. Inledning

Fjärrvärmenätet i Umeå är under utbyggnad. Värmeläckaget från en på sedvanligt sätt isolerad värmekulvert ligger som regel mellan 40 W/m och 60 W/m under vintern. Detta innebär att tjälnedträngningen starkt reduceras i marken närmast runt kulverten i jämförelse med det naturliga tjäldjupet på stort avstånd från denna. Består marken av tjälskjutande jord, blir därmed också tjällyftningen olika stor över och vid sidan av kulverten. I gator kan detta betyda ojämnheter i vägbeläggningen medförande olägenheter för trafik och för vägunderhåll.

För att minska dessa olägenheter har olika former av markisolering använts över kulverten. Tanken är att därmed åstadkomma en jämnare övergång mellan marken ovanför kulverten med ringa eller ingen tjällyftning och marken på större avstånd från kulverten.

I Umeå har använts polystyrenskivor med tjocklek från 50 mm ovanför kulverten avklingande till 20 mm på avstånd upp till 10 m vid sidan om kulvertgraven. Eftersom metoden är dyrbar, har det ansetts angeläget att bedöma värdet av isoleringen jämfört med andra billigare åtgärder som skulle kunna ge samma tjällyftningsutjämnande resultat.

2. Beräkning

För bedömning av angiven frågeställning har temperaturfältet beräknats runt en cirkulär värmekälla med centrum 0,8 m under markytan. En förenkling i beräkningen har gjorts genom att endast framledningen (+120°C) medtagits. Detta har ingen nämnvärd betydelse när det gäller att finna huvudprinciperna för temperaturfältets utbredning vid olika klimatdata och isoleringsformer.

Dessutom har tills vidare endast den minsta rördimensionen 125 (stålrör \varnothing 134 mm) betraktats med en polyuretanisolering med 38 alternativt 50 mm tjocklek. Mantelrörets ytterdiameter är därmed 225 respektive 250 mm.

Som klimatdata har använts årsmedeltemperaturen för Umeå, $+3,1^{\circ}\text{C}$, och lägsta månadsmedeltemperaturen för 50-årsvintern, -13°C . För en normalt kall vinter är motsvarande månadsmedeltemperatur -9°C . Under en normalt mild vinter kan den lägsta månadsmedeltemperaturen sättas till -4°C .

Antas jorden vara tjälfarlig och bestå till största delen av silt, kan maximala tjäldjupet i snöfri gatemark med stor utbredning uppgå till högst 2,6 m, 1,8 m och 0,8 m under respektive en extremt kall, en normalt kall och en normalt mild vinter. Temperaturen ϑ_h i marken på värmerörets centrumnivå h , när ingen värme avges från röret är då -9°C , -5°C och 0°C respektive. Jordartens värmeledningstal i fruset tillstånd λ_1 , har antagits vara $2,3 \text{ W/mK}$ och PUR-isoleringens λ' $0,027 \text{ W/mK}$. Polystyrenskivornas (Styrofoam) värmeledningstal är $0,035 \text{ W/mK}$.

Värmeavgivningen q från värmeröret bestäms av uttrycket

$$q = \frac{2\pi\lambda_1 (\vartheta_u - \vartheta_h)}{\ln 2h/r_u} = 2\pi\lambda' \frac{(\vartheta_i - \vartheta_u)}{\ln r_u/r_i} \quad (1)$$

där förutom tidigare angivna symboler
 ϑ_u = temperaturen på mantelrörets utsida
 ϑ_i = temperaturen på isoleringens insida
 r_u = mantelrörets radie
 r_i = värmerörets radie

Temperaturen ϑ_{xy} i en punkt x , y utanför värmekulverten kan därmed beräknas enligt uttrycket

$$\vartheta_{xy} - \vartheta_h = \frac{q}{4\pi\lambda_1} \cdot \ln \frac{y^2 + (h+x)^2}{y^2 + (h-x)^2} \quad (2)$$

Med ekv (1) och (2) har åtta (A - H) olika fall beräknats med följande resultat.

Fall A (Fig 1)

Förutsättningar:

Normalt mild vinter med markytans medeltemperatur i januari -4°C

Oisolerad markyta

Naturligt tjäldjup 0,8 m

PUR-rörisolering 38 mm

För en jämförande bedömning av vad olika klimat och isolering kan innebära med hänsyn till ojämn tjällyftning används i det följande 0° -isotermens relativa

nivåförändring i marken. En stor förändring på kort avstånd kan således bedömas i normalfallet ge större diskontinuiteter i markytans nivåförändring än en långsam förändring. I några fall kan det vara lämpligt att låta isotermerna för -1°C eller -2°C tjäna som kompletterande bedömningsgrund, eftersom tjällyftningsprocessen förutsätter en viss underkyllning i marken.

Bedömning:

Som framgår av Fig 1 är den relativa nivåförändringen hos 0° -isotermen mycket ringa. Tjällyftningen, om den uppstår, torde således bli långsamt föränderlig i sidled räknat från värmekulverten. Någon olägenhet av att markytan är oisolerad kan knappast uppstå i detta fall.

Fall B (Fig 2)

Förutsättning:

Extremt kall vinter med markytans medeltemperatur i januari -13°C

Oisolerad markyta

Naturligt tjäldjup 2,6 m

PUR-rörisolering 38 mm

Bedömning:

Av Fig 2 framgår att jorden fryser till betydande djup även under värmekulverten. Risk föreligger således för tjällyftning av värmekulverten, även om denna risk kan bedömas som ringa, eftersom temperaturen rakt under kulverten inte någonstans blir lägre än $-1,8^{\circ}\text{C}$. Skulle man enbart betrakta 0° -isotermen, kunde man måhända säga att tjällyftningen måste bli jämn inom hela området.

Emellertid bör samtidigt isotermerna för lägre temperaturer studeras. En samlad bedömning är att markytans tjällyftning torde kunna få en relativ förändring motsvarande isotermen för -5°C . Detta innebär en kraftigare relativ nivåförändring i fall B jämfört med fall A men likväl utbredd på en sträcka av ca 2 m. Det kan således inte anses styrkt att en extremt kall vinter nödvändigtvis skulle ge en väsentligt mer oregelbunden tjällyftning än en mild vinter.

Fall C (Fig 3)

Förutsättningar:

Normalt kall vinter med markytans medeltemperatur i januari -9°C

Oisolerad markyta

Naturligt tjäldjup 1,8 m

PUR-rörisolering 38 mm

Bedömning:

I detta fall blir, som framgår av Fig 3, 0° -isotermens förändring betydligt kraftigare än i tidigare fall. Den relativa tjällyftningsskillnaden bedöms här kunna bli märkbar.

Fall D (Fig 4)

Förutsättningar:

Som fall C, dock med PUR-rörisolering 50 mm

Bedömning:

Som framgår av Fig 4 medför en ökad rörisolering en minskad marktemperatur närmast kulverten och därmed en ännu kraftigare relativ nivåförändring hos 0° -isotermen än vid den tunnare isoleringen. En ytterligare ökad isolering skulle kunna utjämna nivåskillnaden men först när isoleringen blir så tjock att 0° -isotermen hamnar under kulverten. Man får då ett tillstånd liknande det som redovisats på Fig 2 med frysning under kulverten. Eftersom en kraftig rörisolering kombinerad med en extremt kall vinter skapar stor risk för tjällyftning av kulverten, kan en dylik lösning för att utjämna tjällyftningsskillnaderna i markytan inte accepteras.

Fall E (Fig 5)

Förutsättningar:

Normalt kall vinter med markytans medeltemperatur i januari -9°C

Markytan isolerad med 50 mm polystyren typ Styrofoam. Utbredningen räknas i huvudfallet som oändlig och i specialfallet antas bredden vara 5 m på vardera sidan om kulverten

Naturligt tjäldjup utan markisolering, 1,8 m

Tjäldjup under markisolering med stor bredd, 0,5 m.

PUR-rörisolering 38 mm.

Bedömning:

De helldragna linjerna i Fig 5 anger isotermerna för det fall att markisoleringen har oändlig utbredning. Streckad linje anger en interpolerad sträckning för det fall att markisoleringen avbryts 5 m från kulverten. Man finner härav att markisoleringen med oändlig utbredning i sidled ger en mycket flack 0° -isoterm. Tjällyftning torde i detta fall aldrig uppstå och än mindre några tjällyftningsskillnader.

Bilden blir dock en helt annan när markisoleringen begränsas till 5 m utanför kulverten. Man får då på en sträcka av ca 2-3 m en tämligen kraftig relativ förändring av 0° -isotermen med samma risk för tjällyftningsskillnader vid markisoleringens yttre del som man tidigare kunde ha närmare kulverten. Den begränsade

markisoleringen ger således i många fall ingen nämnvärd förbättring beträffande tjällyftningsskillnader i markytan.

Fall F (Fig 6)

Förutsättningar:

Extremt kall vinter med markytans medeltemperatur i januari -13°C

Markytan isolerad som i fall E

Naturligt tjäldjup utan markisolering, 2,6 m

Tjäldjup under markisolering med stor bredd, 0,9 m

PUR-rörisolering 38 mm

Bedömning:

Även i detta fall av extremt kall vinter ger en oändligt utbredd markisolering gott utjämningskydd för ojämn tjällyftning. Emellertid kvarstår samma risk för tjällyftningsskillnader i markytan som i fall E, i och med att isoleringsbredden av praktiska skäl måste begränsas.

Värdet av markisoleringen är således tämligen ringa, eftersom tjällyftningsskillnader i markytan kan bedömas uppstå med olika frekvens vare sig markisolering används eller inte. Detta bekräftas också i viss mån av de avvägningar som utförts i Umeå under vintern 1975-76. Både med isolering i marken och utan har således ojämna tjällyftningar registrerats. I vissa fall har också helt homogena tjällyftningar inträffat trots att markisolering saknas.

Fall G (Fig 7)

Förutsättningar:

Normalt kall vinter med markytans medeltemperatur i januari -9°C

Oisolerad markyta

Naturligt tjäldjup 1,8 m

Ingen rörisolering

Bedömning:

I detta fall har isoleringen runt värmeröret helt slopats. Av tidigare beräknade fall C och D framgår att 0° -isotermens branthet ökar med ökad isoleringstjocklek. En utjämnning av 0° -isotermen kan därför förväntas vid minskning av isoleringen men då på bekostnad av en ökad värmeförlust. Som Fig 7 visar stämmer antagandet väl.

Den bästa utjämnningseffekten erhålls således i detta fall då isoleringen runt värmeröret helt slopas vid vägpassagen. Värmeförlusten från röret är då mycket stor och uppgår till ca 660 W/m , vilket skall jämföras med värmeförlusten ca 45 W/m vid en rörisolering av 38 mm och ca 35 W/m vid en rörisolering av 50 mm.

Dessutom erhålls onormalt höga marktemperaturer under kulverten, vilket kan ogynnsamt påverka andra ledningssystem i gatan. En isolering, men som är mindre än normalt kunde således vara en optimal problemlösning. Detta prövas i fall H.

Fall H (Fig 8)

Förutsättningar:

Som i fall G men med PUR-rörisolering 10 mm

Bedömning:

Den tunna rörisoleringen medför som Fig 8 visar att temperaturen runt kulverten inte överstiger $+20^{\circ}\text{C}$. Fortfarande har dock 0° -isotermen en relativt flack lutning som i jämförelse med Fig 3 och 4 torde ge väsentligt mindre grad av ojämn tjällyftning. Värmeförlusten från värmekulverten är i detta fall ca 120 W/m. Omges kulverten av en kringfyllning bestående av sand, kan man räkna med en värmeförlust av högst ca 60 W/m.

3. Slutsats

Vid bedömningen av beräkningsresultaten måste man beakta att tjällyftningsprocessen redan under naturliga förhållanden har starkt varierande omfattning om man jämför närliggande platser även under tämligen homogena jordartsbetingelser. Stor betydelse har temperaturgradienten, avståndet till grundvattenytan, kornstorleksfördelning, packningsgrad, kapillaritet, belastning etc. I undersökningen har endast temperaturförhållandena använts för den relativa bedömningen av möjliga tjällyftningsskillnader. Stora avvikelser kan således uppstå lokalt oberoende av isoleringsform, men som allmän princip kan följande fastslås.

- a) En ökad isolering av värmeröret innebär risk för tjällyftning av hela kulverten under kalla vintrar.
- b) En markisolering med begränsad bredd kan under vissa förhållanden dämpa tjällyftningsskillnaderna men medverkar huvudsakligen till att flytta diskontinuiteterna i markytan till följd av tjällyftning något längre bort från kulverten.
- c) Samma tjällyftningsskillnader har uppmätts i isolerad mark som i oisolerad.
- d) En utbredd markisolering motiverar, i förhållande till sin obetydliga tjällyftningsutjämnande funktion, inte de kostnader den för med sig.
- e) Det finns ingen praktisk isoleringsform som generellt ger bättre tjällyftningsutjämnning än den, värmeförlusterna från kulverten redan representerar. En

förbättring skulle kunna åstadkommas genom viss minskning av värmerörets isolering vid kulvertens passage av gatan. En sådan åtgärd har störst betydelse för de minsta rördimensionerna. För den största rördimensionen 300 (stålrör \varnothing 315), från vilken värmeförlusten är relativt sett större (ca 50 %), kan det räcka med att man använder den minsta standardisoleringen PUR 54 mm.

