

EPSPEX-KULVERT – FUNKTION UNDER OCH EFTER VATTENDRÄNKNING

Stefan Nilsson, SP
Sven-Erik Sällberg, SP
Gunnar Bergström, SP

EPSPEX–KULVERT FUNKTION UNDER OCH EFTER VATTENDRÄNKNING

Stefan Nilsson, SP
Sven-Erik Sällberg, SP
Gunnar Bergström, SP

I rapportserien publicerar projektledaren resultaten från sitt projekt. Publiceringen innebär inte att Svenska Fjärrvärmeföreningens Service AB tagit ställning till slutsatserna och resultaten.

Sammanfattning

Syftet med föreliggande projekt var att utvärdera EPSPEX-kulvertens funktion och hållfasthet under ogynnsamma fuktförhållanden med målsättningen att resultaten skall möjliggöra en värdering gentemot traditionella ledningsutföranden.

EPSPEX-kulverten består av medierör av tvärbunden polyeten (PEX) placerade i värmeisoleringsblock av expanderad polystyren (EPS). EPS-blocken läggs direkt i marken med en polyetenfolie på "tak" som enda utvändigt skydd.

Laboratorieförsök genomfördes på två olika EPSPEX-kulvertar av typ Elgotherm. Dels studerades standardutförandet med EPS-isolering betecknad DC 200 och dels den lättare varianten DC 100. Beteckningarna hänför sig till EPS-materialens nominella tryckhållfasthet: 200 kPa respektive 100 kPa. Dränkings- och uttorkningsförsök genomfördes där EPSPEX-kulvertar under tidsbestämda uppfuktningsperioder helt hölls under vatten. Vattnet har därefter dränerats bort så att kulvertarna varit torrlagda under en längre uttorkningsperiod. Kulvertarna förlades i en vattentät låda kringfyllda med dränerande singel. Försöken genomfördes med 80 °C medietemperatur i såväl fram- som returledning. Uppställningen var placerad inomhus och omgivningstemperaturen var ca 20 °C. Efter uttorkningsperioderna har prover tagits ur EPSPEX-kulvertarna för fukthaltsbestämning. Utöver detta har mätningar gjorts av EPS-materialens vattengenomsläpplighet och tryckhållfasthet.

Cellplasten visade sig vara mycket genomsläpplig för vatten och utgör praktiskt taget ingen barriär för inströmmande markvatten. Det tyngre DC 200-materialet är ca. 8 gånger mer genomsläppligt för vatten än DC 100-materialet och tar upp betydligt större mängder fukt: nästan dubbelt så mycket, räknat i kg vatten per kubikmeter cellplast.

Det är tydligt att värmeförlusterna från EPSPEX-kulverten ökar efter varje upprepade dränkning och uttorkning. Ökningstakten är avtagande och det visar sig att kulverten återhämtar sig bättre vid längre uttorkningsperioder. Efter fyra upprepade dränkningar och månadslånga uttorkningar hade värmeförlusterna ökat med omkring 40 % för DC 200-alternativet och ca. 20 % för DC 100. Efter en avslutande förlängd uttorkningsperiod om ytterligare en månad återhämtade sig emellertid kulvertarna väsentligt till motsvarande värmeförlustökningar på ca. 20 % respektive 6 %. Försämringen i isoleringsförmåga är inte kritisk med avseende på användbarheten, men de ökade värmeförlusterna måste värderas i ekonomiska och miljömässiga termer i varje enskilt fall. Under tiden kulverten står under vatten ökar värmeförlusterna dramatiskt och tekniken bör knappast användas där högt grundvatten uppträder regelmässigt.

EPS-materialets tryckhållfasthet avtog något under försöken och E-modulen minskade avsevärt. Men inte heller med avseende på de mekaniska egenskaperna är försämringen avgörande.

Projektet har inte omfattat studier av hur vattenupptagning och uttorkning påverkas vid varierande medietemperatur eller vad som händer med systemets värmeförluster om inträngande markvatten strömmar i EPS-konstruktionen längs med medierören.

Summary

The purpose of this project was to study the function and strength of the EPSPEX pipe under unfavourable moisture conditions, in order to enable a comparison to traditional pipes.

The EPSPEX pipe construction consists of cross-linked polyethylene (PEX) medium pipes placed in—and thermally insulated by—blocks of expanded polystyrene (EPS). The EPS blocks have a square-shaped cross-section and are laid directly in the ground with a polyethylene foil as only external protection.

Laboratory tests were done on two different EPSPEX alternatives manufactured by Elgotherm. The standard EPS insulation DC 200 was tested along with the lighter alternative DC 100. These material designations refer to the materials' nominal compressive strength: 200 kPa and 100 kPa respectively. The pipes, laid in a watertight box backfilled with drainage shingle, were subjected to repeated flooding and drying. During the tests, the temperatures in both flow and return pipes were 80 °C. The test rig was situated indoors at an ambient temperature of approximately 20 °C. After each drying period, samples were taken from the EPS insulation for moisture ratio determination. In addition, measurements were made on the water permeability and compressive strength.

The cellular plastic is very permeable to liquid water and constitutes practically no barrier for inflowing groundwater. The heavier DC 200 alternative is about 8 times as permeable as the DC 100 material and also absorbs more water: almost twice as much, in kg water per cubic meter cellular plastic.

The heat losses from the EPSPEX pipe obviously increase after each repeated flooding and subsequent drying. The increase occurs at a diminishing rate and the insulation capacity recovers better if longer drying periods follow the floods. After four repeated floods and month-long drying periods, the heat losses had increased with approximately 40 % for the DC 200 alternative, and about 20 % for DC 100. During a final additional drying period the pipes recovered significantly. After this, the corresponding heat loss increase was about 20 % and 6 % respectively. The increased heat losses are not critical, but they need to be considered economically and environmentally in each individual case.

The compressive strength of the EPS dropped somewhat during the tests, and a significant decrease in modulus of elasticity was seen. But neither with respect to the mechanical properties is the deterioration critical.

The project has not comprised any studies of how the moisture transfer is affected by varying medium temperature, or what will happen with the heat losses of the system if groundwater flows along the medium pipes inside the EPS structure.

Innehållsförteckning

1	Inledning	1
2	Kunskapsläget.....	2
2.1	EPS – Expanderad Polystyren.....	2
2.1.1	Påverkan av temperatur.....	3
2.1.2	Påverkan av fukt	3
3	Mätningar och försök	5
3.1	Densitet	6
3.2	Tryckhållfasthet	6
3.3	Vattengenomsläpplighet.....	6
3.4	Dränkning och uttorkning	7
3.4.1	Kulvertutformning.....	7
3.4.2	Försöksuppställning.....	7
3.4.3	Kringfyllning	8
3.4.4	Mätningar	8
3.4.4.1	Temperaturer i EPS-isolering	9
3.4.4.2	Fukthalt i EPS-isolering.....	10
3.4.4.3	Värmeförluster.....	10
3.4.5	Försöksserier.....	11
4	Resultat och diskussion.....	12
4.1	Densitet	12
4.2	Tryckhållfasthet	12
4.3	Vattengenomsläpplighet.....	13
4.4	Dränkning och uttorkning	14
4.4.1	Dräkningsförlopp	15
4.4.2	Uttorkningsförlopp.....	17
4.4.3	Fukthalt i EPS-isolering.....	19
4.5	Utvärdering av isoleringsförmåga.....	20
4.5.1	Jämförelse med konventionella rörtyper.....	24
5	Slutsatser.....	27
6	Referenser	28
	Bilaga A – Mätresultat	29
	Bilaga B – Värmeförlustmätningar	39

1 Inledning

Ett växande intresse för så kallade värmeglesa områden driver idag på utvecklingen av nya kulverttyper för fjärrvärmedistribution. Strävan är att finna nya lösningar med lägre investeringskostnader utan kvalitetsförsämring och med bibehållna eller bättre miljöegenskaper.

Under 2001 utvecklades, inom ramen för svensk Fjärrvärmes FoU-program (utvecklingsetapp 1) och Svensk Fjärrvärmes affärsråd (etapper 2 och 3), en ny kulverttyp avsedd för sekundära nät i värmeglesa områden. Den nya *EPSPEX-kulverten* består av medierör av tvärbunden polyeten (PEX) monterade i rektangulära värmeisoleringsblock av expanderad polystyren (EPS). EPSPEX-kulvertens funktionssätt skiljer sig väsentligt från de traditionella fjärrvärmeledningarna då EPS-isoleringen är genomsläpplig för vatten. I installationsanvisningarna rekommenderas därför att kulverten förläggs på väl dränerad bädd. Vid de installationer som har gjorts har dessutom ovansidan täckts med vattentät plastfolie så att infiltration av markvatten inte gör att isoleringen vattenfylls.

Att en markförlagd konstruktion kräver helt torra förhållanden är dock inte rimligt då häftiga skyfall och tillfälliga grundvattenhöjningar kan komma att periodvis helt eller delvis ställa kulverten under vatten. Isoleringsförmågan och möjligen även den mekaniska hållfastheten minskar avsevärt om EPS-materialet vattenfylls. Detta behöver dock inte vara kritiskt om materialet återhämtar sig snabbt efter att fuktbelastningen upphört.

Syftet med föreliggande projekt har varit att utvärdera EPSPEX-kulvertens funktion och hållfasthet under ogynnsamma fuktförhållanden. Målsättningen är att resultaten skall möjliggöra en värdering av EPSPEX-kulverten gentemot traditionella ledningsutföranden. Projektet har finansierats av Svenska Fjärrvärmeföreningen och SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut i Göteborg. Projektarbetet har genomförts av SP i samråd med en referensgrupp med följande sammansättning:

Jan Eklund, Dorocell AB

Göran Johansson, Powerpipe Systems AB

Ulf Jarfelt, Chalmers tekniska högskola

Karl-Erik Johansson, Göteborg Energi AB

Ture Nordenswan, Svensk Fjärrvärme

Lars Ohlsson, Elgocell AB

2 Kunskapsläget

Utvecklingen av EPSPEX-kulverten och en uppföljning av en mindre provsträcka i Landskrona redovisas av Gudmundson i [2]* och refereras i det följande:

Kulverten består av medierör av syrediffusionstätad PEX som placeras i block av EPS. EPS-blocken är 3 m långa och har på ovansidan ett kilformat lock, benämnt kulvertkil, under vilket PEX-rören placeras i urspårningar med presspassning. EPS-blocken fogas till varandra utan vattentäta skott och ingen ytterligare tätning görs mellan PEX-rören och de rektangulära urspårningarna. Ledningarna skarvas i speciella EPS-block som är ihåliga med utrymme för kopplingsdetaljer. Främst poängteras isoleringsförmågan som mycket bättre än för konventionella fjärrvärmerör till följd av att mer isoleringsmaterial används. EPS-materialet som sådant är sämre än det traditionella PUR-skummet i värmeisoleringshänseende. Jämförelse görs med kapacitetsmässigt likvärdigt fjärrvärmerör av tvillingtyp. När det gäller absorptionen av fukt, det vill säga vikten på den fukt som diffunderar in och ackumuleras i cellerna, beskrivs denna som mycket liten. Dessutom är EPS-cellplasten typgodkänd som kapillärbrytande skikt bland annat under platta på mark. Såväl EPS- som PEX-materialen tål maximalt 80 °C drifttemperatur med högst 6 bars tryck i rören.