Stockholm 1981-02-18
VBB

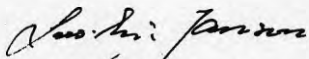

Lars-Eric Janson

FIG. 1

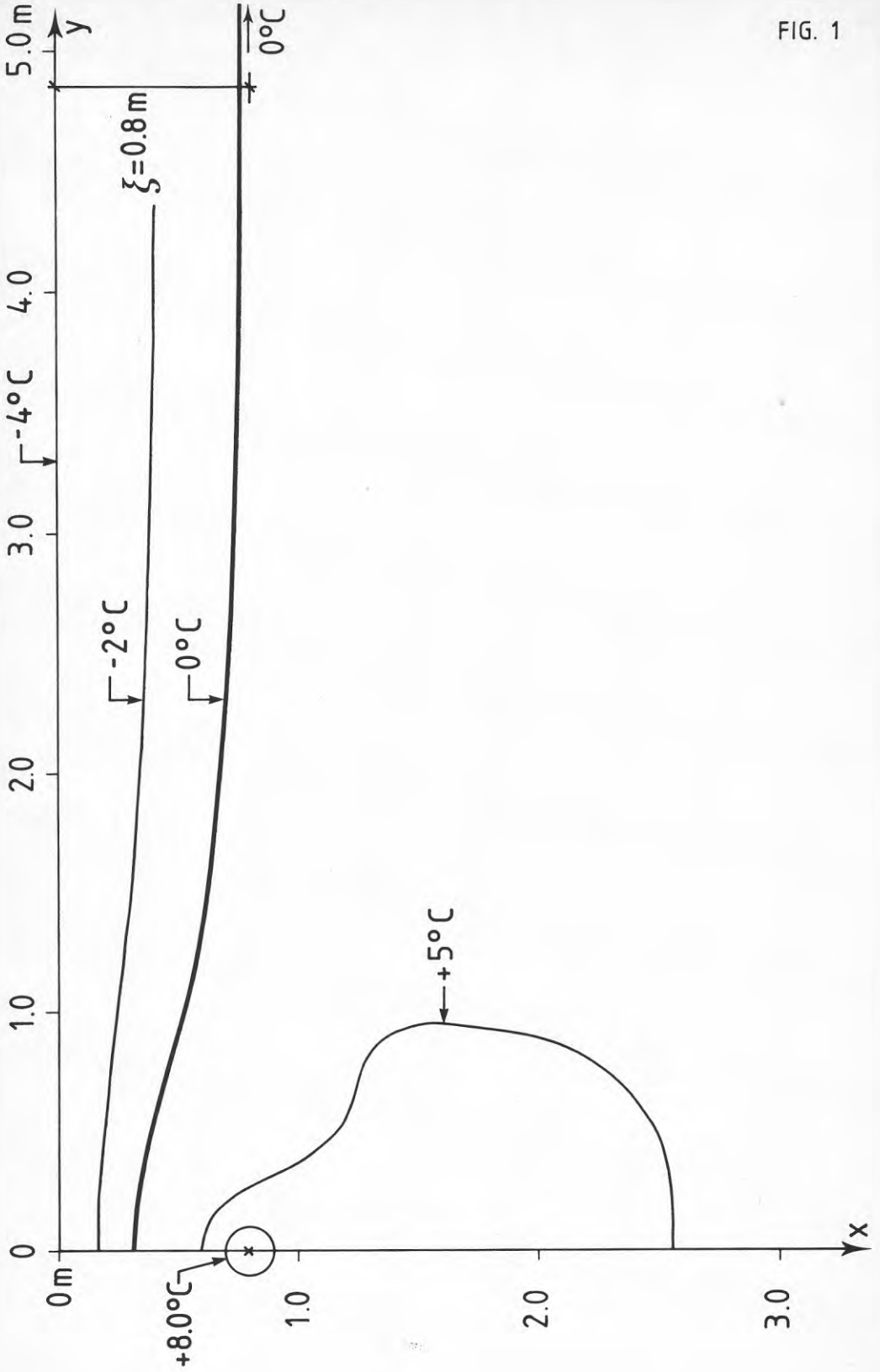


FIG. 2

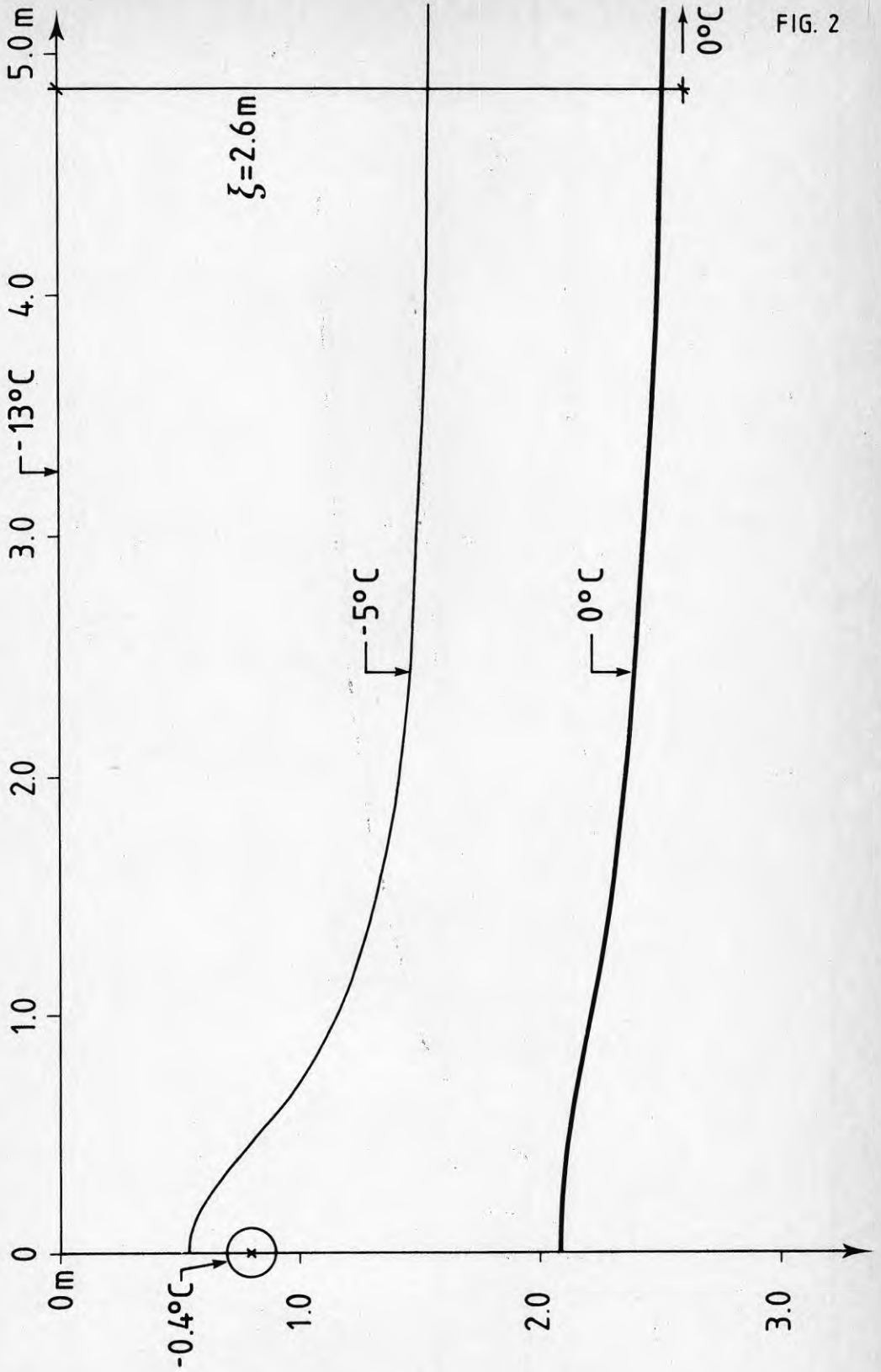


FIG. 3

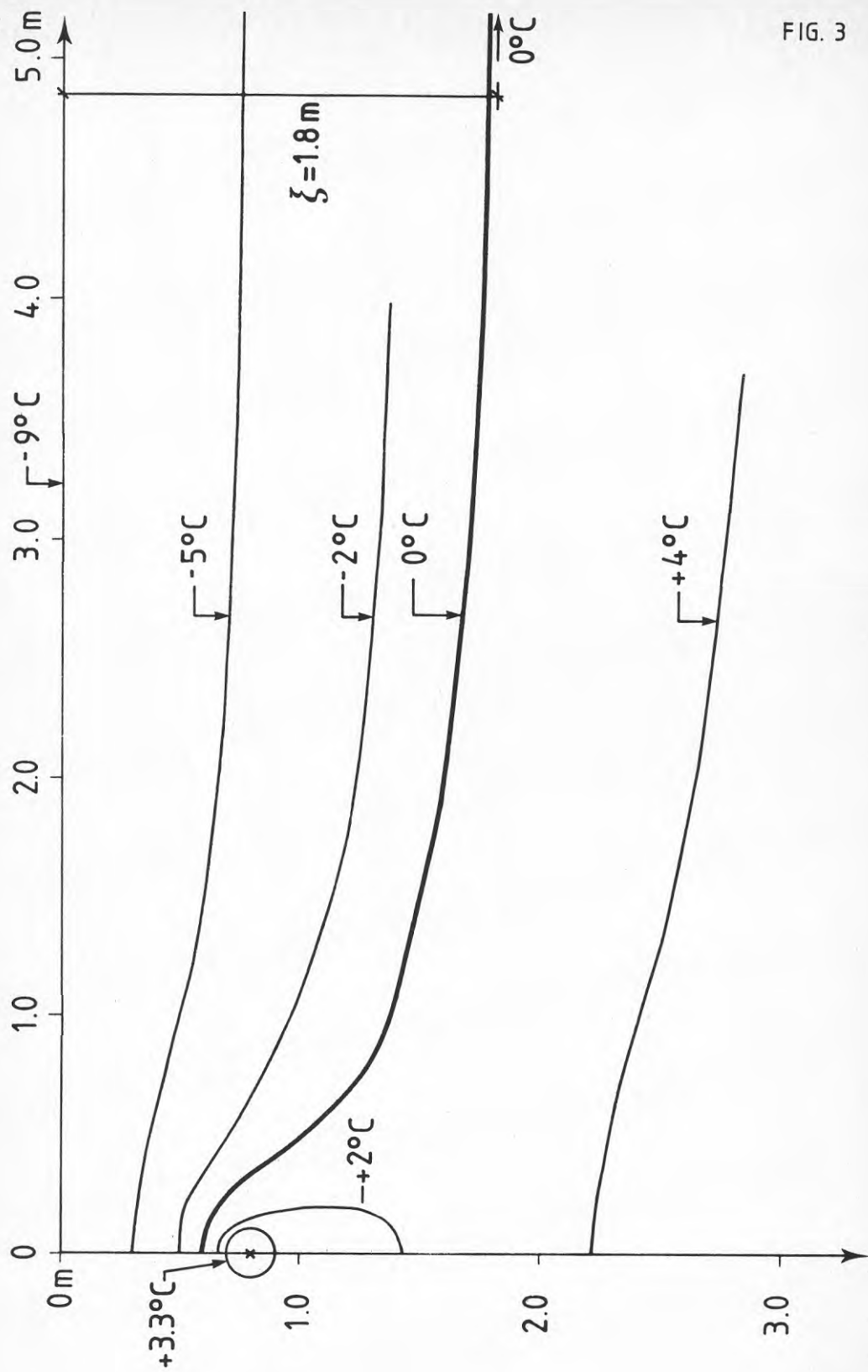


FIG. 4

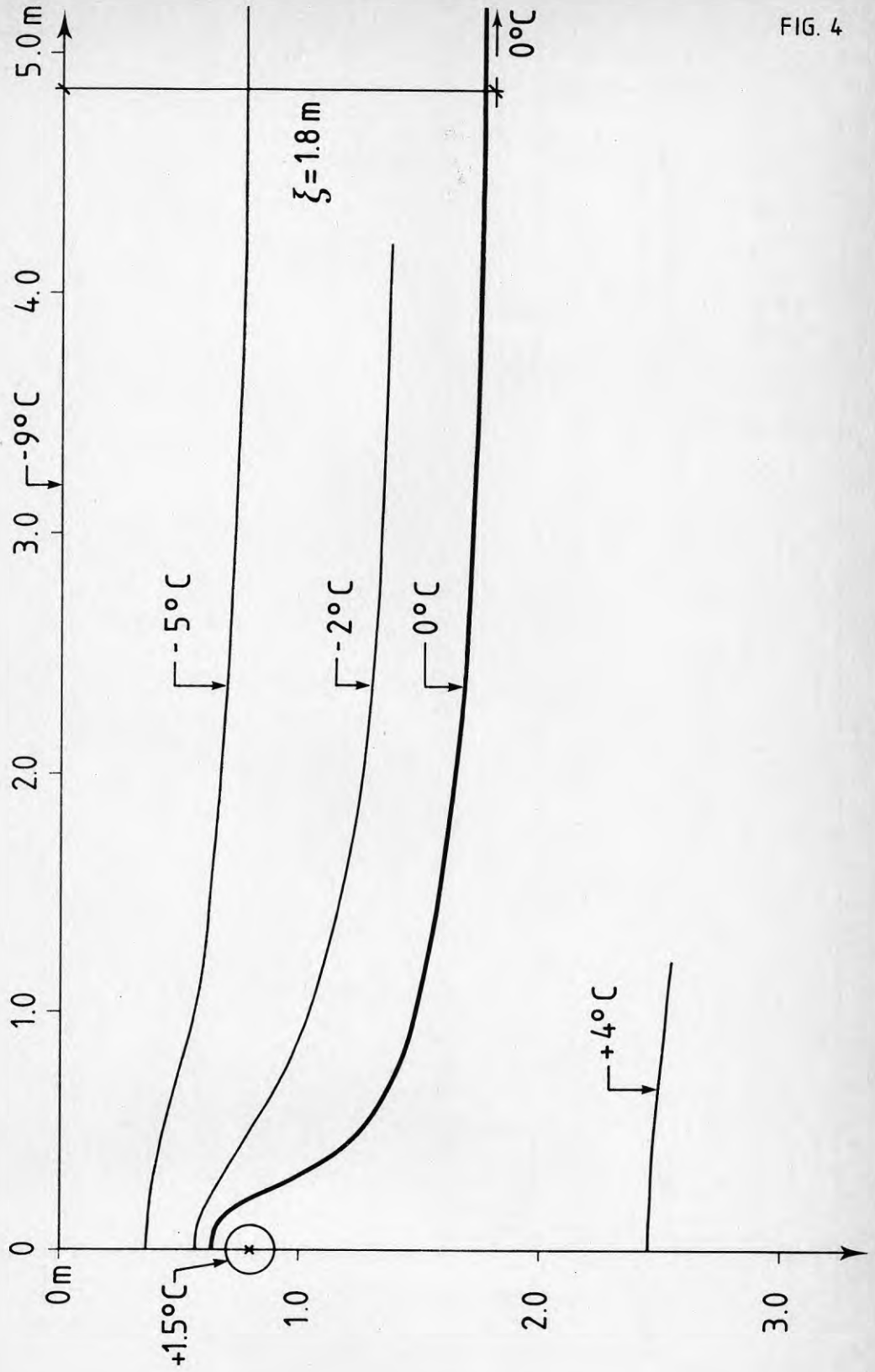
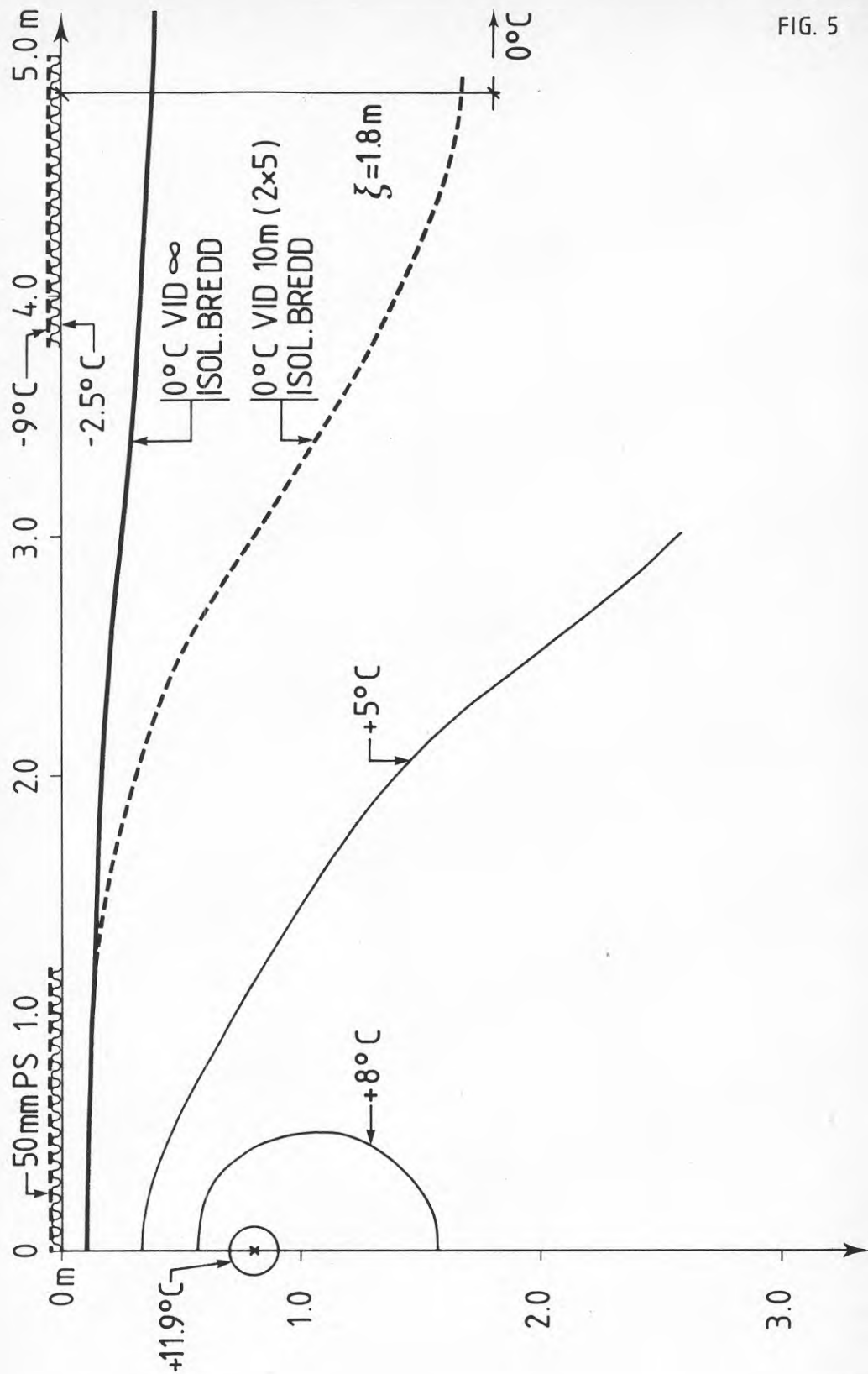
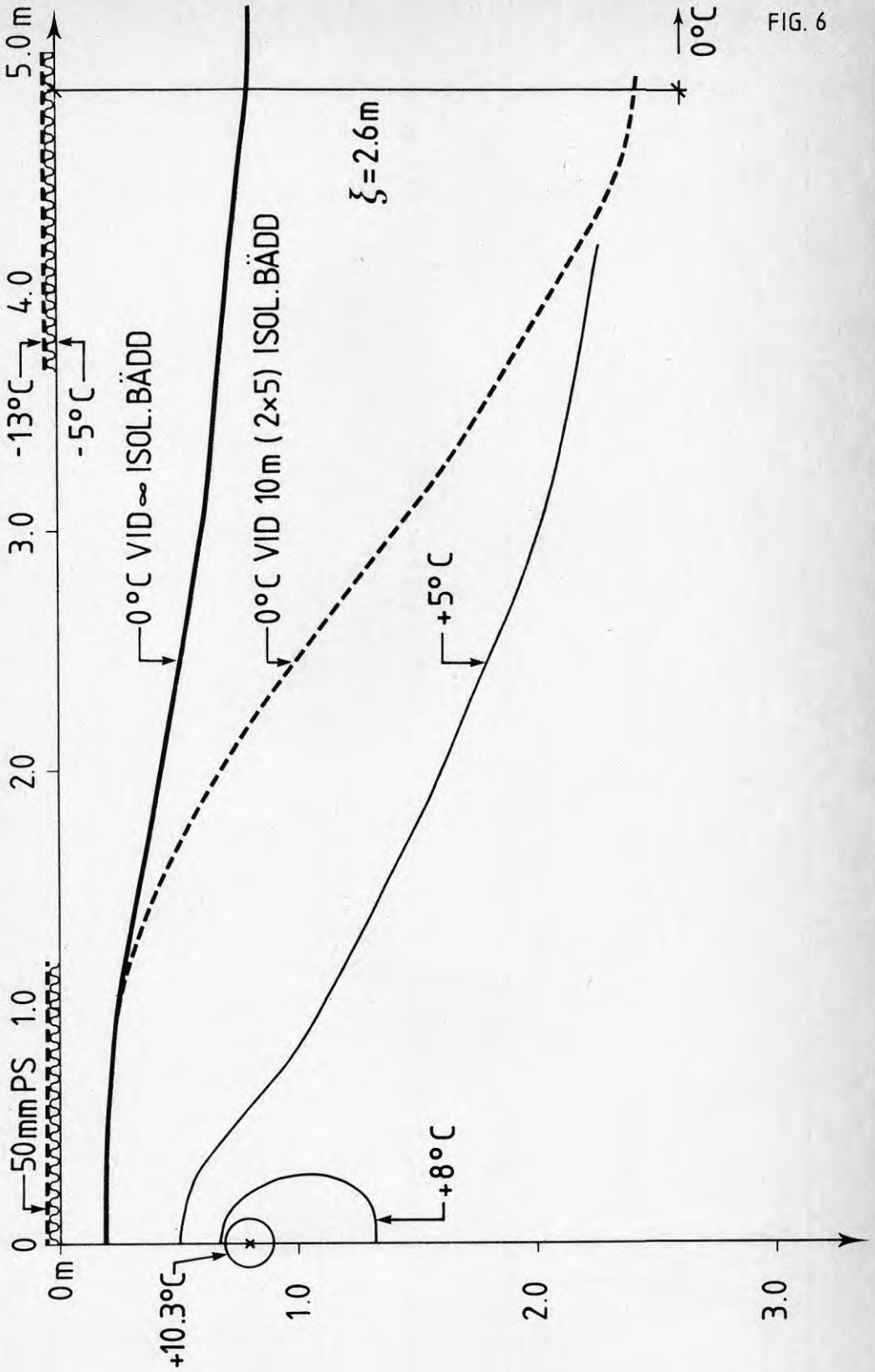
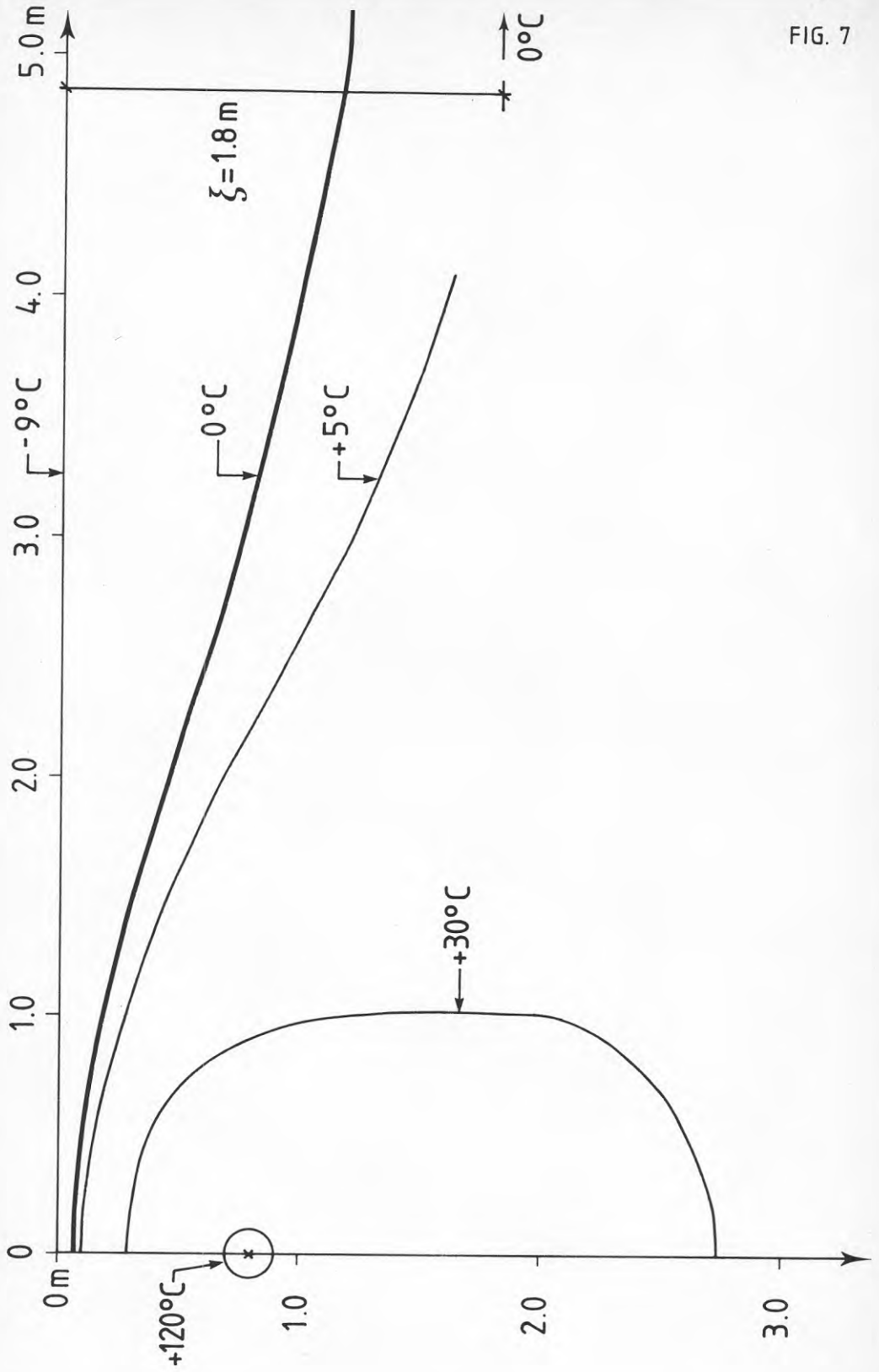
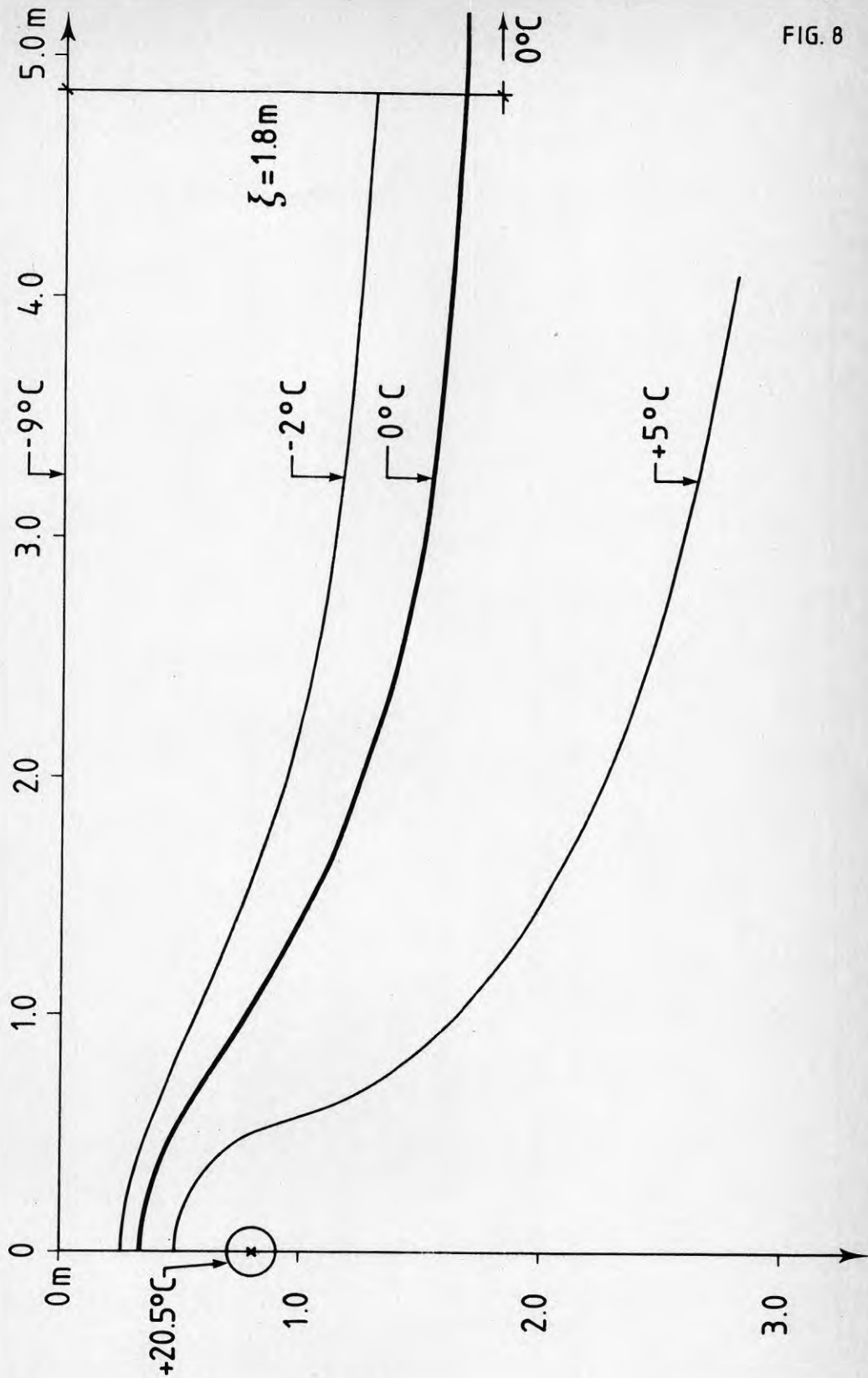


FIG. 5









PM

beträffande risken för frysning under välisolerad
värmekulvert i mark i Umeå

(Härtill 4 figurer)

1. Bakgrund

För fjärrvärmekulvertar av större dimension blir värmeförlusterna mot omgivande jord tämligen betydande, varför det kan vara ekonomiskt motiverat att öka isoleringstjockleken utöver det normala. Emellertid måste man då beakta risken för frysning av jorden under ledningen, eftersom det minskade värmeläckaget inte säkert förmår hålla 0°C-isotermen ovanför kulverten under kalla vintrar. I det följande redovisas en beräkning av isotermerna i marken, varvid tre olika isoleringsklasser jämförs för kulvertdimensionerna DN 250 och DN 300.

2. Förutsättningar

Kulvertdimensioner (mm):

	Mediarör	Dy normal	Dy+	Dy++
DN 250	273	400	450	500
DN 300	324	450	500	560

Isolering av polyuretan (PUR) med värmekonduktivitet 0,027 W/mK.

Mediatemperatur framledning 110-120°C
Mediatemperatur returledning 70-80°C

Beräkningarna genomförs för en ledning med medeltemperaturen 95°C, men med dubbel värmeförlust. Läggningsdjupet räknat till rörcentrum är i samt-

liga fall 0,8 m. Vidare räknas med en tjälskjutande jordart av typ siltig morän med en värmekonduktivitet i fruset tillstånd av 2,3 W/mK. Beräkningarna genomförs under antagande av snöfri gatumark. Årsmedeltemperaturen för Umeå är +3,1°C. Markytans lägsta månadsmedeltemperatur under en normalvinter (2 år) är -9,8°C och under en extremt kall vinter (100 år) -15,5°C. Motsvarande tjäldjup blir därmed 1,9 m respektive 2,6 m. I icke snöröjd mark kan man räkna med ett maximalt tjäldjup (100 års-vintern) uppgående till motsvarande tjäldjupet under en normalvinter i snöfri gatumark. Samtliga gjorda antaganden beträffande ledningsform, temperaturförhållanden och jordartskonstanter ger värden på säkra sidan.

3. Beräkningsresultat

Med angivna förutsättningar blir värmeförlusterna från de olika isolerade värmekulvertarna följande under en normal respektive under en extremt kall vinter (W/m).

<u>DN 250</u>	Normal vinter	Extremt kall vinter
Dy normal 400	84	89
Dy + 450	65	69
Dy ++ 500	54	57
<u>DN 300</u>		
Dy normal 450	97	102
Dy + 500	76	79
Dy ++ 560	60	63

Aktuella isotermer kring den fiktiva värmekulverten (en ledning med dubbel värmeförlust), som de beräknats enligt metod angiven i /1/ och /2/, framgår av Fig 1, 2, 3 och 4. Som man kan se i Fig 1 o 2 är ingen av isoleringsklasserna kritiska med hänsyn till frysning under ledningarna DN 250 och DN 300 under en normalvinter i snöfri gatumark. Samma gäller enligt ovan även för en extremt kall vinter i icke snöröjd mark. För den extremt kalla vintern i snöfri gatumark kan man dock enligt Fig 3 se att 0°C-isotermer för DN 250 med extraisolering Dy 450 och Dy 500 kommer att ligga långt under ledningen. Detsamma gäller DN 300 med extraisoleringen Dy 560 enligt Fig 4.

Som tidigare framhållits i VBBs Utredning 1981-02-18 finns det motiv för att bedöma risken för skadlig tjällyftning, inte med utgångspunkt från 0°C-isotermer, utan mer från en isoterm som anger viss underkyllning, exempelvis isotermer för -2°C. På Fig 3 ser man att denna isoterm för Dy 450

nätt och jämnt när upp mot ledningen, medan motsvarande isoterm för Dy 500 fortfarande ligger kvar under ledningen. Det finns således en uppenbar risk för tjällyftningsskador under en extremt kall vinter i snöfri gatumark vid användning av den kraftigaste isoleringsformen DN 250/Dy 500. Motsvarande gäller, om än med något mindre risk, för DN 300/Dy 560 enligt Fig 4. Isotermen för -2°C har här tendensen att krypa in under ledningen.

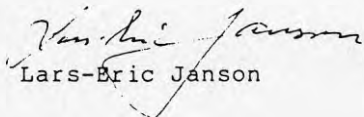
Ser man enbart till frågan om risken för ojämn tjällyftning, vilken tidigare behandlats i ovan nämnda Utredning 1981-02-18, kan man följdriktigt konstatera att en väl isolerad värmekulvert under vissa klimatförhållanden kan ge stora tjäldjupskillnader på kort avstånd och att således besvärande ojämnheter i markytan till följd av tjällyftningsskillnader kan uppstå.

4. Rekommendation

För undvikande av tjällyftningsskador på värmekulverten och för minskning av ojämnheter i gatumark bör följande iakttas.

I icke snöröjd mark kan alla tre typer av isolering användas utan skaderisk. I snöfri gatumark kan isolertyp DN 250/Dy 400 och DN 250/Dy 450 samt DN 300/Dy 450 och DN 300/Dy 500 användas likaså utan nämnvärd skaderisk. Däremot bör DN 250/Dy 500 och DN 300/Dy 560 inte användas i snöfri gatumark som innehåller tjälskjutande jordarter med mindre att läggningsdjupet för kulverten räknat till rörcentrum ökas från 0,8 m till minst 1,1 m. I icke tjälskjutande jordarter, såsom i grus och sand samt i berg föreligger givetvis inga restriktioner för någon av ovan nämnda isoleringsformer.

Stockholm 1983-01-10
VBB


Lars-Eric Janson

Litteraturhänvisning

- /1/ Janson, L-E. 1969. Läggningsdjup för valledningar i jord med hänsyn till tjäle. - VAV P14, Stockholm 1969.
- /2/ Janson, L-E. 1968. Tjäldjupet i Sverige. - Info från Statens Naturvårdsverk, Stockholm V4, 1968.

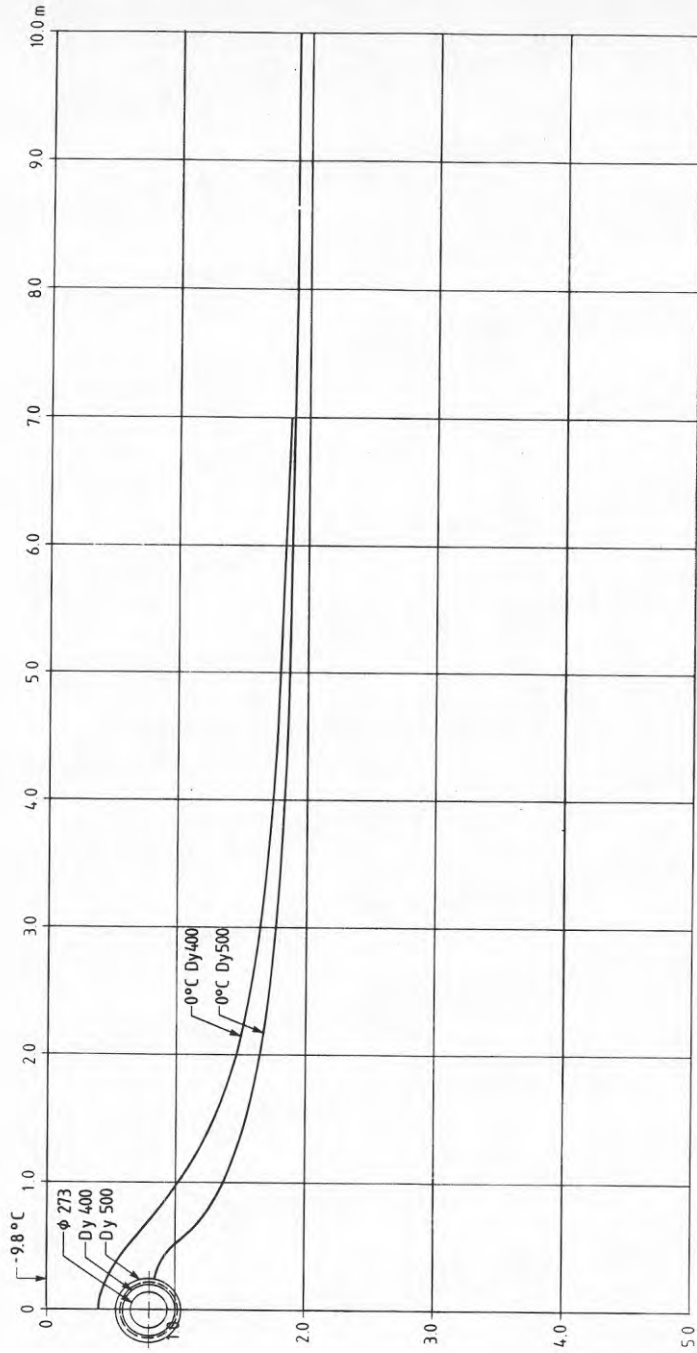


Fig 1 Umeå FV. Frysrisik för DN 250 (ϕ i 273 mm). Isolering PUR: Dy 400 och 500 mm.
Normalvinter. Tjälldjup 1,9 m i snöfri mark.
Läggningsdjup $h = 0,8$ m.

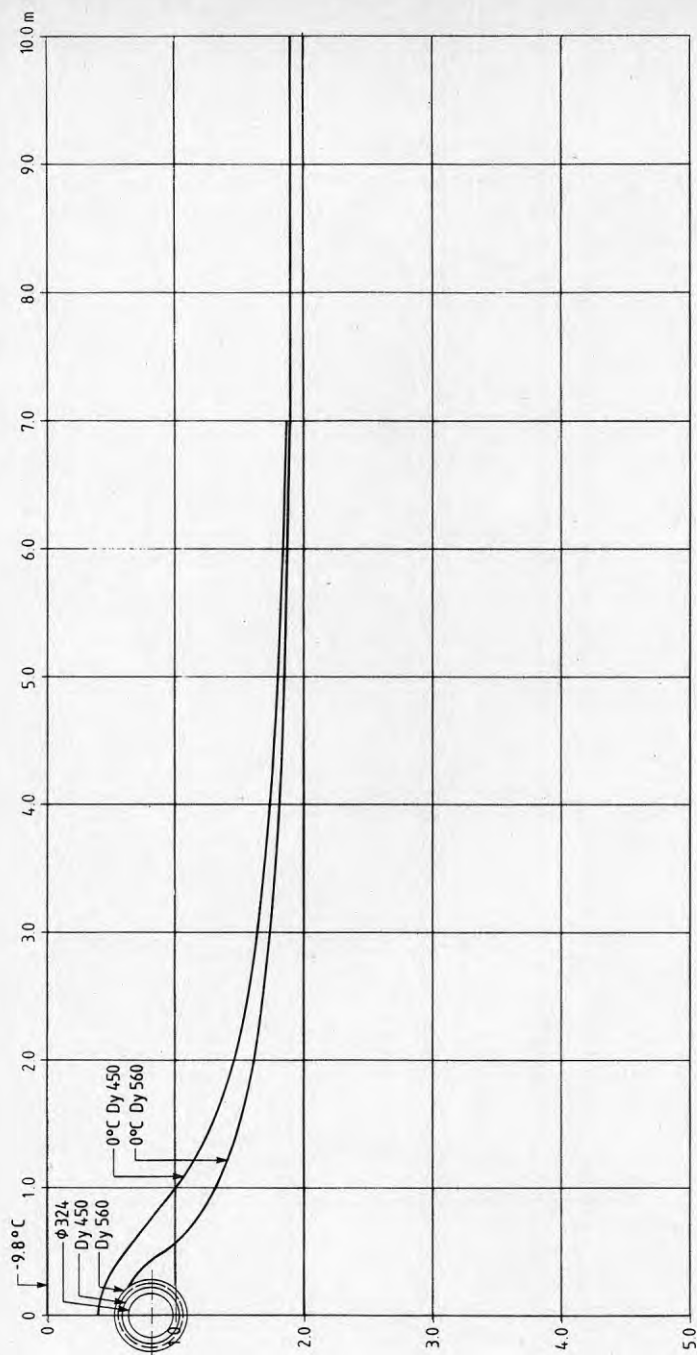


Fig 2 Umeå FV. Frysrisik för DN 300 (øi 324 mm). Isolering PUR: Dy 450 och 560 mm.
 Normalvinter. Tjälldjup 1,9 m i snöfri mark.
 Läggningsdjup $h = 0,8$ m

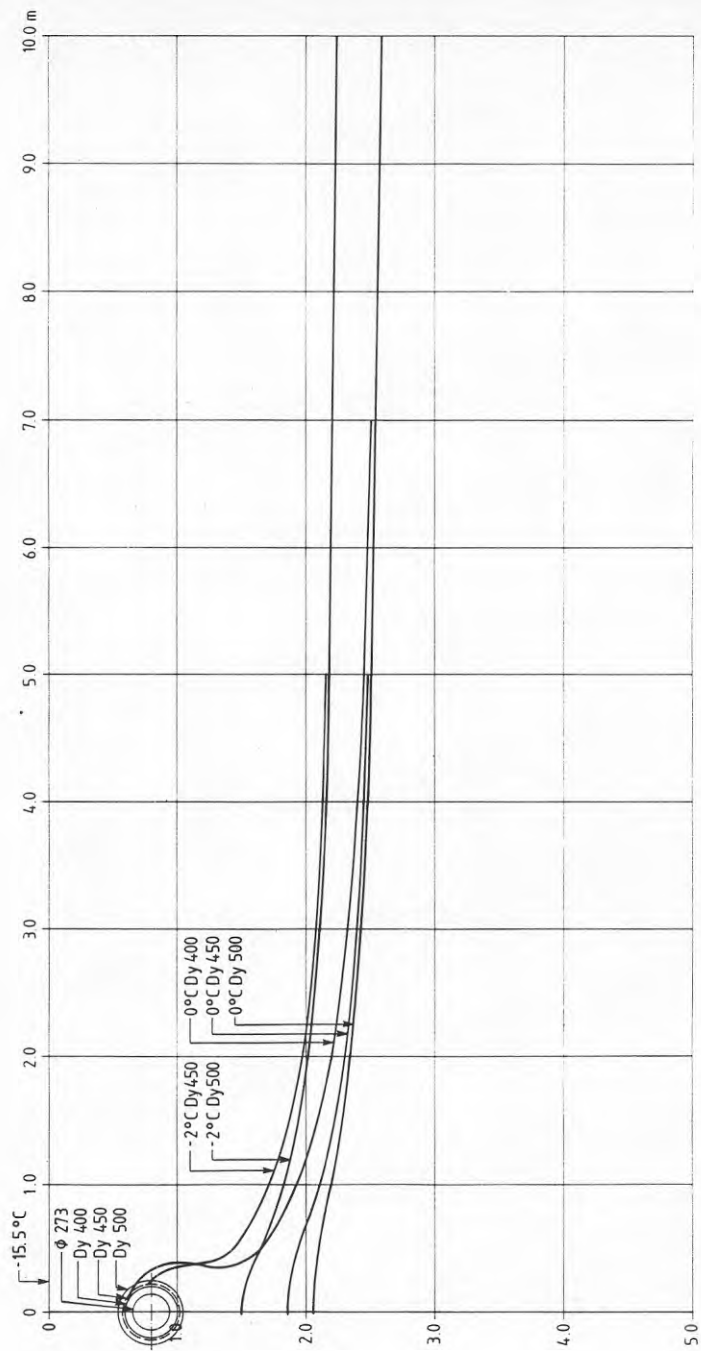


Fig 3 Umeå FV. Frysrisik för DN 250 (ϕ i 273 mm). Isolering PUR: Dy 400, 450 och 500 mm.
Extremt kall vinter. Tjåldjup 2,6 m i snöfri mark.
Läggningdjup $h = 0,8$ m.