I rapporten redovisas en praktisk installation av kulverten i villaområdet Esperanza i Landskrona under slutet av 2001 där EPSPEX-kulvert Ø 32 mm installerades parallellt med en uttjänt ACE-rörservis på en jämn och väl dränerad bädd. Kulvertelementen sammanfogades med polyuretanlim. PEX-rören sammanfogades i avstick och böjar med presskopplingar i så kallade kopplingsboxar. Kulvertens överdel täcktes därefter med PE-duk varefter befintliga massor användes som kringfyllning vid återfyllningen av schaktet. Ett antal utlåtanden från mark- och byggtreprenören om EPSPEX-kulverten redovisas:

- I stort sett alla sorters kringfyllningsmaterial, utom lera och liknande kan återanvändas.
- Ingen extra schaktning för skarvning behövs och schaktet behöver bara vara något bredare än kulverten.
- Arbetet kräver inga tunga lyft.
- Bearbetningen vid monteringen är enkel och alla arbetsmoment kan utföras av samma entreprenör

En jämförelse av kostnaden för installationen i förhållande till likvärdig installation med tvillingrör har gjorts. Dessutom har värmeförlusterna genom kulvertkonstruktionen utvärderats, dels beräkningsmässigt och dels genom mätningar av vattenflöde och temperaturfall samt genom mätningar av temperaturfältet i isoleringen.

2.1 EPS – EXPANDERAD POLYSTYREN

Polystyren, som började produceras kommersiellt 1936, är i ren form ett klart, amorft plastmaterial som är relativt sprött.

* I skrivande stund är Gudmundsons rapport ännu inte publicerad.

Den fasta polymeren kan i en tvåstegsprocess omvandlas till en cellplast, EPS – Expanderad Polystyren, som fått mycket stor användning som förpackningsmaterial och som värmeisolering [15]. EPS har funnits på marknaden i nära 50 år och har fått en ständigt ökande användning [4]. Med cellplast betecknar man produkter vars densitet i hög grad har minskats genom att plastmaterialet endast används för att bygga upp en cellstruktur som till helt övervägande del är fylld med luft eller andra gaser. Cellstrukturen kan vara öppen eller sluten. I en öppen cellstruktur står cellerna i förbindelse med varandra medan de vid sluten cellstruktur är skilda från varandra av cellväggar. Isoleringsförmågan hos EPS för byggnadsisolering är väldokumenterad och isoleringsförmågan ökar då temperaturen sjunker.

EPS-cellplast framställs i flera steg. Utgångsmaterialet levereras som expanderbara polystyrenkulor med en diameter av 0,2 till 0,3 mm. Dessa framställs genom att kulorna upphetas i närvaro av ett jäsmedel som därvid diffunderar in i kulorna. Alternativt kan styrenmonomer polymeriseras till kulor i närvaro av ett jäsmedel så att jäsmedlet fångas inne i kulorna. Typiska jäsmedel är pentaner och hexaner.

Vid tillverkning av en cellplastprodukt utgör det första steget att kulorna med ånga, varmvatten eller varm luft förexpanderas till cirka 50 gånger ursprunglig volym. Därefter kyls kulorna varvid vattenånga diffunderar in i kulorna till följd av det undertryck som uppstår vid expansionen. De förexpanderade kulorna placeras i en form och utsätts för ånga vid 110 till 120 °C vilket leder till en andra expansion och en sammansmältning av intilliggande kulor vilket efter avkylning ger den slutliga stabila EPS-produkten. Densiteten kan varieras genom att ändra tätheten hos de förexpanderade kulorna och ligger normalt mellan 20 – 60 kg/m³. Materialet är användbart i temperaturintervallet -178 °C till +80 °C [1,12].

2.1.1 Påverkan av temperatur

Då EPS utsätts för höga temperaturer kollapsar strukturen. Dock sker ingen nämnvärd förändring upp till 100 °C. Då temperaturen höjs till över 110 °C börjar de expanderade kulorna snabbt att kollapsa och kulornas medeldiameter minskar kraftigt. Temperaturen då EPS kollapsar ligger mellan 110 och 120 °C, vilket väl överensstämmer med glastransitionstemperaturen hos polystyren. Vid ca 150 °C har kulorna minskat till den storlek de hade före expansionen [7].

2.1.2 Påverkan av fukt

EPS-materialet har hög beständighet mot fukt men vid inre kondensation, som kan uppstå vid vissa ogynnsamma temperatur- och ånghalts förhållanden, försämras materialets isoleringsegenskaper [10]. En studie av fukthaltens inverkan på isoleringsförmågan hos vägisolering av EPS redovisad i [6] visar att värmeledningsförmågan ökar väsentligt då stora mängder fukt kondenserar i materialet.

1995 genomförde the Expanded Polystyrene Association of Canada och the Canadian Plastics Industry Association ett projekt tillsammans med the Institute for Research in Construction. Projektets syfte var att utvärdera de termiska egenskaperna i fält hos ett antal EPS-material för användning som utvändig källarisolering i kontakt med mark. Under de två år försöket pågick fann man att de termiska egenskaperna hos provmaterialet förblev stabila. Egenskaperna påverkades inte heller nämnvärt av vattenrörelse vid isole-

ringens ytskikt. Isoleringsproverna plockades upp efter att ha blivit utsatta för omgivningens påverkan i marken under 30 månader. Från detta material uttogs prover som testades i laboratorium, varefter erhållna värden jämfördes med ursprungsmaterialets. Termiska och mekaniska egenskaper samt även fuktegenskaper jämfördes med egenskaperna hos ursprungligt material. Inga väsentliga förändringar i materialet kunde påvisas [9].

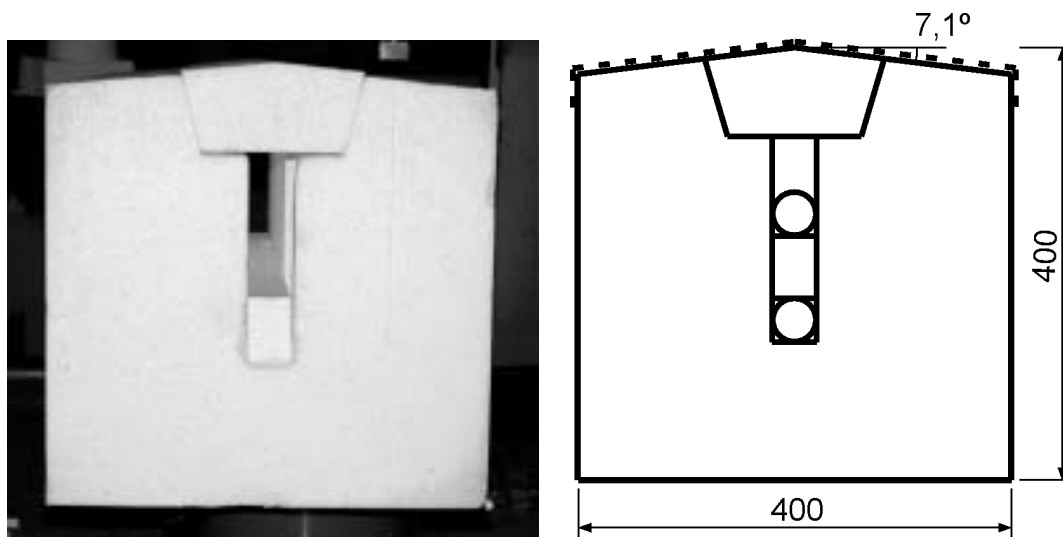
3 Mätningar och försök

Laboratorieförsök genomfördes på två olika EPSPEX-kulvertar av typ Elgotherm. Dels studerades standardutförandet, med EPS-cellplast av hållfasthetsklass DC 200, och dels en lättare variant av hållfasthetsklass DC 100, Tabell 3.1. EPS används normalt för lågtemperaturtillämpningar, varför värmekonduktiviteten, eller λ -värdet, anges för 10 °C. För PUR-skum i fjärrvärmerör specificeras vanligen motsvarande värde för 50 °C. Uppskattningsvis* är värmekonduktiviteten vid 10 °C omkring 0,002 W/mK lägre än vid 50 °C och isoleringsförmågan hos EPS-cellplast är alltså omkring 20 á 30 % sämre än motsvarande hos polyuretanskum (PUR).

Tabell 3.1 EPS-material – tekniska specifikationer.

Hållfasthets- klass	Specifikationer enligt tillverkaren		
	Tryckhållfasthet	Densitet	Värmekonduktivitet vid +10 °C
	kPa	kg/m ³	W/mK
DC 100	100	20	0,036
DC 200	200	30	0,033

Kulvertens tvärsnitt var 400 mm × 400 mm med ”lutande tak”, Figur 3.1. Huvuddelen av kulverten består av ett stycke EPS med ett spår i vilket PEX-rören trycks ned med presspassning. PEX-rören åtskiljs med en distanslist, och spåret täcks genom att ett kil-format överstycke pressas ned. Vid montaget har kulvertens tak täckts med 500 mm vanlig byggfolie av polyeten.



Figur 3.1 Tvärsnitt av EPSPEX-kulverten.
Cross-section of the EPSPEX pipe.

Kulvertblocken tillverkas i längder om 1000 mm och limmas på fabriken till leveranslängden 3000 mm.

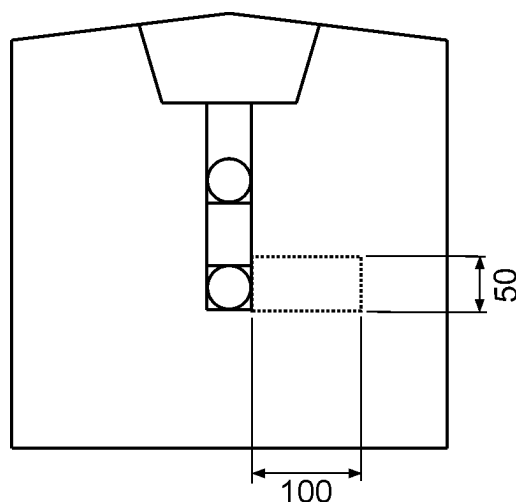
* Temperaturen påverkar i huvudsak bidraget från värmeöverföring via långvågig strålning som är proportionellt mot absoluta temperaturen i tredje potens. Strålningsöverföringen totalt, står för omkring 12 % av värmetransporten [11].