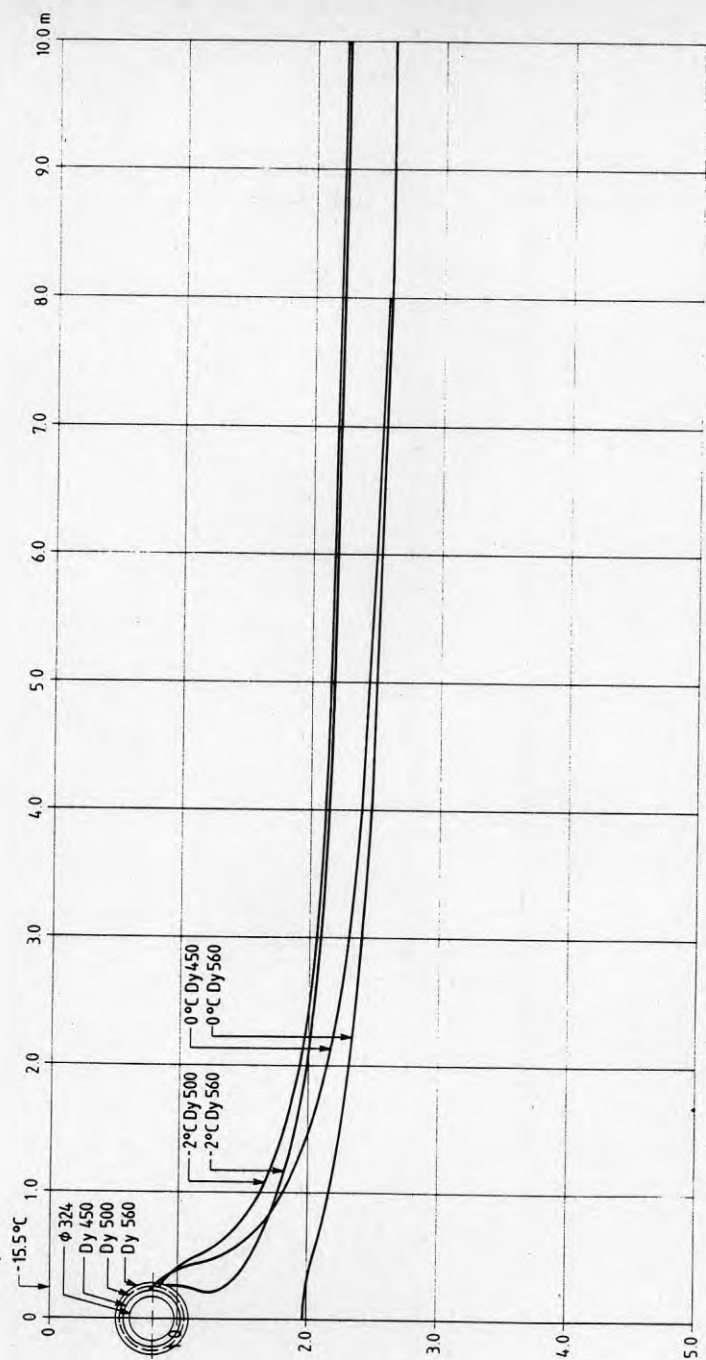


Fig 4 Umeå FV. Frysrisik för DN 300 (øi 324 mm). Isolering PUR: Dy 450, 500 och 560 mm. Extremt kall vinter. Tjälldjup 2,6 m i snöfri mark. Läggningsdjup $h = 0,8$ m.

TJÄLNEDTRÄNGNING I MARK RUNT
FJÄRRVÄRMEKULVERT

INVERKAN AV VÄRMEISOLERING OVANFÖR
KULVERTEN

CARL-ERIC HAGENTOFT

INNEHÅLL

1. STUDERAD PROBLEMTYP
2. DATORMODELL
 - 2.1 Approximation av fjärrvärmerör
 - 2.2 Frysmodell
3. BERÄKNINGSEXEMPEL
 - Fall 1: Ingen extraisolering
 - Fall 2: Oändligt bred extraisolering
 - Fall 3: 10 meter bred extraisolering
 - Fall 4: 4 meter bred extraisolering

FÖRORD

Denna studie har gjorts på uppdrag av Byggforskningsrådet för projektet: Tjälproblem vid fjärrvärmeledningar i gator. Projektet utföres av VBB med Lars-Eric Janson som projektledare. Beräkningsfallen har framtagits av Johan Larsson VBB.

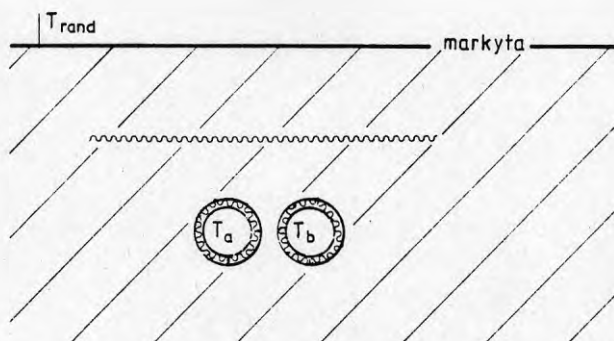
Diskussioner angående rapportens innehåll och utformning har förts med Johan Claesson, LTH. Denne ingår i projektets referensgrupp.

1. STUDERAD PROBLEMTYP

I mark bestående av tjälfarlig jord sker tjällyftning under vinterhalvåret. Ojämn tjällyftning kan inträffa längs fjärrvärmekulvertar på grund av värmeavgivningen från dessa. En ojämn tjällyftning kan resultera i att markbeläggningen skadas eller blir ojämn.

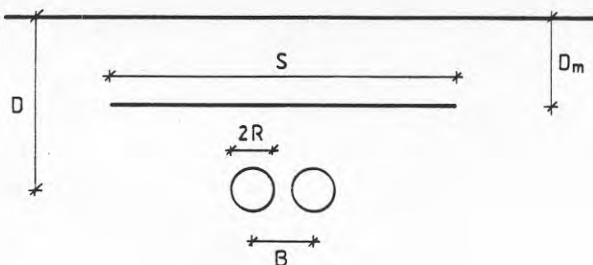
För att tjällyftningen skall ske mindre ojämnt placeras en extra värmeisolering ovanför kulverten. Effekten av en sådan extra isolering skall studeras.

Figur 1.1 visar i ett tvärsnitt den studerade typen av fjärrvärmekulvert.



Figur 1.1. Fjärrvärmekulvert med ovanförliggande extraisolering.

Temperaturen på vattnet i rören är T_a och T_b . Fjärrvärmerören ligger på djupet D (m) från markytan. Rörens radie (inklusive isolering) betecknas R (m). Centrumavståndet mellan rören är B (m). Extraisoleringens bredd betecknas S (m). Den ligger på djupet D_m (m).



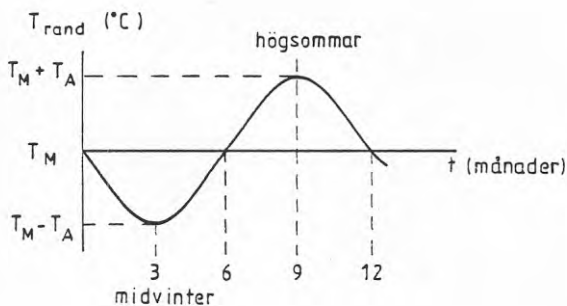
Figur 1.2. Fjärrvärmekulvert med införda beteckningar.

Vattenhalten i marken och därigenom markens smältvärme L (J/m^3) förutsätts vara konstant. Värmeledningsförmågan i ofrusen och frusen mark är λ respektive λ_f (W/mK). Värmekapaciteten i ofrusen mark är C ($\text{J}/\text{m}^3\text{K}$) och i frusen mark C_f ($\text{J}/\text{m}^3\text{K}$).

Markytans temperatur varierar sinusformigt med amplituden T_A kring ett årsmedelvärde T_M . Den betecknas T_{rand} ($^{\circ}\text{C}$) och blir:

$$T_{\text{rand}} = T_M - T_A \cdot \sin(2\pi t/t_0); t_0 = 1 \text{ år} \quad (1)$$

Figur 1.3 visar hur temperaturen varierar med tiden t :



Figur 1.3. Sinusvarierande markyttemperatur.

Vid tiden $t = 0$ sjunker temperaturen under sitt årsmedelvärde. Vinterhalvåret börjar.

Det största tjäldjupet under året betecknas ξ (m).

Smältvärmets L , värmeledningsförmågan i frusen mark λ_f och markyttemperaturen är de faktorer som huvudsakligen bestämmer tjäldjupet i ostörd mark långt bort från kulverten. I närheten av kulverten inverkar även värmeförlusten från denna på tjäldjupet.

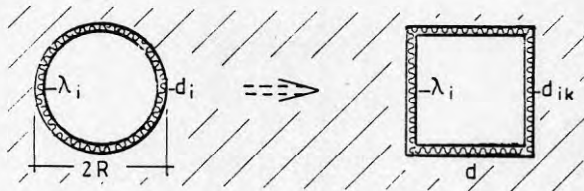
2. DATORMODELL

Ett allmänt datorprogram för tvådimensionell, tidsvariabel värmeledning har använts. En explicit framåt-differensmetod användes. Härigenom kan olika parametrar och data ändras tämligen enkelt. Man kan ge ett smältvärme som till exempel ändras år från år. Randtemperaturen vid markytan kan varieras godtyckligt. Snö och randmotstånd vid markytan kan inkluderas i beräkningarna.

I programmet approximeras kulvertens cirkulära tvärsnitt med ett kvadratiskt. Denna approximation beskrivs i avsnitt 2.1. Den i programmet använda frysmodellen beskrivs i avsnitt 2.2.

2.1 Approximation av fjärrvärmerör.

Det använda datorprogrammet förutsätter beräkningsceller av rektangulär form. Fjärrvärmerörets cirkulära tvärsnitt kan inte representeras exakt. En approximation av rörets form får göras. Enligt referens 1 visar det sig lämpligast att representera cirkeln med en kvadrat med samma area som cirkeln, se figur 2.1. Felet i den totala värmeförlusten från röret blir litet. Även felet i temperaturen i marken blir litet. En noggrann test av approximationen görs i referens 1.



Figur 2.1. Approximation av cirkulärt tvärsnitt med ett kvadratiskt.

Fjärrvärmerörets radie inklusive isolering är R (m). Fjärrvärmerörets isolertjocklek betecknas d_i (m). Isoleringen har värmeledningsförmågan λ_i (W/mK). För att få oförändrad area väljes kvadratens kantlängd d till:

$$d = \sqrt{\pi} \cdot R \quad (2)$$

Isoleringen runt kvadraten ges samma värmeledningsförmåga λ_i (W/mK) som cirkelns isolering. Kvadratens isolertjocklek d_{ik} (m) blir då enligt referens 1:

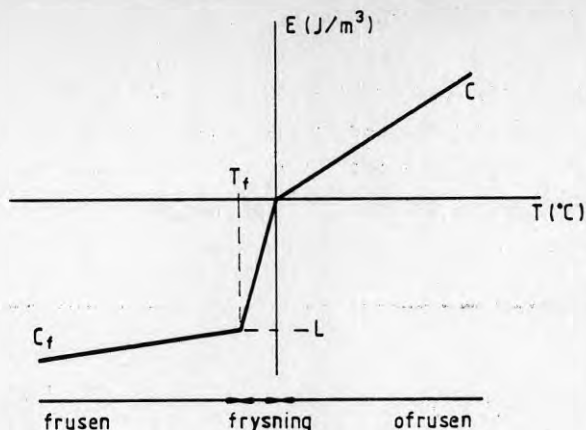
$$d_{ik} = 4 \cdot d \frac{\ln(R/(R-d_i))}{2\pi} \quad (3)$$

2.2 Frysmodell

I datorprogrammet representeras marken av en mängd beräkningsceller. Varje cell ges en värmekapacitet och en värmeledningsförmåga. Dessa kan väljas godtyckligt. Då marken förutsätts vara homogen blir dessa en funktion enbart av temperaturen. Vidare karakteriseras cellerna av ett värmeinnehåll E (J/m³), vilket också är en funktion av temperaturen. Definitionsmässigt är E noll då temperaturen i cellen är noll °C.

Marken antages frysa i ett temperaturintervall $T_f \leq T \leq 0$ °C. I frysmodellen får man tre möjliga tillstånd: helt frusen, frysning och helt ofrusen. Den undre frysgränsen T_f kan väljas fritt. För att marken skall nå det helt frusna tillståndet från det helt ofrusna måste smältvärmes L (J/m³) bortföras. Värmeinnehållet har sjunkit till $-L$ då temperaturen nått undre frysgränsen T_f .

Figur 2.2 visar värmeinnehållet E som funktion av temperaturen.



Figur 2.2. Värmeinhåll per volymenhet som funktion av temperaturen.

Fasövergången sker inom ett temperaturintervall där värmekapaciteten är betydligt större än i övrigt. Värmekapaciteten blir L/T_f , vilket är lutningen på kurvan i frysningsintervallet. För det helt ofrusna och helt frusna tillståndet karakteriseras marken av konstant värmekapacitet C och C_f . Dessa värden anger lutningen på kurvan i de två tillstånden.

Efter varje tidssteg i beräkningsprogrammet ökar eller minskar värmeinhållet i cellen på grund av värmeflödet till respektive från cellen. Värmeinhållet ändras. Den nya temperaturen erhålles enligt figur 2.2.

Då temperaturen är känd kan värmeledningsförmågan bestämmas. I det helt ofrusna och helt frusna tillståndet ges dessa av λ och λ_f . Under frysning ges värmeledningsförmågan av ett mellanliggande interpolerat värde.

3 BERÄKNINGSEXEMPEL

Ett antal fall med tjälbildning runt en fjärrvärmekulvert har beräknats. Isolering med varierande bredd ($S = \infty, 10, 4 \text{ m}$) placeras vid markytan eller mitt emellan kulverten och markytan enligt figur 3.1.



Figur 3.1. Värmeisolering placerad mellan kulverten och markytan.

Värmeisoleringen har i samtliga exempel värmemotståndet $1,43 \text{ (m}^2\text{K/W)}$. För kulverten gäller följande data:

$$\begin{array}{ll}
 R = 0,216 \text{ m} & \lambda_i = 0,027 \text{ W/mK} \\
 D = 0,80 \text{ m} & T_a = 115 \text{ }^\circ\text{C} \\
 B = 0,40 \text{ m} & T_b = 75 \text{ }^\circ\text{C} \\
 d_i = 0,038 \text{ m} &
 \end{array}$$

Fjärrvärmerören approximeras med en kvadrat enligt avsnitt 2.1. Kvadratens bredd d blir enligt (2):

$$d = \sqrt{\pi} \cdot R = \sqrt{\pi} \cdot 0,216 \text{ m} = 0,383 \text{ m}$$

Kvadratens isolertjocklek d_{ik} blir enligt (3):

$$\begin{aligned}
 d_{ik} &= 4 \cdot d \frac{\ln(R/(R-d_i))}{2\pi} = 4 \cdot 0,383 \cdot \frac{\ln(0,216/0,178)}{2\pi} = \\
 &= 0,0472 \text{ m.}
 \end{aligned}$$

Data för marken ges av:

$$\begin{aligned} \lambda &= 1,6 \text{ W/mK} & C_f &= 2 \cdot 10^6 \text{ J/m}^3\text{K} \\ \lambda_f &= 2,3 \text{ W/mK} & L &= 100 \cdot 10^6 \text{ J/m}^3 \\ C &= 3 \cdot 10^6 \text{ J/m}^3\text{K} \end{aligned}$$

Markyttemperaturen bestäms av följande data:

$$T_M = 3 \text{ }^\circ\text{C} \quad T_A = 12 \text{ }^\circ\text{C} \quad t_0 = 1 \text{ år}$$

På högsommaren uppnår markytan temperaturen $15 \text{ }^\circ\text{C}$ och vid midvintern $-9 \text{ }^\circ\text{C}$.

Isotermen för $0 \text{ }^\circ\text{C}$, vilken representerar tjälfronten, rör sig nedåt i marken under vintern. Efter den 6:e månaden har den trängt djupast ner. Med ovanstående data för marken och markyttemperaturen blir tjäldjupet på stort avstånd från kulverten:

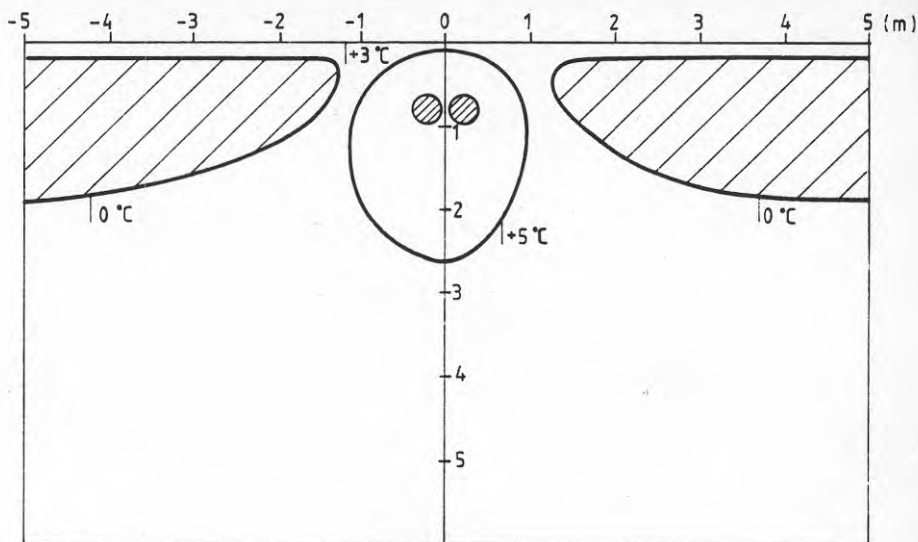
$$\xi = 1,8 - 1,9 \text{ m}$$

I datorprogrammet passas värdet på smältvärmets så att det önskade tjäldjupet erhålles.

I beräkningsexemplen används en gitterstruktur, där den minsta cellen är 0,1 meter bred. Cellernas storlek expanderar då avståndet till kulverten ökar. Totalt ingår 28×19 celler.

Fall 1: Ingen extraisolering.

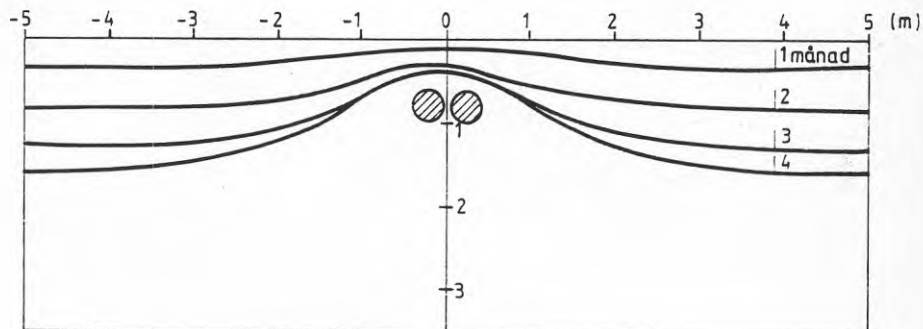
Ingen extraisolering finns mellan kulvert och markyta. Detta är ett normalfall för en fjärrvärmekulvert. Figur 3.2 visar ett par isotermer efter 6:e månaden.

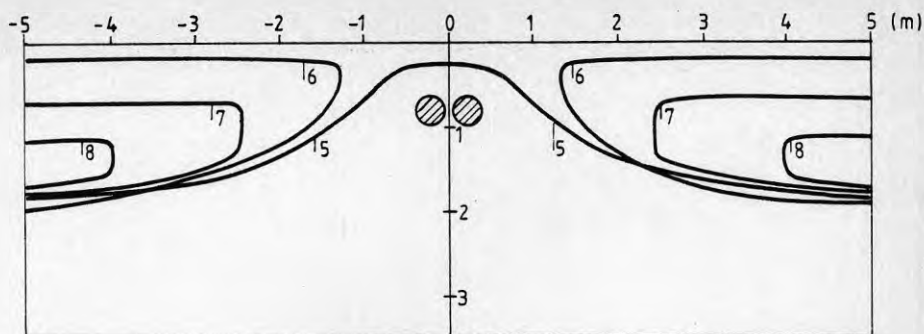


Figur 3.2. Isothermer efter 6:e månaden (månad 3 = midvinter) för fallet utan extrisolering.

Rakt ovanför kulverten når tjälen som mest ner till 0,45 meters djup. Detta inträffar under midvintern. På stort avstånd från kulverten har tjälen nått ner till 1,3 meters djup vid denna tid.

Figur 3.3 visar 0 °C-isotermen för de månader det finns tjäle i marken. Månadsnumret refererar som tidigare till figur 1.3.





Figur 3.3. Tjälfrontens läge för varje månad (månad 3 = midvinter) för fallet utan extraisolering.

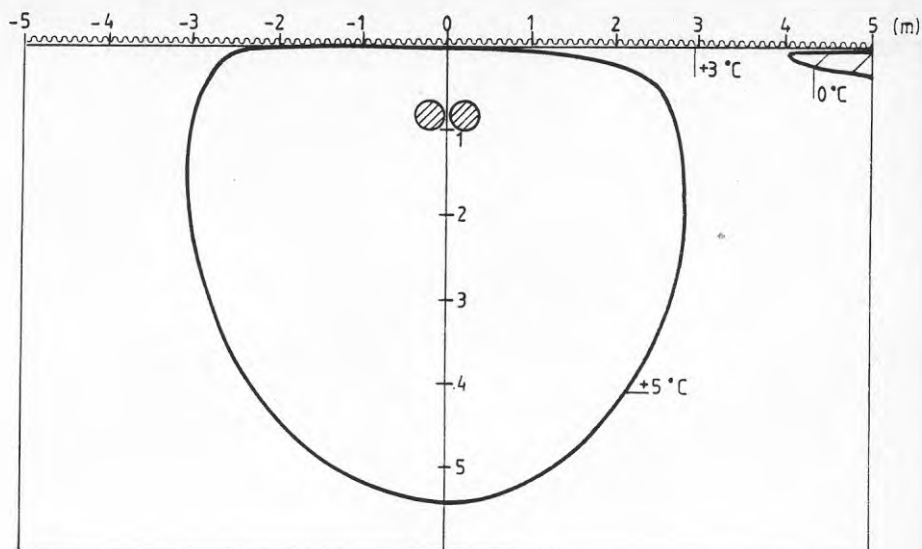
I den övre figuren är marken frusen från markytan och ned till nollisotermen. Detta gäller även för den 5:e månaden i den undre figuren. För månaderna 6 - 8 omgärdar nollisotermen det frusna området.

Värmeförlusten efter 3:e månaden är 110,6 (W) och efter 6:e månaden 103,4 (W).

Fall 2: Oändligt bred extraisolering.

En oändligt bred isolering placeras vid markytan eller mitt emellan markytan och kulverten.

Figur 3.4 visar isotermer efter den 6:e månaden för det första alternativet.

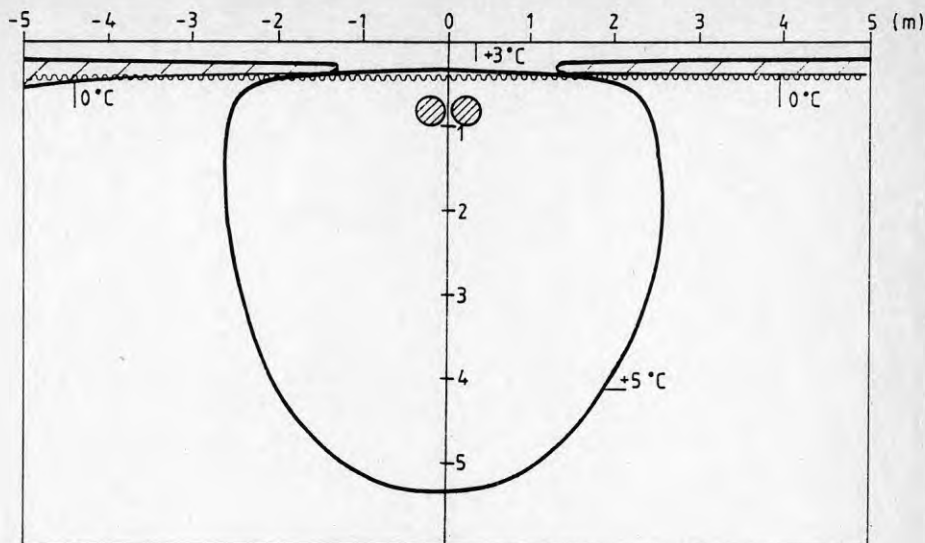


Figur 3.4. Isothermer efter 6:e månaden (månad 3 = midvinter) för fallet med en oändligt bred extraisolering vid markytan.

Rakt ovanför kulverten når tjälen som mest ner till 0,02 meters djup, vilket inträffar under midvintern. På stort avstånd från kulverten har tjälen nått ner till 0,2 meters djup vid denna tid.

Värmeförlusten efter 3:e månaden är 94,3 (W) och efter 6:e månaden 91,2 (W).

Figur 3.5 visar isothermerna efter 6:e månaden för det andra alternativet.



Figur 3.5. Isothermer efter 6:e månaden (månad 3 = midvinter) för fallet med en oändligt bred extraisolering mitt emellan kulverten och markytan.

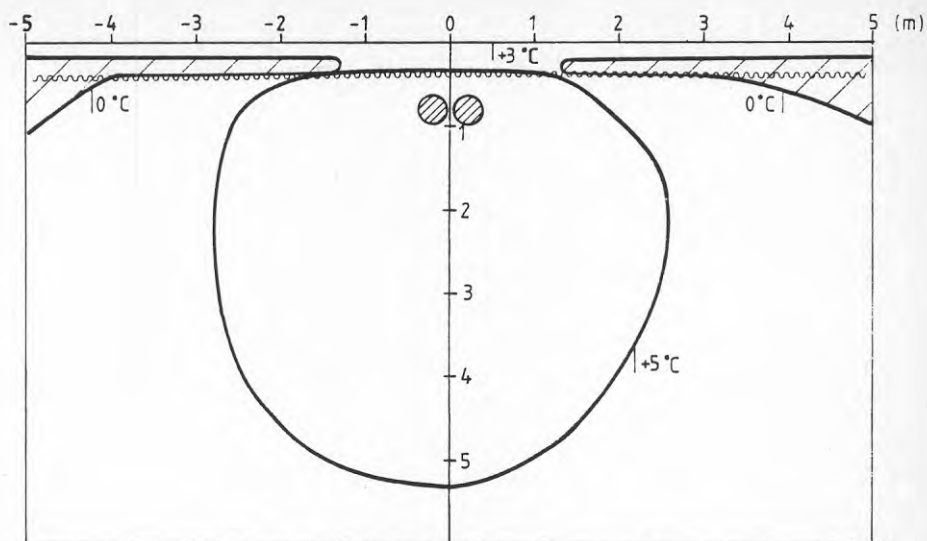
Rakt ovanför kulverten når tjälen som mest ner till 0,4 meters djup. Detta är det djup som extraisoleringen ligger på. På stort avstånd från kulverten har tjälen nått ner till 0,56 meters djup under midvintern.

Värmeförlusten efter 3:e månaden är 92,5 (W) och efter 6:e månaden 89,3 (W).

Fall 3: 10 meter bred extraisolering.

En 10 meter bred extraisolering placeras vid markytan eller mitt emellan markytan och kulverten.

Figur 3.6 visar isotermer efter den 6:e månaden för det första alternativet.



Figur 3.7. Isothermer efter 6:e månaden (månad 3 = midvinter) för fallet med en 10 meter bred extraisolering mitt emellan kulverten och markytan.