3.1 DENSITET

Densiteten hos de två EPS-materialen bestämdes genom att kubiska provstycken med kantlängden ca 60 mm mättes och vägdes.

3.2 TRYCKHÅLLFASTHET

Tryckbelastningsprov gjordes på såväl ”ostört” referensmaterial som efter avslutade dränkningsförsök. Mätningarna gjordes i materialets vertikalkriktning i enlighet med SS 16 95 24 [14] på provkroppar med tvärsnittet $100 \times 100 \text{ mm}^2$ och tjockleken 50 mm. Provkropparna togs ut ur EPS-blocken såsom visas i Figur 3.2.



Figur 3.2 Provkroppar för tryckhållfasthetsprov.
Samples for determination of compressive strength.

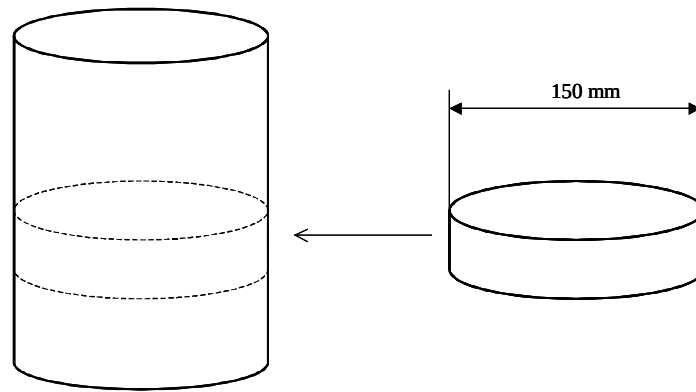
3.3 VATTENGENOMSLÄPPLIGHET

För att få en uppfattning om med vilken hastighet vatten transporteras genom EPS-materialen genomfördes några enkla prov.

För att på ett enkelt sätt uppskatta hur lång tid det tar för vatten att tränga igenom materialen tillverkades cirkulära skivor som limmades in i plaströr enligt Figur 3.3. EPS-skivornas diameter var 150 mm, samma som plaströrens innerdiameter. En 50 mm tjock och en 100 mm tjock skiva av respektive kvalitet DC 200 och DC 100 användes och genomträngningstiden under vattentrycket 90 mmVp (0,9 kPa) bestämdes.

Flödeshastigheten under vattentrycken 120 mmVp (1,2 kPa) och 150 mmVp (1,5 kPa) uppskattades genom att volymen av det vatten som trängde igenom provskivorna under en bestämd tid mättes.

Samtliga försök utfördes i rumstemperatur.



*Figur 3.3 Arrangemang för vattengenomsläpplighetstest.
Arrangement for water permeability tests.*

3.4 DRÄKNING OCH UTTORKNING

Dräknings- och uttorkningsförsök genomfördes där EPSPEX-kulvertar under tidsbestämda uppfuktningsperioder helt hållits under vatten. Vattnet har därefter dränerats bort så att kulvertarna varit torrlagda under en längre uttorkningsperiod. För att efterlikna förhållanden i fält har dräkningsförsöken genomförts i en för ändamålet uppbyggd försöksanläggning bestående av en vattentät låda vari EPSPEX-kulvertarna varit nedgrävda i kringfyllningsmaterial bestående av dränerande singel.

3.4.1 Kulvertutformning

Ett tvårörssystem användes med fram- och returledning placerade i höjdlid. Medierören var av Ø40 mm tvärbunden polyeten (PEX). Rören var av tryckklass PN 6 med en godstjocklek på 3,7 mm och de var försedda med en syrediffusionsspärr av etylenvinylalkohol (EVAL).

Till försöken användes kulvertlängder om 2270 mm. Respektive kulvert har således varit försedd med två fabriksgjorda skarvar.

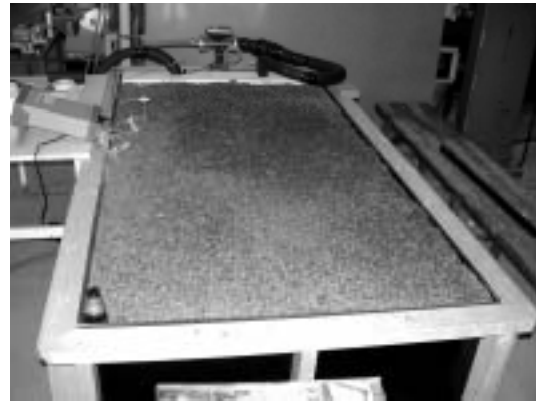
I enlighet med tillverkarens montageanvisningar rullades en 500 mm bred polyetenfolie ut på kulvertens tak före återfyllning.

3.4.2 Försöksuppställning

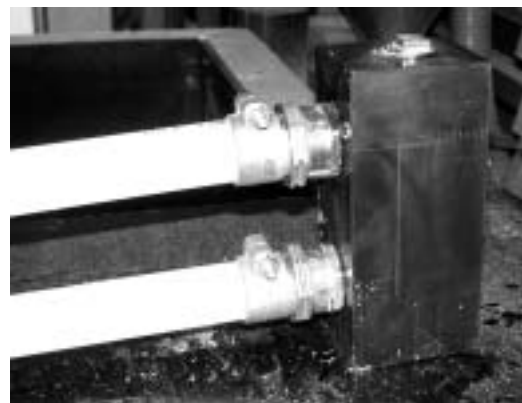
Provkulvertarna förlades i en vattentätad trälåda med planmått $2270 \times 1200 \text{ mm}^2$ och kringfylldes med singel, Figur 3.4. Avståndet mellan kulvertarna var 150 mm och avståndet mellan respektive kulvert och lådans sidor var 125 mm. Kringfyllningslagrets tjocklek var 100 mm såväl ovan som under kulvertarna.

De fyra medierören* var inkopplade i serie och anslutna med gummislangar till ett pump- och värnehållningssystem. Ledningskrökarna mellan fram- och returledning bestod av för ändamålet tillverkade block av polyeten som inpassats i EPS-materialet, Figur 3.5. Medievattentemperaturen var under försöken $+80^\circ\text{C}$.

* En fram- och en returledning i respektive kulvert.



*Figur 3.4 Trälåda med EPSPEX-kulvertar.
Wooden box with EPSPEX pipes.*



*Figur 3.5 Anslutningar till pump- och värmesystem respektive mellan fram- och returledning.
Connections to pump and heating system and between flow and return pipe respectively.*

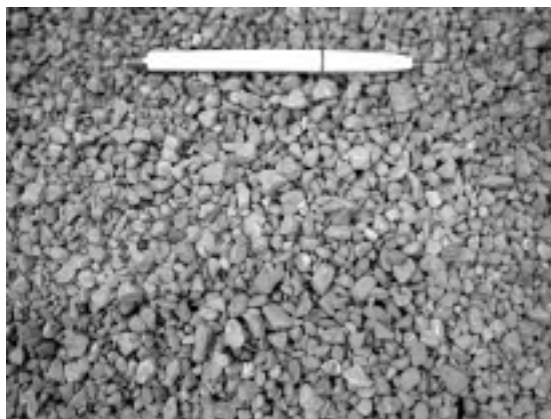
Lådan var utrustad med två avlopp i botten till vilka slangar kopplats för dränering av vattnet efter dränkningsperioderna.

3.4.3 Kringfyllning

Kringfyllningsmaterialet som användes vid försöken var väl dränerande utan finmaterial. Det bestod av singel med kornstorlek 4 – 8 mm av sållad rundsten bruten under vatten, Figur 3.6.

3.4.4 Mätningar

Temperaturen i EPS-isoleringen före, under och efter dränkningsperioderna registrerades i ett antal mätpunkter. Vidare uppmättes samtidigt temperaturen i kringfyllningsmaterialet samt lufttemperaturen i försökslokalen. I det cirkulerande medievattnet uppmättes vattentemperatur och vattenflöde. Därutöver mättes temperaturdifferensen mellan inloppet till framledningen och utloppet från returledningen i båda kulvertarna. Samtliga mätvärden loggades kontinuerligt med en datalogger, Agilent Technologies 34970A Data Acquisition/Switch Unit, och dokumenterades som datafiler i PC med programvaran HP BenchLink Data Logger 1.1.

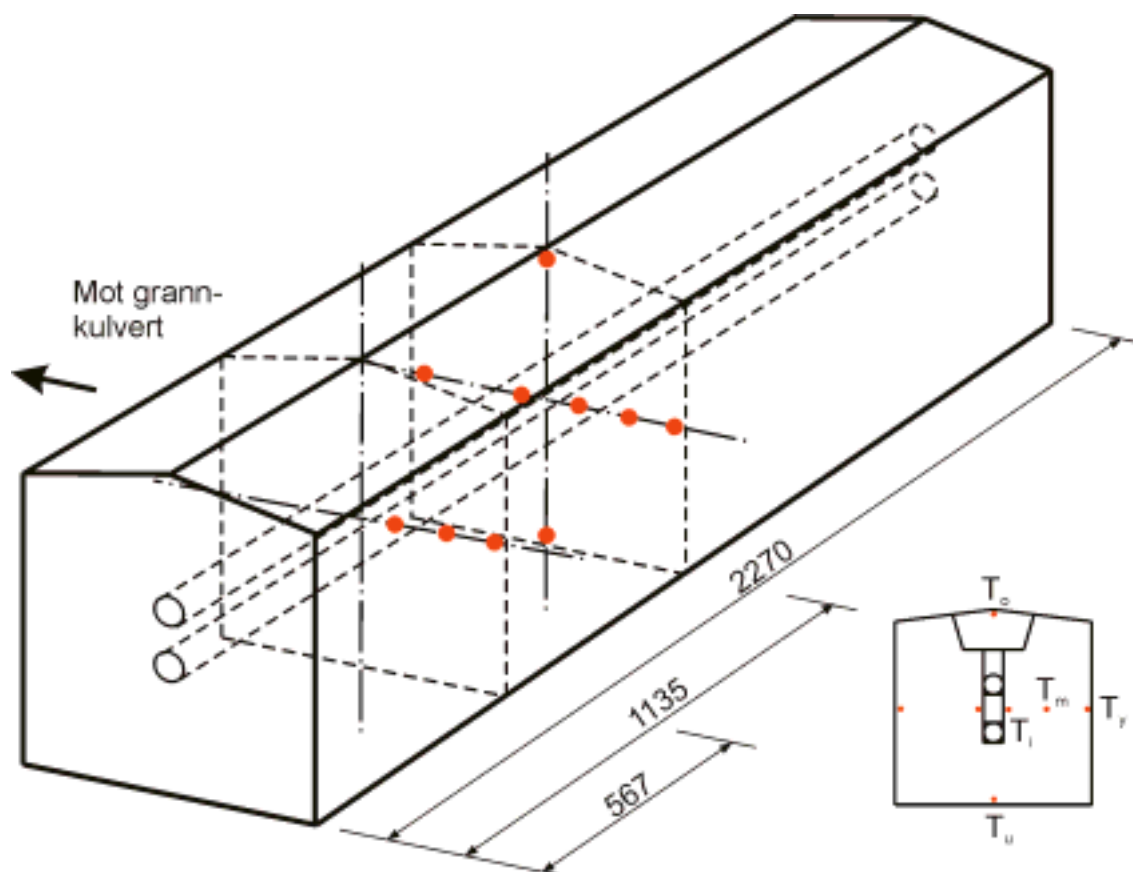


Figur 3.6 Kringfyllningsmaterial: singel 4-8 mm.
Backfill material: shingle 4-8 mm.