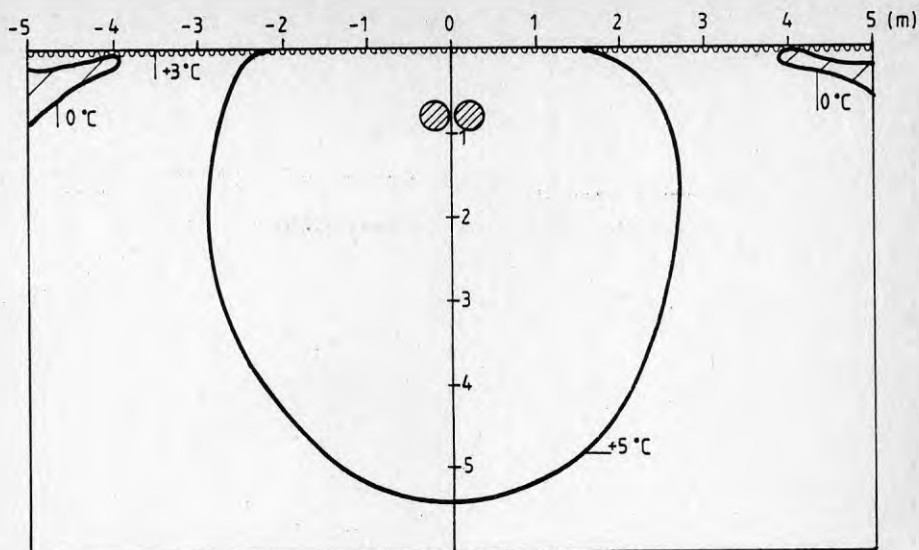
Rakt ovanför kulverten når tjälen som mest ner till 0,4 meters djup. Detta är det djup som extraisoleringen ligger på.

Isothermerna i figuren ovan skall jämföras med de i figur 3.5, vilka representerar den oändligt breda isoleringen. Liksom för ytisoleringsfallet råder ingen större skillnad i temperaturen kring kulverten på grund av den förkortade isoleringen.

Värmeförlusten efter 3:e månaden är 92,5 (W) och efter 6:e månaden 89,3 (W).

Fall 4: 4 meter bred extraisolering.

En 4 meter bred extraisolering placeras vid markytan eller mitt emellan markytan och kulverten.



Figur 3.6. Isothermer efter 6:e månaden (månad 3 = midvinter) för fallet med en 10 meter bred extraisolering vid markytan.

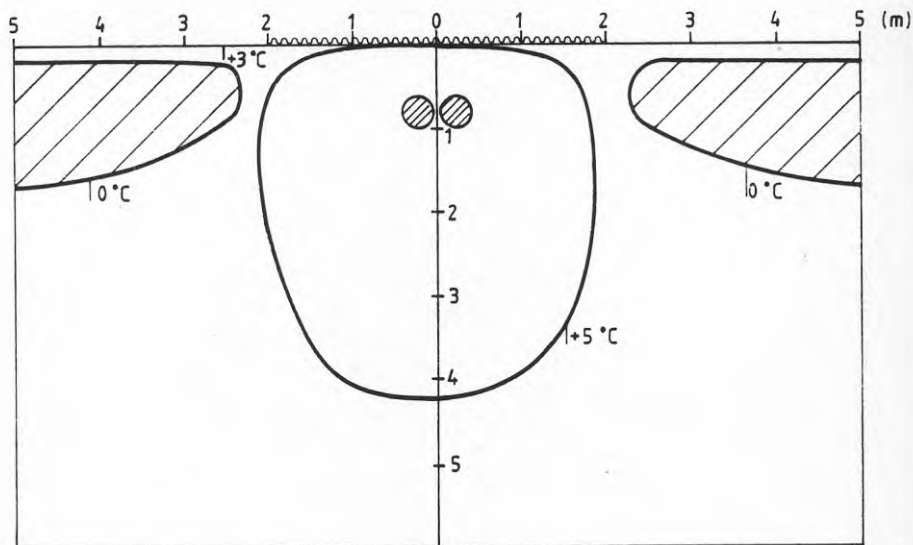
Rakt ovanför kulverten når tjälen som mest ner till 0,02 meters djup, vilket inträffar under midvintern.

Isothermerna i figuren ovan skall jämföras med de i figur 3.4, vilka representerar den oändligt breda isoleringen. Nollisotermen har närmast sig kulverten på framledningssidan. I övrigt påverkar avkortningen av isoleringen inte nämnvärt temperaturen kring kulverten.

Värmeförlusten efter 3:e månaden är 94,3 (W) och efter 6:e månaden 91,3 (W).

Figur 3.7 visar isothermer efter 6:e månaden för det andra alternativet.

Figur 3.8 visar isotermer efter den 6:e månaden för det första alternativet.

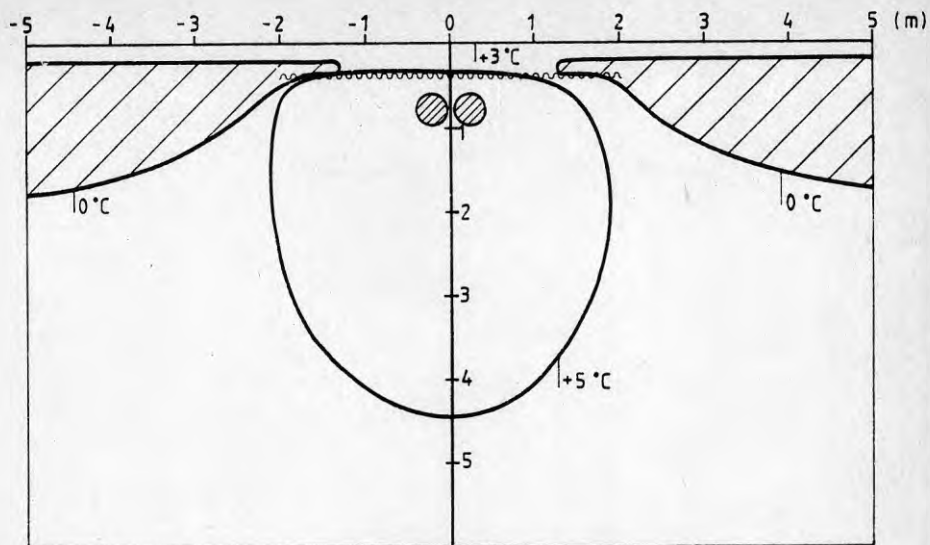


Figur 3.8. Isothermer efter 6:e månaden (månad 3 = midvinter) för fallet med 4 meter bred extraisolering vid markytan.

Rakt ovanför kulverten når tjälen som mest ner till 0,03 meters djup, vilket inträffar under midvintern. Det minsta avståndet i sidled från kulverten till frusen mark är cirka 2 meter.

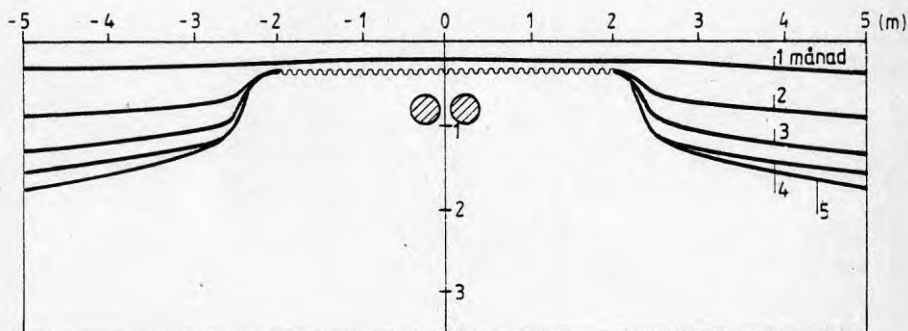
Värmeförlusten efter 3:e månaden är 96,0 (W) och efter 6:e månaden 93,7 (W).

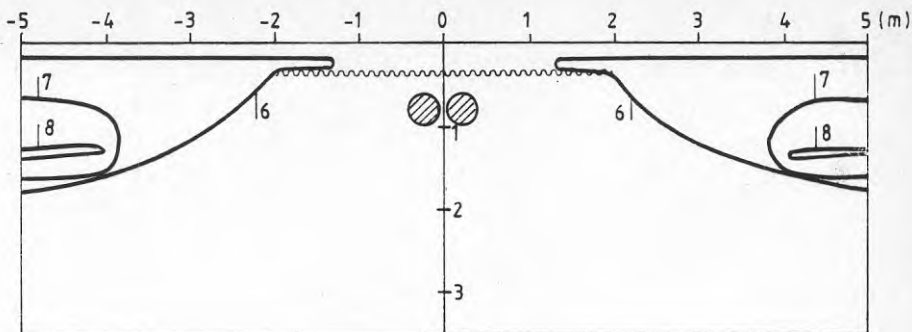
Figur 3.9 visar isotermer efter den 6:e månaden för det andra alternativet.



Figur 3.9. Isothermer efter 6:e månaden (månad 3 = midvinter) för fallet med en 4 meter bred extraisolering mitt emellan kulverten och markytan.

Figur 3.10 visar läget för isotermer för 0 °C efter varje månad.





Figur 3.10. Tjälfrontens läge efter varje månad (månad 3 = midvinter) för fallet med en 4 meter bred extraisolering mitt emellan kulverten och markytan.

Rakt ovanför kulverten når tjälen som mest ner till djupet 0,40 meter. Detta är djupet som extraisoleringen ligger på.

Värmeförlusten efter den 3:e månaden är 93,4 (W) och efter 6:e månaden 90,9 (W).

Referenser:

1. Återvinning av värmeförluster från fjärrvärmekulvertar.
Claesson, Hagentoft, Husbyggnadsteknik LTH-V, LUTVDG/(TVBH-7075)/
1 - 14/(1983).

PMangående beräkning av temperaturförhållandena
runt fjärrvärmeledningar

I samband med BFR-projektet "Tjälproblem vid fjärrvärmeledningar i gator", skall bl a belysas möjligheterna att genom olika åtgärder minska tjälproblemen. En bedömning av risken för sådana problem kan göras genom beräkning av temperaturförhållandena i marken.

Med analytiska metoder kan endast relativt enkla typfall beräknas. Vid mer komplicerade randvillkor, t ex isolerande markskivor med begränsad utsträckning, erfordras en numerisk beräkningsmetod. Möjligheterna att använda ett vid LTH utvecklat, allmänt datorprogram för tvådimensionell, tidsvariabel värmeledning har därför undersökts. Den för den aktuella problemtypen föreslagna modellstrukturen och ett antal beräkningsexempel har redovisats i rapporten "Tjälnedträngning i mark runt fjärrvärmekulvert" (Hagentoft 1983).

I beräkningsexemplen har använts en gitterstruktur, där den minsta cellen är 0,1 m bred. Cellernas storlek expanderar då avståndet till ledningen ökar. Totalt ingår 28x19 celler. En sådan detaljerad gitterstruktur har visat sig nödvändig för en trovärdig beskrivning av temperaturförhållandena i närheten av diskontinuiteter, t ex i form av markskivor.

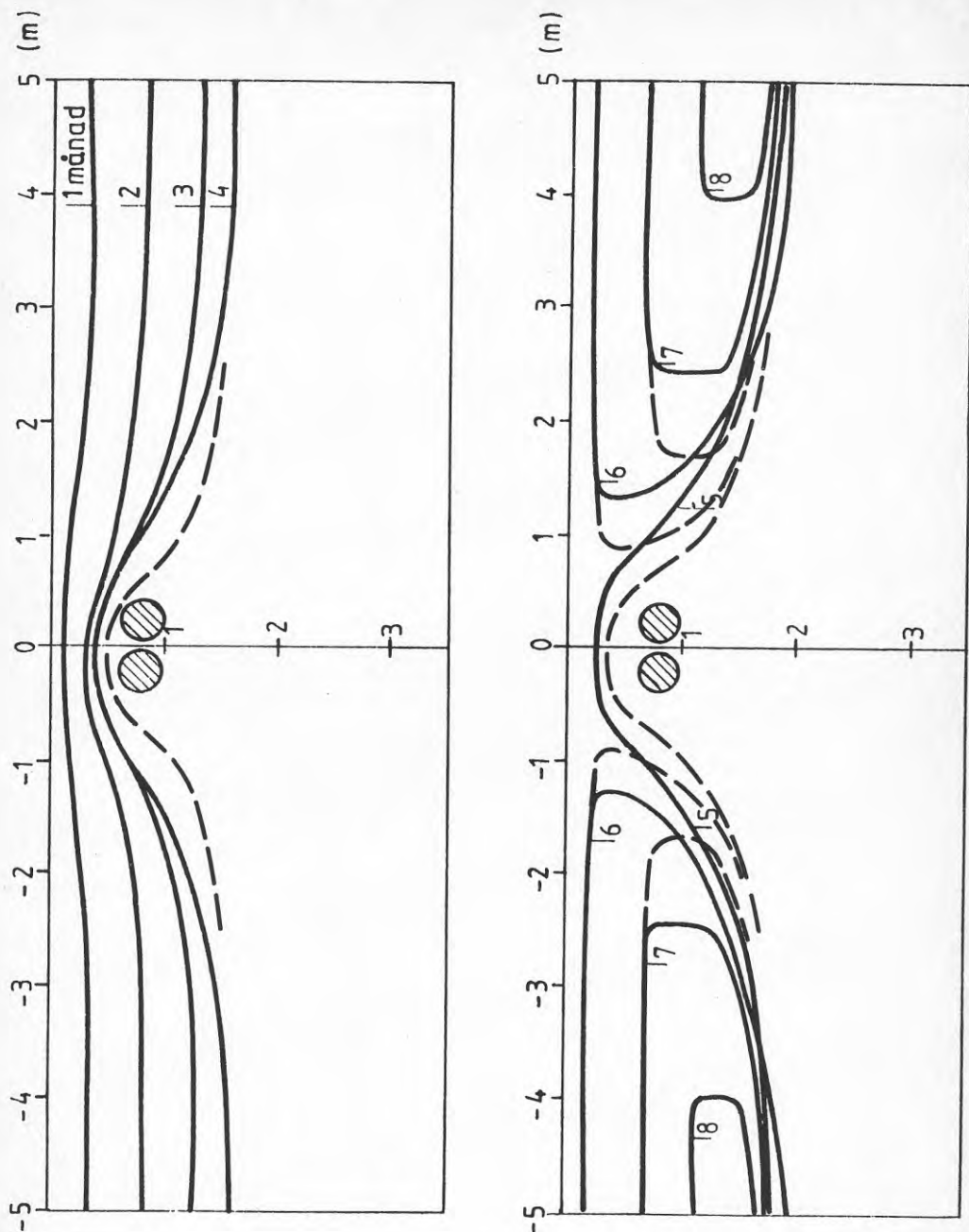
I Figur 1 redovisas tjälfrontens beräknade läge (nollgradsisotermen) vid olika tidpunkter under året för ett beräkningsfall utan markisolering. Den utvändiga ledningsdiametern har valts till 432 mm (inkl 38 mm isolering). För vissa tidpunkter redovisas även resultatet av en kompletterande beräkning för en utvändigt ledningsdiameter av 216 mm (inkl 38 mm isolering). Övriga beräkningsförutsättningar framgår av ovan nämnda rapport.

I Figur 2 redovisas motsvarande resultat då en 4 m lång isolerande markskiva placeras mellan markytan och ledningarna.