EPS-isoleringens fuktinnehåll har kontrollerats vid 4 tillfällen genom att provkroppar borrats ur och analyserats. Dessutom har tryckhållfastheten uppmäts före och efter avslutade dränkningsförsök.

3.4.4.1 Temperaturer i EPS-isolering

Samtliga temperaturer mättes med termoelement typ K i mätpunkter enligt Figur 3.7.



Figur 3.7 Skiss över temperaturmätpunkternas placeringar och PEX-rörens lägen i EPS-isoleringen.
Schematic view of positions for temperature measurements and PEX pipe locations in the EPS insulation.

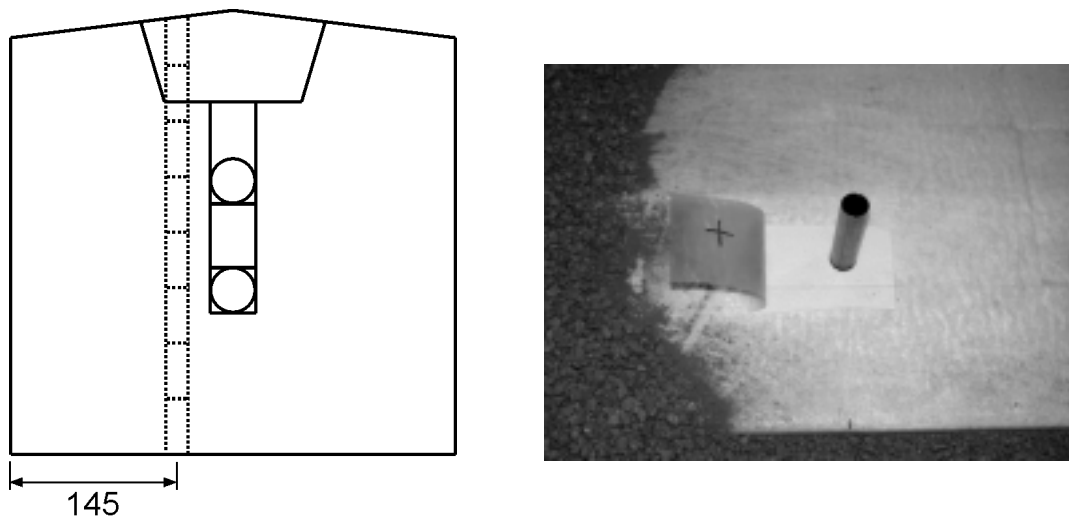
3.4.4.2 Fukthalt i EPS-isolering

Fukthalten i isoleringen bestämdes på cylindriska provkroppar som borrades ur EPS-kulvertarna, Figur 3.8. 8 st prover med längden 50 mm och diametern 20 mm togs ut varje omgång.

Direkt efter att provkropparna avlägsnats ur kulvertisoleringen vägdes dessa. Därefter torkades de i +70 °C. När provkropparna torkat ut fullständigt vägdes de igen, varefter fukthalten w kunde fastställas genom

$$w = \frac{m_w - m_d}{m_d} \rho_d \quad (3.1)$$

Där m_w och m_d är provets våta respektive torra vikt (kg) och ρ_d är materialets torrdensitet (kg/m^3).



Figur 3.8 Provkropparnas läge i EPS-isoleringen samt fotografi av provtagning för fuktkvotsbestämning.
Specimen location in EPS insulation and photograph of sampling for moisture ratio determination.

Fuktprover togs direkt efter uttorkningsperioderna 2, 3 och 4 (Tabell 3.2), samt 28 dygn in på uttorkningsperiod 4.

3.4.4.3 Värmeförluster

Värmeförlusterna från kulvertarna bestämdes genom samtidig mätning av temperaturdifferensen mellan framledningens inlopp och returledningens utlopp och vattenflödet. Utifrån dessa mätstorheter kan värmeförlusterna per meter ledning Q (W/m) bestämmas enligt:

$$Q = \frac{\Delta T \dot{V} \rho c}{L} \quad (3.2)$$

Där ΔT är temperaturdifferensen (K), $\dot{V}$ är vattenflödet (m^3/s), ρ är vattnets densitet (1000 kg/m^3), c är vattnets specifika värmekapacitet (4200 J/kgK) och L är ledningens längd (4,4 m).

Temperaturdifferenserna mättes med differenskopplade termoelement av typ K. Vattenflödet mättes med en ultraljudsflödesmätare av fabrikat Kamstrup.

3.4.5 Försöksserier

Totalt fyra stycken direkt på varandra följande dränkings- och uttorkningsförsök genomfördes, Tabell 3.2.

Tabell 3.2 *Dränkings- och uttorkningsperioder.*
Flood and drying periods.

Försök nr	Dränkning	Uttorkning
1	1 dygn	12 dygn
2	3 dygn	28 dygn
3	3 dygn	28 dygn
4	3 dygn	56 dygn

4 Resultat och diskussion

4.1 DENSITET

Densiteterna hos de två EPS-materialen mättes dels i det egentliga kulvertblocket och dels i det kilformade locket. De uppmätta densiteterna sammanfattas i tabellen nedan.

Tabell 4.1 Resultat från densitetsbestämning.

Results from density tests.

	Densitet i lock kg/m ³	Densitet i kul- vertblock kg/m ³	Medel- densitet kg/m ³
DC 200	26,2	29,8	28,0
DC 100	16,9	17,9	17,4

4.2 TRYCKHÅLLFASTHET

De uppmätta mekaniska egenskaperna sammanfattas i Tabell 4.2. EPS under tryckbelastning har ingen egentlig brottgräns. Däremot finns en elasticitetsgräns, bortom vilken materialet uppför sig vekare och deformeras irreversibelt till följd av att cellstrukturen stukas och krossas. Detta illustreras tydligt i Figur 4.1.

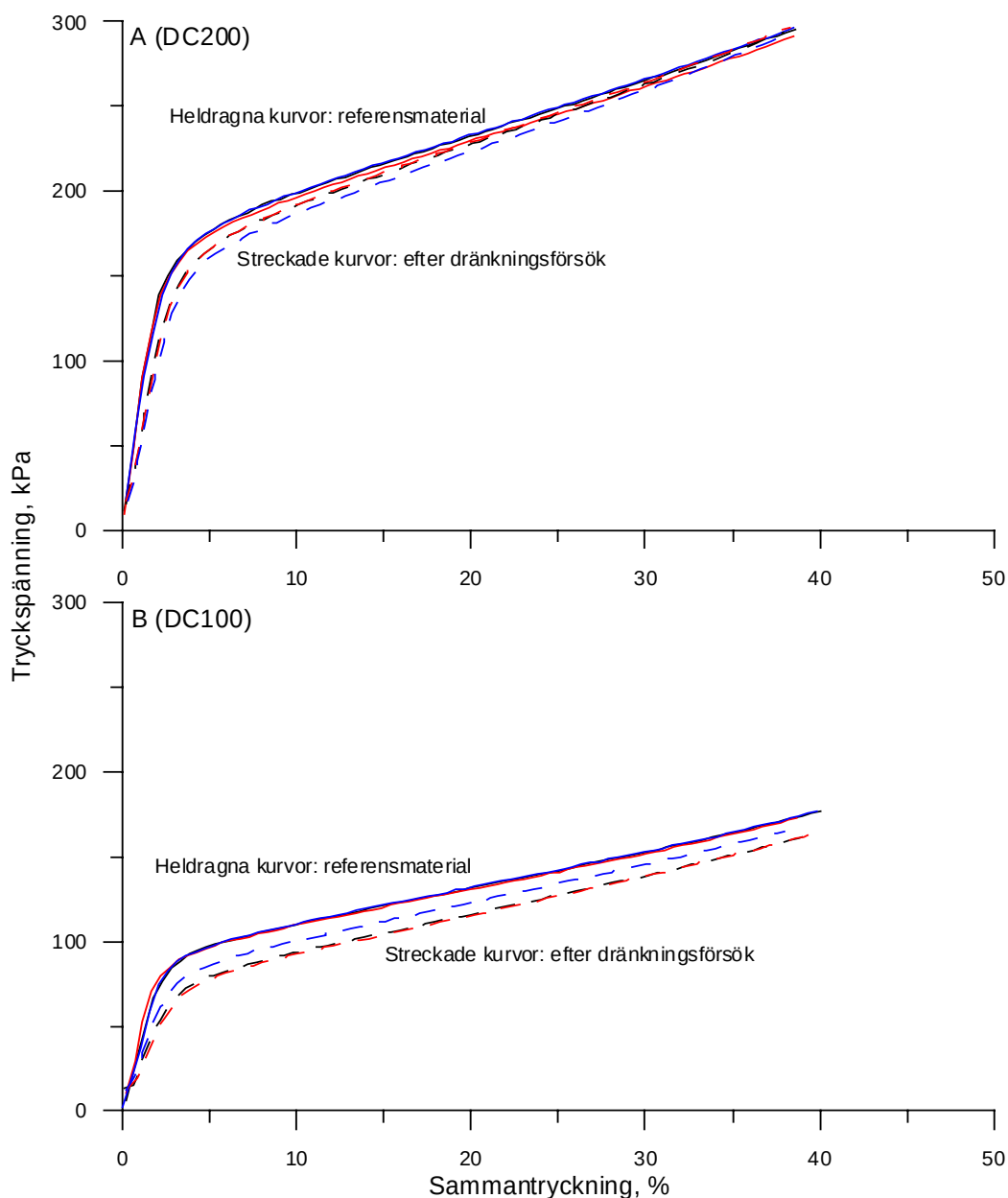
Tabell 4.2 Resultat från tryckbelastningsprov.

Results from compression tests.

		Initiell E-modul MPa	Elasticitetsgräns σ_p kPa	ϵ_p %	Spänning vid 10 % deformation kPa
DC 200	Referensprov	7,7	102	1,3	198
	Efter försök	5,3	102	1,5	189
DC 100	Referensprov	4,0	66	1,6	110
	Efter försök	2,7	56	2,0	96

För cellplastmaterial som saknar en tydlig brottgräns brukar tryckspänningsvärdet vid 10 % sammantryckning anges som tryckhållfastheten [14]. Referensprovernans hållfasthet enligt denna definition är 198 kPa och 110 kPa för DC 200- respektive DC 100-materialen.

Under dränkningsförsöken försämrar de mekaniska egenskaperna något. Efter avslutade försök är elasticitetsmodulen ca 30 % lägre hos båda materialen. Hållfastheten enligt definitionen ovan är 189 kPa respektive 96 kPa.



Figur 4.1 Uppmätta kraft – deformationssamband vid tryckbelastning av EPS-materialet.

Force – deformation response during compression tests on EPS material.

4.3 VATTENGENOMSLÄPPLIGHET

Mätresultaten visade att materialet DC 200 trots högre densitet har större vattengenomsläpplighetsförmåga än DC 100. Detta visade sig gälla både tiden för vattengenombrott och flödes hastigheten genom materialet. Resultaten sammanfattas i Tabell 4.3 och Tabell 4.4.

Tabell 4.3 Resultat från vattengenombrottsprov.
Results from water penetration tests.

EPS-material	Tjocklek hos prov mm	Tid till vatten- genombrott s
DC 200	100	30
DC 100	100	245
	50	65

Tabell 4.4 Resultat från vattenpermeabilitetsprov.
Results from water permeability tests.

EPS-material	Vattentryck kPa	Vattenflöde l/h	Permeabilitet m ²
DC 200	1,2	6,0	$\sim 9,9 \times 10^{-12}$
	1,5	6,9	
DC 100	1,2	0,7	$\sim 1,3 \times 10^{-12}$
	1,5	1,0	

Under förutsättning att materialets porsystem är fyllt med vatten kan flödes hastighetsproven användas för att uppskatta *permeabilitetskoefficienten* k (m²) med hjälp av Darcys lag:

$$g = k \frac{\rho}{\mu} \frac{\Delta P}{d} \quad (4.1)$$

Där g är vattenflödet (kg/m²s), ρ är vattnets densitet (1000 kg/m³), μ är vattnets dynamiska viskositet ($1,3 \times 10^{-3}$ Pas), ΔP är tryckskillnaden över provet (Pa) och d är provets tjocklek.

Med de uppmätta vattenflödena blir permeabilitetskoefficienten $9,9 \times 10^{-12}$ m² för DC 200-materialet och $1,3 \times 10^{-12}$ m² för DC 100-materialet. Som en jämförelse är permeabilitetskoefficienterna för sand och tegel omkring 30×10^{-12} m² respektive $0,03 \times 10^{-12}$ m² [3].

4.4 DRÄNKNING OCH UTTORKNING

Samtliga mätningar av temperaturer och värmeförluster finns redovisade i diagramform i Bilaga A. En detaljerad genomgång av alla mätserier skulle vara alltför utrymmeskrävande, varför en försöksperiod valts ut för att i det följande exemplifiera de fysikaliska förloppen.

Dränkning respektive uttorkning nr 3 har valts som exempel. Främst för att värmeförlustmätningarna fungerade problemfritt för båda kulvertarna genom hela försöksperioden. Övriga försöksserier uppvisar i vissa avseenden annorlunda resultat, men de principiella huvuddragen är nära nog ekvivalenta.

En kommentar måste dock göras till resultaten från försök nr 1, som är markant annorlunda än övriga. Här läckte dränkingsvattnet in till kopplingsanslutningarna vid kulvertändarna (Figur 3.5, sidan 8) och värmdes därigenom upp orimligt mycket. Detta framgår tydligast av uppmätta kringfyllningstemperaturer under dränkingsperioden, se Bilaga A,

sidorna 31 och 35. Konsekvensen av detta är att kulvertarna under försök nr 1 legat i en alldeles för varm omgivning.

I Figur 4.2 – Figur 4.5 visas medelvärden av temperaturer uppmätta i samma position i tvärsnittet för de två olika EPS-alternativen. Namngivningen av temperaturerna följer Figur 3.7, sidan 9. Dessutom betecknar T_v och T_s temperaturer uppmätta i medievatten respektive kringfyllning*. De romerska siffermarkeringarna i diagrammen† betecknar händelser under dränkings- respektive uttorkningsförloppen som kommenteras i de följande avsnitten.

4.4.1 Dränkingsförlopp

Den första mätbara konsekvensen av vattendränkningen ses då vattennivån når upp till och kyler av den undre mätpunkten T_u (**D-I**, Figur 4.2 och **D-VIII**, Figur 4.3).

Efter ytterligare några minuter når vattnet upp till kulvertens centrumlinje och mätpunkterna T_i , T_m och T_y kyls av (**D-II** och **D-IX**). Vid denna tidpunkt ökar värmeförlusterna mycket kraftigt (**D-III** och **D-X**), vilket är en konsekvens av att stora mängder energi går åt till att värma upp det kalla dränkingsvattnet. Detta resulterar dessutom i en synbar sänkning av medievattnets temperatur (**D-IV** och **D-XI**).

Tidpunkten då vattenytan passerar den övre mätpunkten T_o syns inte lika tydligt, vilket sannolikt beror på att vattnet värms av medierören på vägen upp vilket gör att avkylningen vid mätpunkten inte blir så påtaglig.

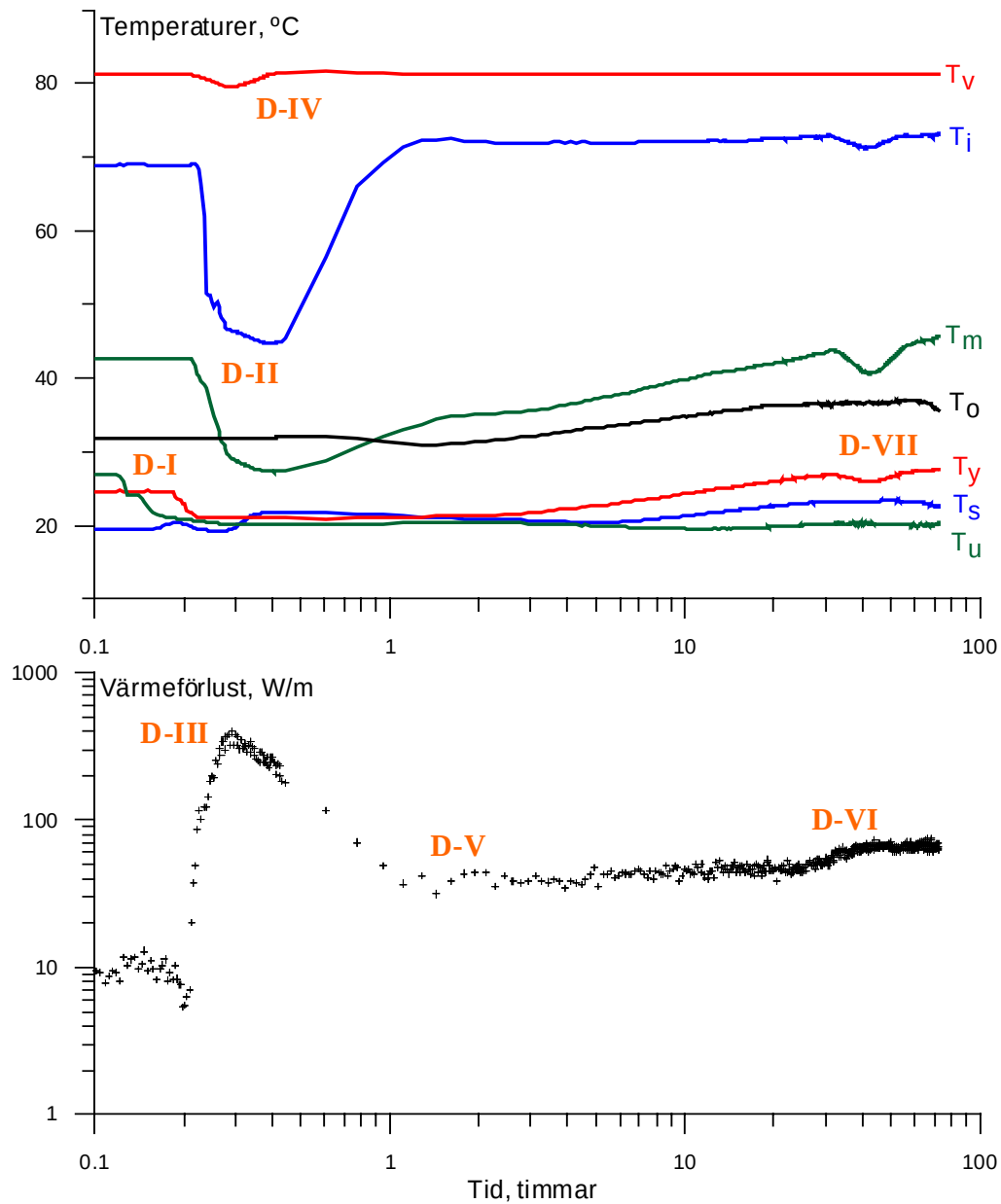
Efter ca. 1,5 timmar har det inträngande vattnet värmts upp och det kraftiga energiflödet avstannar och stabiliseras på en nivå några gånger högre än vid försökets inledning (**D-V** och **D-XII**). Att energiförlusterna är större beror huvudsakligen på att värmeledningsförmågan hos EPS-materialet är betydligt större då det är dränkt med vatten. Värme som åtgår till att förånga en del av vattnet kan också ha en viss betydelse.