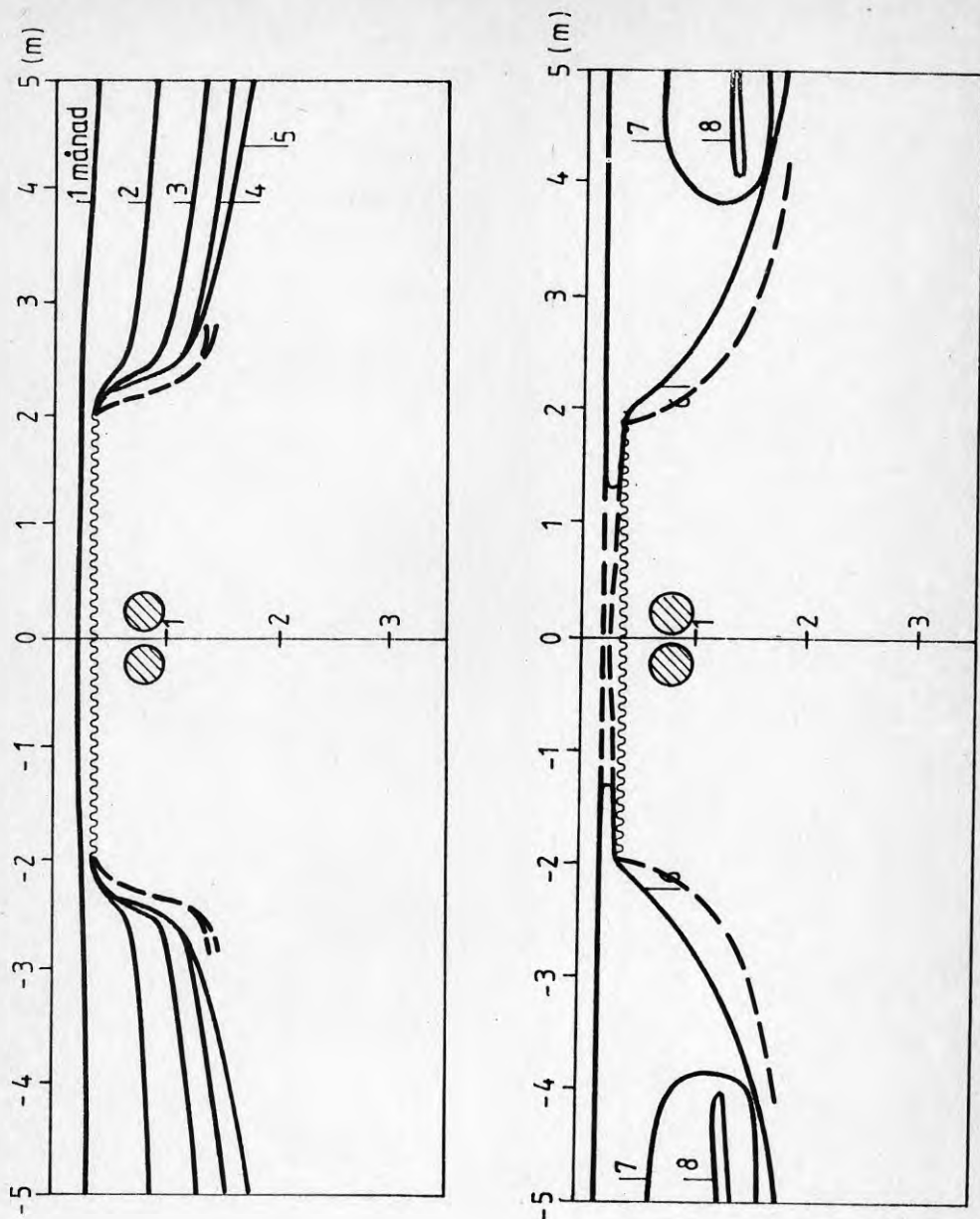
Hittills genomförda beräkningsexempel överensstämmer väl med motsvarande analytiska lösningar för de enklare typfallen. Även för mer komplicerade randvillkor förefaller resultaten trovärdiga.

Det använda datorprogrammet och den föreslagna modellstrukturen bedöms därför lämplig för den aktuella problemställningen.

Johan Larsson



Figur 1 Tjälfrontens läge vid olika tidpunkter. Ledningsdiameter 432 mm (heldragen) alternativt 216 mm (streckad). Ingen markisolering.



Figur 2 Tjälfrontens läge vid olika tidpunkter. Ledningsdiameter 432 mm (heldragen) alternativt 216 mm (streckad). Isolerande markskiva, 4 m.

Protokoll nr 1/83
från sammanträde med referensgruppen för projektet
BFR Tjälproblem vid fjärrvärmekulvertar

Deltagare:

Johan Claesson, LTH Byggnadsteknik
Rune Widmark, Umeå Energiverk
Martin Åberg, Stockholms Energiverk, Byggnadsbyrån
Lars-Eric Janson, VBB
Johan Larsson, VBB
Lennart Andersson, VBB

1. Inledning och orientering

Janson inledde dagens möte och hälsade deltagarna välkomna. De medverkande presenterades. Martin Åberg ersatte Ralf Johansson som tidigare tillfrågats om deltagande i referensgruppen.

Janson orienterade om projektets bakgrund och allmänt om problematiken i samband med ojämna tjällyftningar. Sammanfattningsvis framfördes följande motiv och synpunkter:

- o Maximal tjällyftning i norra Sverige kan bli 20-30 cm.
- o Åtgärder mot ojämna tjällyftningar vidtas idag bl a genom användande av isolerande markskivor. Merkostnaden för användande av markskivor uppskattas för en korsning mellan fjärrvärmekulvert och gata till mellan 60 000 och 100 000 kr.
- o Det är gatukontoren som i första hand drabbas av problemen vid ojämn tjällyftning eftersom dessa ansvarar för vägunderhållet.

- o Det har hänt att direkta ersättningsanspråk från bilister som fått skador på bilen har riktats mot kommunen.
- o Slutsatsen blir att det ekonomiska motivet för föreliggande arbete inte bara hänförs till ökade investeringskostnader i form av till exempel användande av markskivor. Hänsyn måste även tas till totalkostnaden där drift- och underhållskostnaderna ska inkluderas.
- o En heltäckande ansökan till Byggforskningsrådet inlämnades år 1981 för att klarlägga problematiken och föreslå lämpliga åtgärder för att minska olägenheterna. Av denna ansökan beviljades en första del bestående av en probleminventering. Detta arbete ska presenteras i form av en utvärderad enkät och inledande teoretiska studier av tjälförloppet med hjälp av simulering med datormodell.

2. Enkät

Andersson redogjorde för utsänd enkät. Enkäten har sänts ut till Svenska Värmeverksföreningens, VVF, 114 medlemmar. I de kommuner som berörs av VVFs utsändning har även gatukontor, vatten- och avloppsverk, tekniskt kontor eller motsvarande tillsänts en enkät genom VAV. Sammanställning och utvärdering av enkäten har gjorts med hjälp av dator. Programsystemet MAPPER har använts. Svarsprocenten blev hög nämligen 79 %.

Janson sammanfattade utsänd enkät. Av utredningen framgår att det ofta föreligger ett problem för gatutrafiken till följd av ojämna markrörelser vid korsning mellan fjärrvärmeledning och gata. Man kan också konstatera att den problemlösning som ofta tillgrips, nämligen isolering med extra markskivor inte är tekniskt/ekonomiskt optimal. Halkrisk i samband med avsmältning på markytan ovan fjärrvärmekulverten har även förekommit i många kommuner.

Vid efterföljande diskussion framfördes sammanfattningsvis följande synpunkter.

- o Det bör påpekas att enkäten bara behandlar ett typfall för varje svar. Frekvensen för hur ofta olägenheterna förekommer i varje kommun har ej kartlagts i enkäten.

- o Energiverken har av naturliga skäl en stark VVS inriktning. Denna grundsyn bör kompletteras och tillföras ett ökat medvetande om markrörelsernas och geoteknikens betydelse för att försöka minimera olägenheterna av ojämna markrörelser. Målet måste vara att utarbeta standardlösningar för läggningstekniken av fjärrvärmekulvertar för olika marktyper.
- o Enkäten visar att ojämna markrörelser i samband med fjärrvärmekulvert i många fall handlar om problemet med undermålig återfyllning. Olägenheterna beror alltså inte enbart på det värmetekniska problemet.
- o Resultat angående tjälundersökningar i samband med fjärrvärmekulvertar i Umeå föredrogs. VBB har medverkat i detta arbete.

3. Teoretisk analys

Janson föredrog sin beräkningsmodell för tjälnedträngning i mark runt fjärrvärmekulvert. Därefter behandlade Johan Claesson den studie som utförts på LTH av samma problem. Det datorprogram som använts beräknar tvådimensionell, tidsvariabel värmeledning. Beräkningsmetodiken bygger på en explicit framåtdifferensmetod. Fördelen med denna metodik är att olika parametrar och data tämligen enkelt kan ändras. Till exempel kan man ge ett smältvärme som ändras år från år. Randtemperaturen vid markytan kan varieras godtyckligt etc. Programmet har gjorts av Johan Claesson och använts i över 10 år i många tillämpningar till exempel beräkning av värmeutbredning under hus.

Vid genomgången av beräkningsfallen framkom bl a följande:

- o Användning av markskivor ger en kraftig temperaturgradient vid isoleringens kanter vilket innebär att nivåändringen på grund av tjälrörelsen uppträder på relativt kort sträcka. Med andra ord får man i ogynnsamma fall ett ordentligt gupp i vägen.
- o Det är alltså viktigt att simulera och föreslå sådana lösningar som ger mjuka kurvor med långsträckta kontinuerliga övergångar hos isotermerna.
- o Rördiametern har liten effekt på värmeutbredningen i jämförelse med rörisoleringens omfattning.

- o Claesson ansåg det värdefullt om beräkningarna kunde verifieras med praktiska fältmätningar.

4. Beslut och fortsatt arbete

Referensgruppen ansåg enhälligt att utförd förstudie visar att forskningsarbetet bör fortsätta och leda fram till konkreta åtgärder för att minimera uppträdande olägenheter.

VBB slutför pågående projekt. Redovisningen kommer att innehålla genomförd enkät och de inledande beräkningsstudierna med datormodell. Efter avlämnandet av rapporten inkommer VBB med ny ansökan till Byggforskningsrådet om det fortsatta arbetet. Referensgruppen förklarade sig beredd att även delta i det fortsatta arbetet.

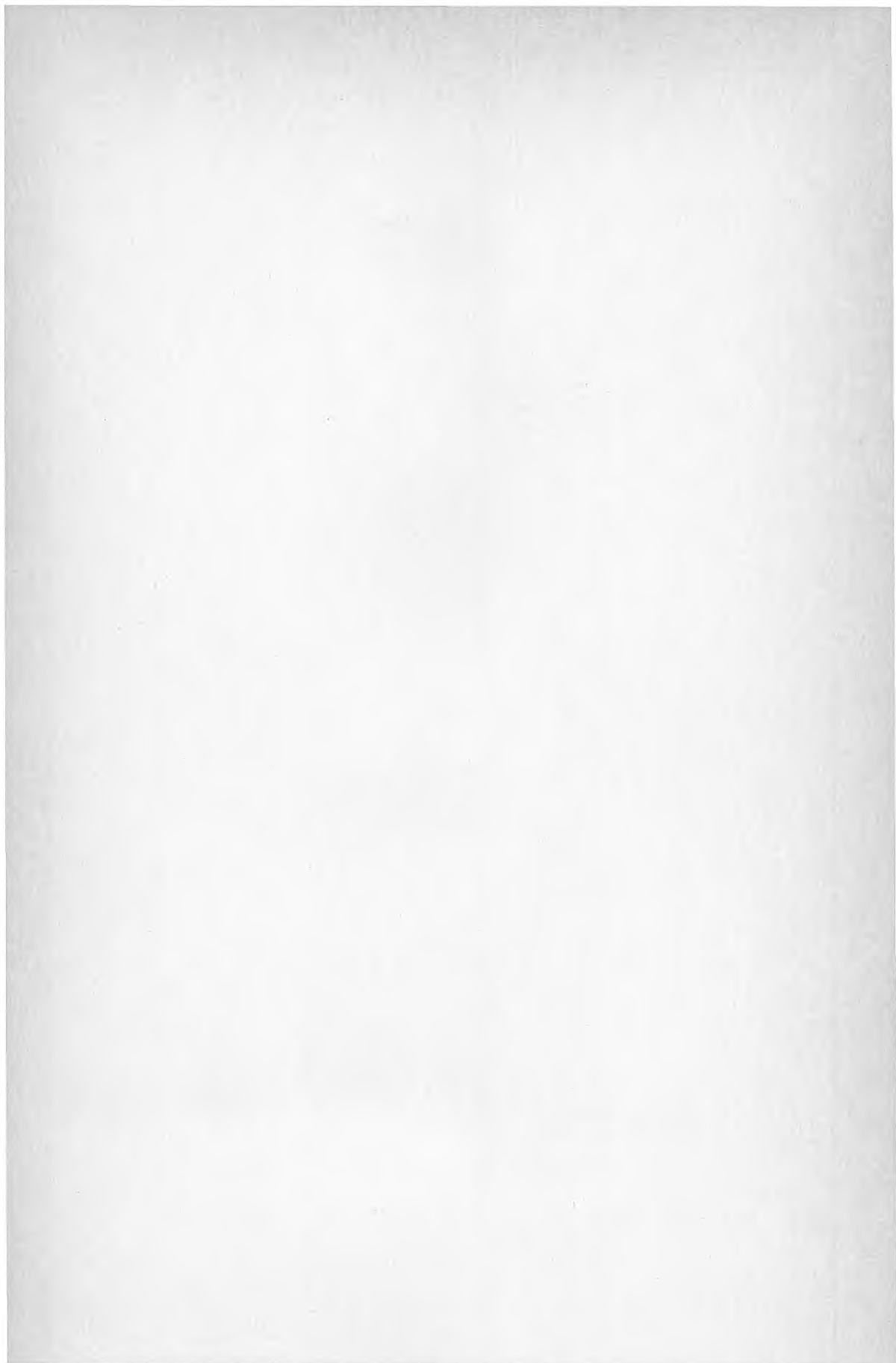
Stockholm 1983-11-24

Vid protokollet:

Lennart Andersson

Justeras:

Lars-Eric Janson







**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag
821365-9 från Statens råd för byggnadsforskning
till Vattenbyggnadsbyrån AB (VBB), Stockholm.**

R111: 1984

ISBN 91-540-4187-2

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6704111

**Abonnemangsgrupp:
Ingår ej i abonnemang**

**Distribution:
Svensk Byggtjän, Box 7853
103 99 Stockholm**

Cirkapris: 40 kr exkl moms