Under resterande dränkingsperiod beter sig de olika EPS-materialen olika. I det tyngre DC 200-materialet ökar värmeförlusterna ytterligare i stadig takt (**D-VI**), vilket innebär att EPS-materialets isoleringsförmåga försämras – sannolikt som en konsekvens av att vattenånga diffunderar in i cellstrukturen i EPS-granulaten. I takt med att värmeförlusterna ökar, stiger också temperaturerna i isoleringen. Temperaturskillnaden $T_m - T_y$ mellan den mittersta och den yttre mätpunkten ökar emellertid (**D-VII**). Detta antyder att isoleringsförmågan hos den yttre kalla EPS-delen inte försämras i alls samma utsträckning som i de inre varma delarna. Detta är rimligt, då takten med vilken vattenånga diffunderar in i cellstrukturen är långsammare vid lägre temperaturer. I det lättare DC 100-materialet är den gradvisa försämringen inte alls lika påtaglig. Endast den övre mätpunkten T_o uppvisar en tydligt ökande temperatur (**D-XIII**).

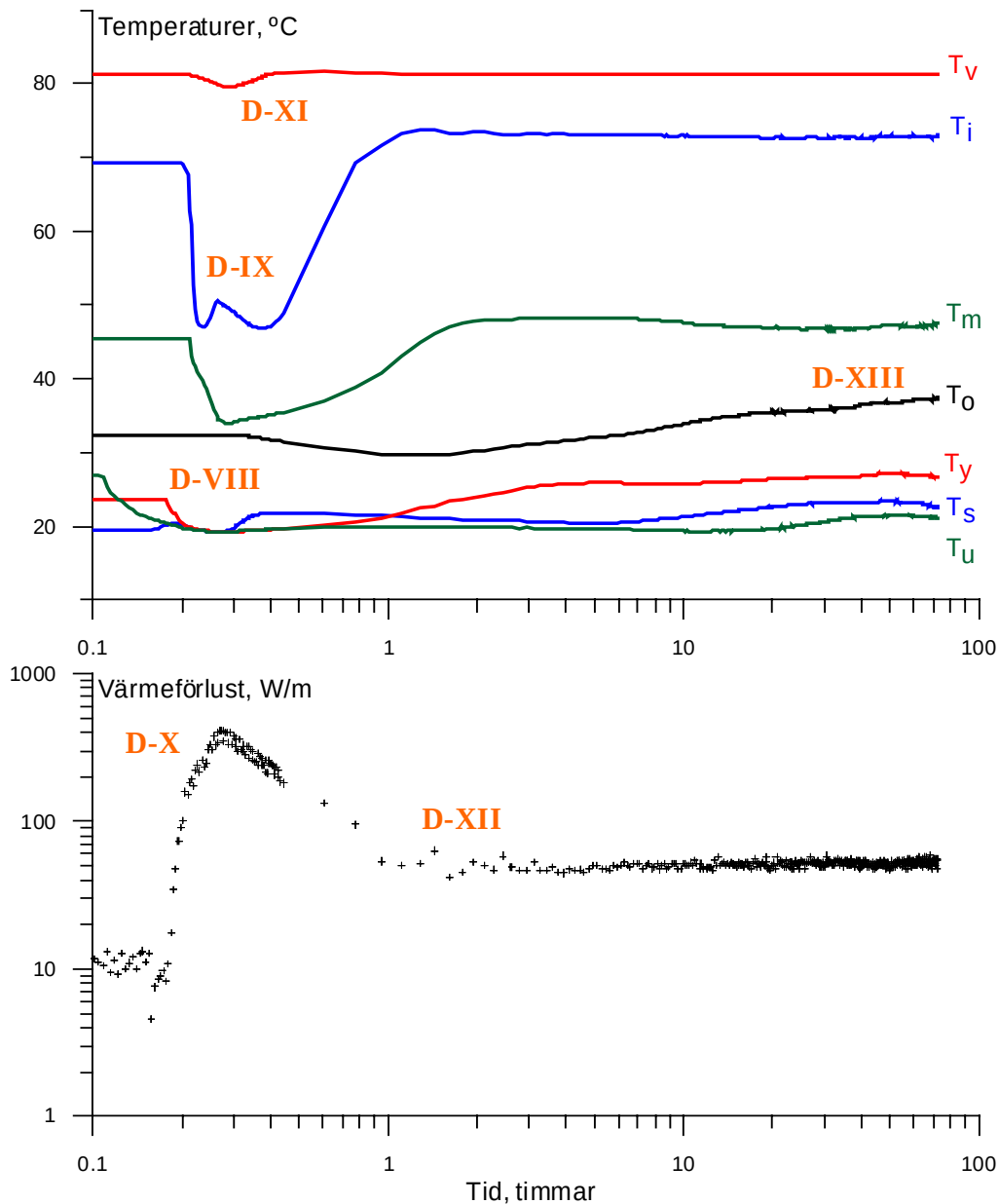
Denna skillnad är sannolikt en konsekvens av att DC 200-materialet tar upp betydligt större mängder vatten, se vidare avsnitt 4.4.3, vilket gör att det tar längre tid för fukt- och temperaturförhållanden att stabiliseras.

* Observera att samma namngivningskonvention används i detaljredovisningen i Bilaga A. Emellertid används där flera index för att särskilja temperaturer uppmätta i olika mätsnitt.

† **D-I** tom. **D-VII** refererar till Figur 4.2, **D-VIII** tom. **D-XIII** till Figur 4.3, **U-I** tom. **U-V** till Figur 4.4 samt **U-VI** tom. **U-X** till Figur 4.5.



Figur 4.2 Temperaturer och värmeförluster i DC 200-kulvert under dränkning nr 3. Kulverten ligger under vatten under hela tiden i diagrammet.
 Temperatures and heat losses in DC 200 pipe during flood period no. 3. The pipe construction is under water during the full time span of the diagram.



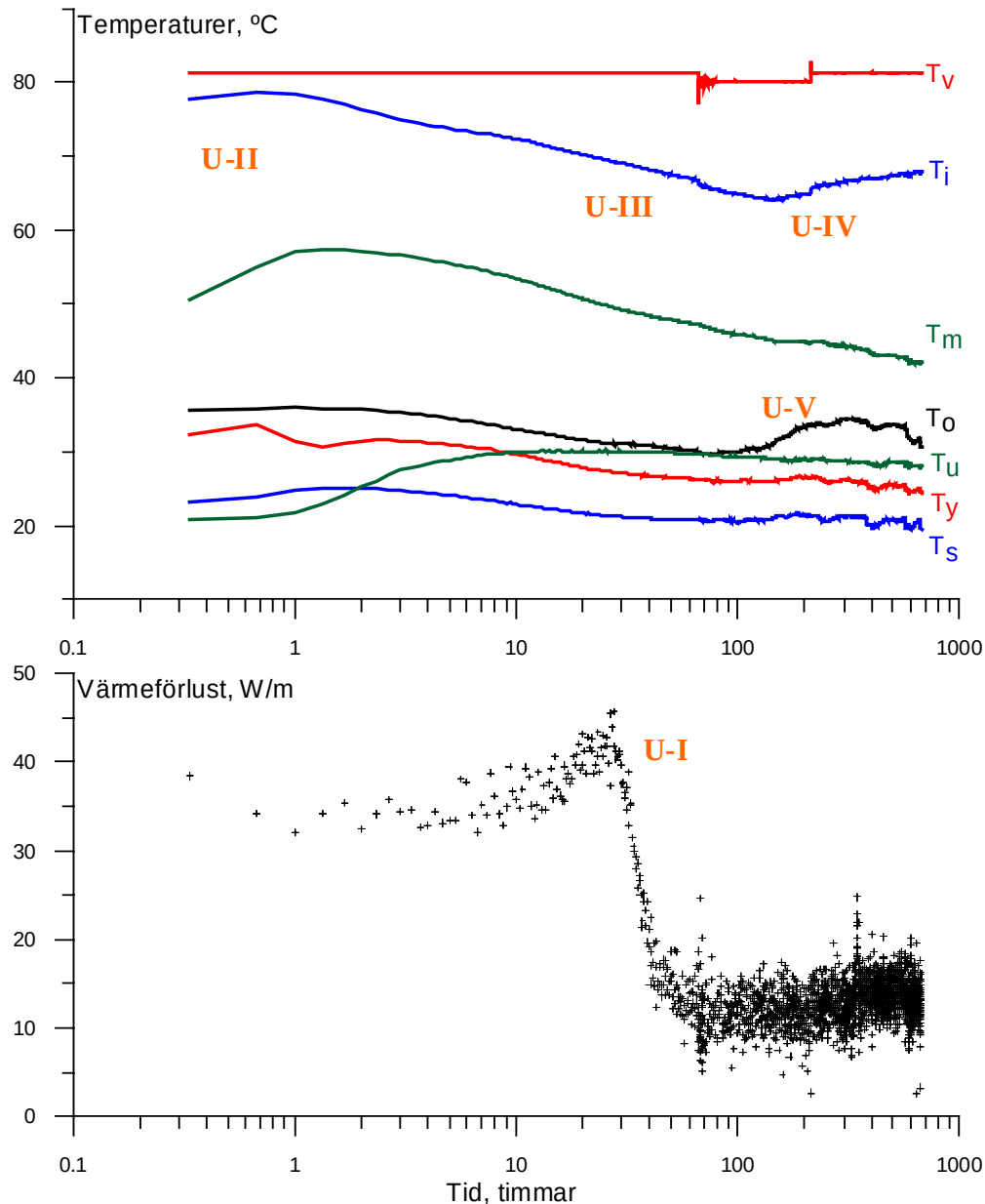
Figur 4.3 Temperaturer och värmeförluster i DC 100-kulvert under dränkning nr 3. Kulverten ligger under vatten under hela tiden i diagrammet. Temperatures and heat losses in DC 100 pipe during flood period no. 3. The pipe construction is under water during the full time span of the diagram.

4.4.2 Uttorkningsförlopp

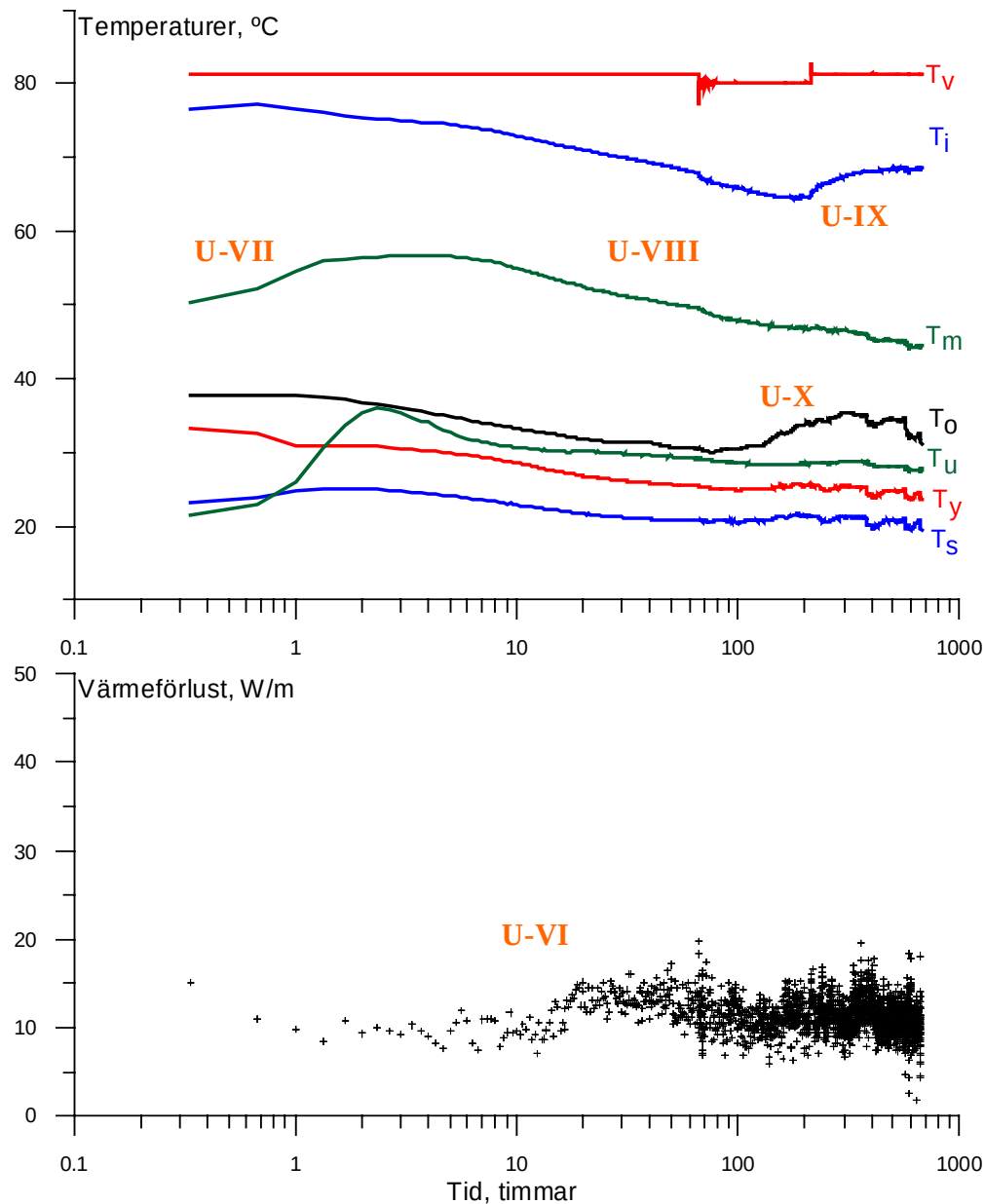
Då vattnet dräneras undan avtar värmeförlusterna kraftigt (U-1, Figur 4.4 och U-VI, Figur 4.5) och stabiliseras på en lägre nivå. Tidpunkten för detta är förskjutet ca. 30 timmar för DC 200-materialet. Om detta sker regelmässigt har inte kunnat påvisas då värmeförlustmätningarna inte fungerat tillförlitligt för DC 200-kulverten under denna period vid övriga försök.

Under den första tiden stiger temperaturerna något (**U-II** och **U-VII**), därefter vidtar en generell sänkning av hela temperaturfältet (**U-III** och **U-VIII**). Detta kan ha sin grund i att värme åtgår för att förångsa vatten som kondenserat i EPS-materialets cellstruktur.

Efter omkring 100 – 200 timmar avtar tempsäknningen vid den inre mätpunkten T_i (**U-IV** och **U-IX**) och vid kulvertarnas "tak" T_o (**U-V** och **U-X**). Detta beror sannolikt på att materialet här till största delen torkats ut.



Figur 4.4 Temperaturer och värmeförluster i DC 200-kulvert under uttorkning nr 3.
Temperatures and heat losses in DC 200 pipe during drying period no. 3.

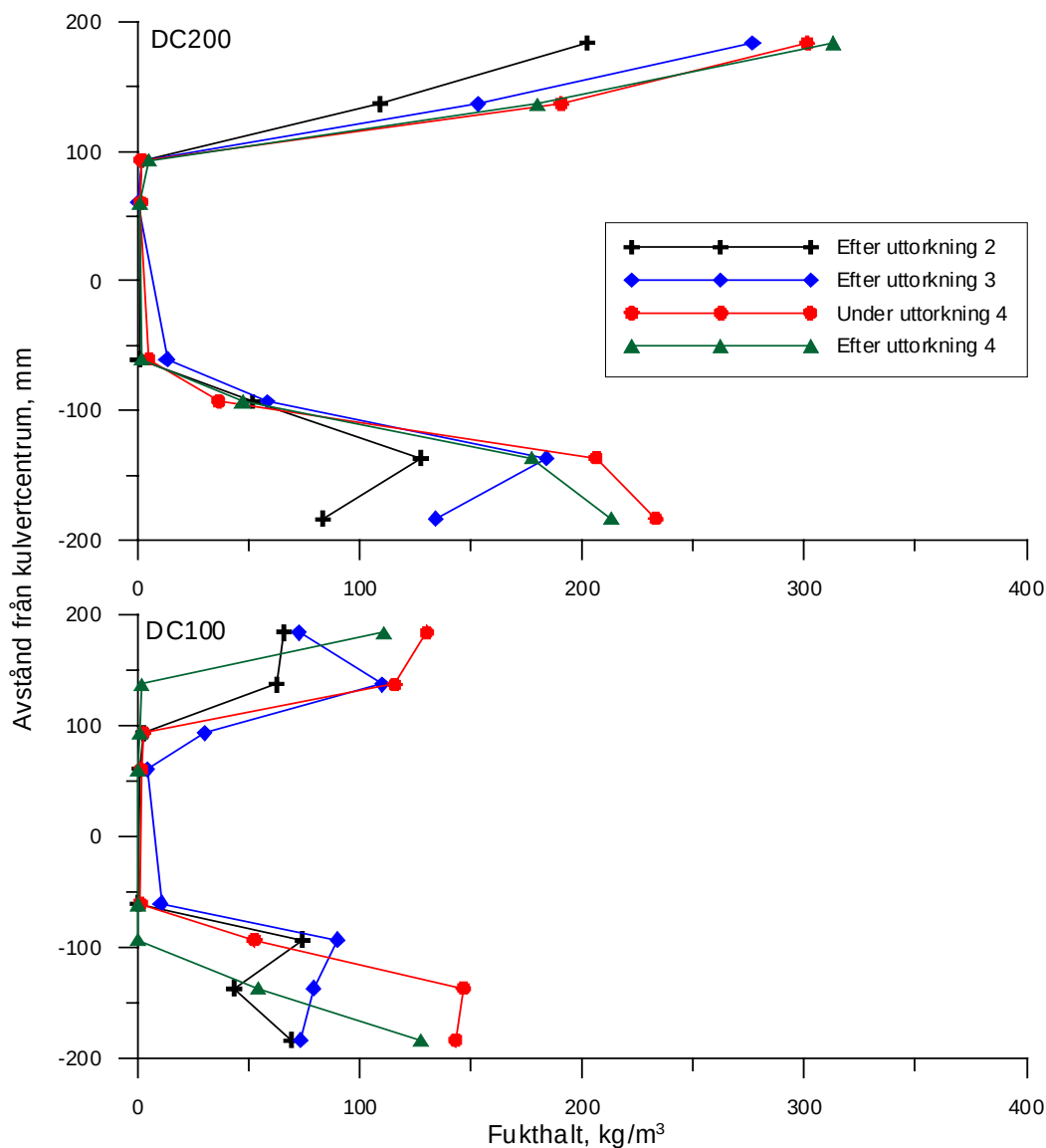


Figur 4.5 Temperaturer och värmeförluster i DC 100-kulvert under uttorkning nr 3.
Temperatures and heat losses in DC 100 pipe during drying period no. 3.

4.4.3 Fukthalt i EPS-isolering

I Figur 4.6 visas uppmätta fukthalter som funktion av respektive provkropps avstånd från kulvertens centrum*. Det är uppenbart att fukthalten i EPS-materialet ökar efter varje upprepad dränkingsperiod.

* Negativa värden på x-axeln betyder att provet är taget nedanför kulvertens centrumlinje, se Figur 3.8 avseende förklaring kring hur provkropparna togs.



Figur 4.6 Uppmätta fukthalter i EPS-material. Positiva värden på den vertikala axeln indikerar provkroppar tagna ovanför kulvertens centrumlinje.
Measured moisture content in EPS material. Positive values on the vertical axis indicate samples taken from above the centre line.

Den förlängda uttorkningsperioden efter försök nr 4 har betydligt större effekt hos det lättare DC 100-materialet, som torkar ut betydligt under den sista månaden. Det går tydligen väsentligt långsammare att torka ut DC 200-materialet.

För DC 200-materialet är det tydligt att fukthalten är större vid kulvertens ovansida än vid golvet. Detta kan vara en konsekvens av att taket är täckt med ångtät polyetenfolie som i viss mån hindrar borttransport av fukt.

4.5 UTVÄRDERING AV ISOLERINGSFÖRMÅGA

Det primära syftet med de genomförda försöken har varit att studera hur värmeförlusterna genom kulvertkonstruktionen påverkas av de upprepade vattendränkningarna. Värmeförlusterna är dock svåra att mäta; Temperaturfallet i medievattnet, som bestämningen baseras på, är i storleksordningen hundradels grader och spridningen i mätningarna är

betydande, se Bilaga B, sidan 39. Dessutom har mätutrustningen periodvis fungerat dåligt. De perioder då tillförlitliga mätningar finns har markerats med glidande medelvärdesbildningar i diagrammen i Bilaga B. Det är inte möjligt att utifrån dessa dra några starka slutsatser om värmeförlusterna.

Vad som däremot är uppmätt med stor precision är temperaturskillnaden mellan medievattnet och den inre mätpunkten, $T_v - T_i$. Att döma av såväl tryckhållfasthetsmätningarna före och efter försöken (Figur 4.1, sidan 13) som av fukthaltsmätningarna (Figur 4.6, sidan 20) förefaller EPS-materialet närmast medierören vara i det närmaste opåverkat genom försöken. Det är därför rimligt att anta att dess värmeledningsförmåga är konstant. Vid stationära förhållanden – som här antas vara uppnådda i slutet av uttorkningsperioderna – är då temperaturdifferensen över det innersta materialskiktet ett direkt mått på värmeflödet Q genom konstruktionen:

$$Q = \frac{T_w - T_i}{R_i} \quad (4.2)$$

Där R_i , värmemotståndet genom skiktet, är omvänt proportionellt mot materialets λ -värde*. Det går fortfarande inte att säga något om värmeförlusternas absoluta nivå†, men en klar bild av deras relativa utveckling kan erhållas.

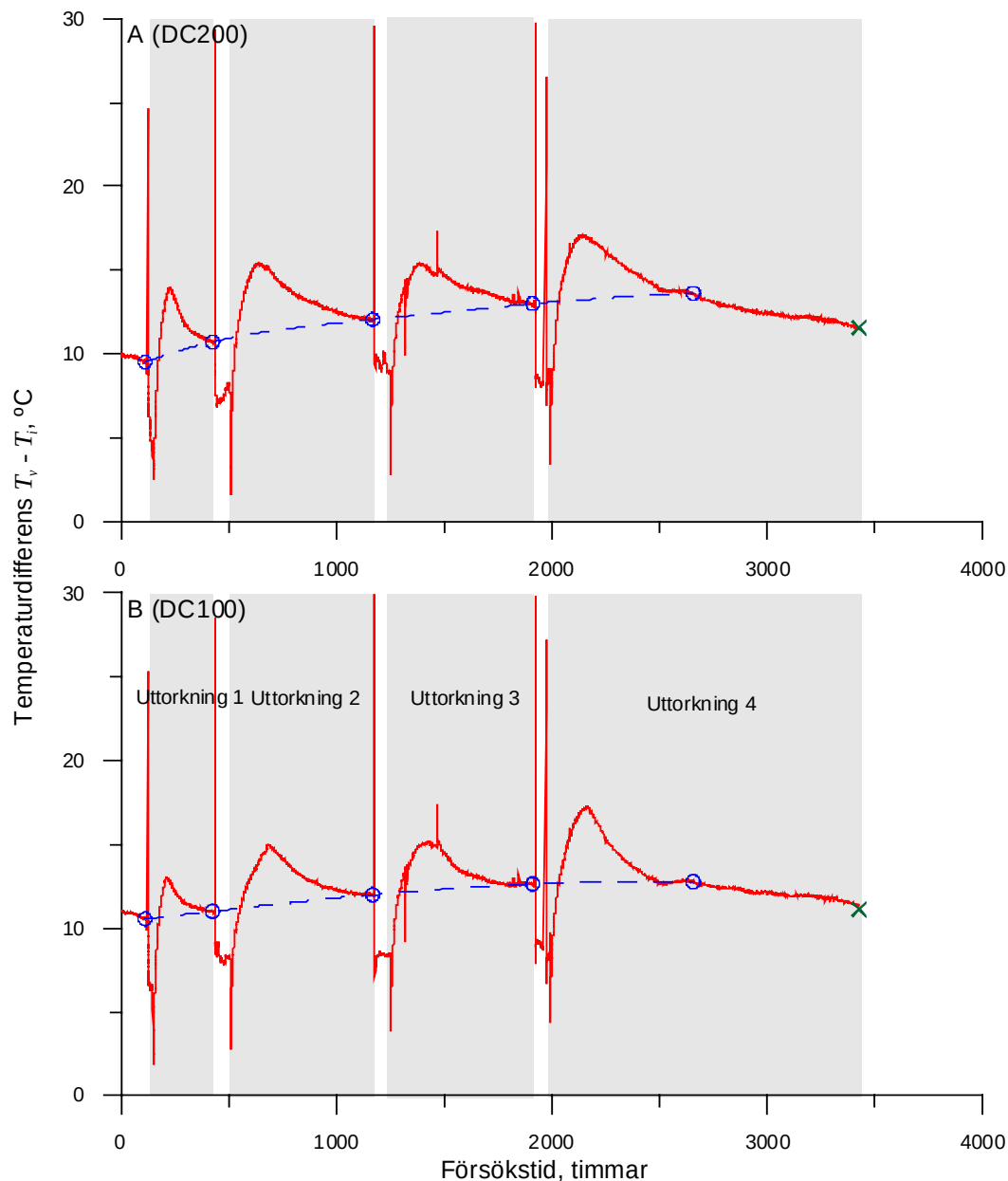
De uppmätta temperaturdifferenserna visas i Figur 4.7. Uppenbarligen ökar värmeförlusterna något efter varje upprepat försök, såsom indikeras av de streckade linjerna. Ökningstakten avtar emellertid. Sannolikt är detta en konsekvens av att EPS-materialet mätas med fukt. Den avtagande ökningstakten är tydligast i det lättare DC 100-materialet, som ju tar upp mindre fuktmängder. Efter den förlängda uttorkningsperioden 4 återhämtar sig kulvertarna och värmeförlusterna minskar. Den procentuella ökningen av värmeförlusterna visas i Tabell 4.5.

Tabell 4.5 *Värmeförlusternas utveckling under försöksserien.*
Development of heat losses during test series.

Antal försöks- perioder	Värmeförlustökning, %	
	DC 200	DC 100
0	0	0
1	13	4
2	27	14
3	37	20
4	43	21
4 (förlängd)	22	6

* Noga räknat är värmemotståndet R_i omvänt proportionellt mot summan av ett bidrag från PEX-röret och ett bidrag från EPS-materialet.

† Försökssupställning skiljer sig avsevärt från ett verkligt fall och ett bättre mått på värmeförlusternas absoluta nivå skulle ändå vara svårt att omsätta i praktiken.



Figur 4.7 Temperaturdifferenser mellan medievatten och innersta mätpunkten.
Temperature difference between medium water and innermost measuring point.

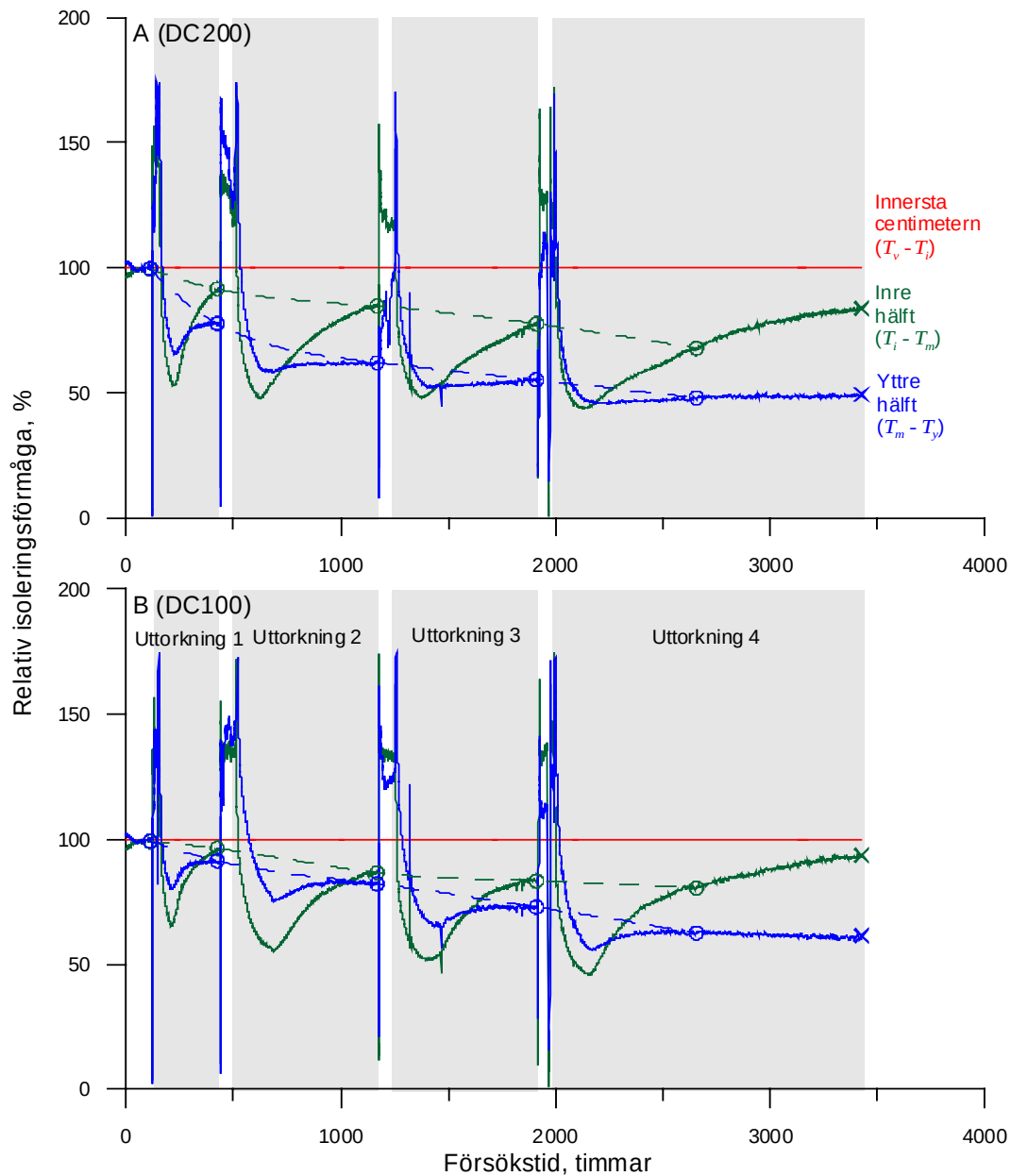
Resonemanget om konstant värmemotstånd genom det innersta skiktet kan användas för att uppskatta isoleringsförmågens utveckling längre ut i det fuktiga EPS-materialet. Om man tänker sig isoleringstjockleken uppdelad i tre skikt*, avgränsade av medieröret och de tre temperaturmätpunkterna T_i , T_m och $T_y^\dagger$, gäller vid stationära förhållanden att värmeflödena genom skikten är samma:

$$Q = \frac{T_w - T_i}{R_i} = \frac{T_i - T_m}{R_m} = \frac{T_m - T_y}{R_y} \quad (4.3)$$

* De tre skikten benämns i det följande "innersta centimetern", "inre hälften" samt "yttre hälften".

† Mätpunkterna är placerade 10 mm, 100 mm respektive 190 mm från kulvertcentrum.

Där R_m och R_y är värmemotstånden för inre respektive yttre hälften. Då R_i antas vara konstant kan de övriga värmemotstånden uttryckas som temperaturdifferenskvoter, och den relativa utvecklingen av dessa kan bestämmas utan att vare sig Q eller R_i är kända, Figur 4.8.

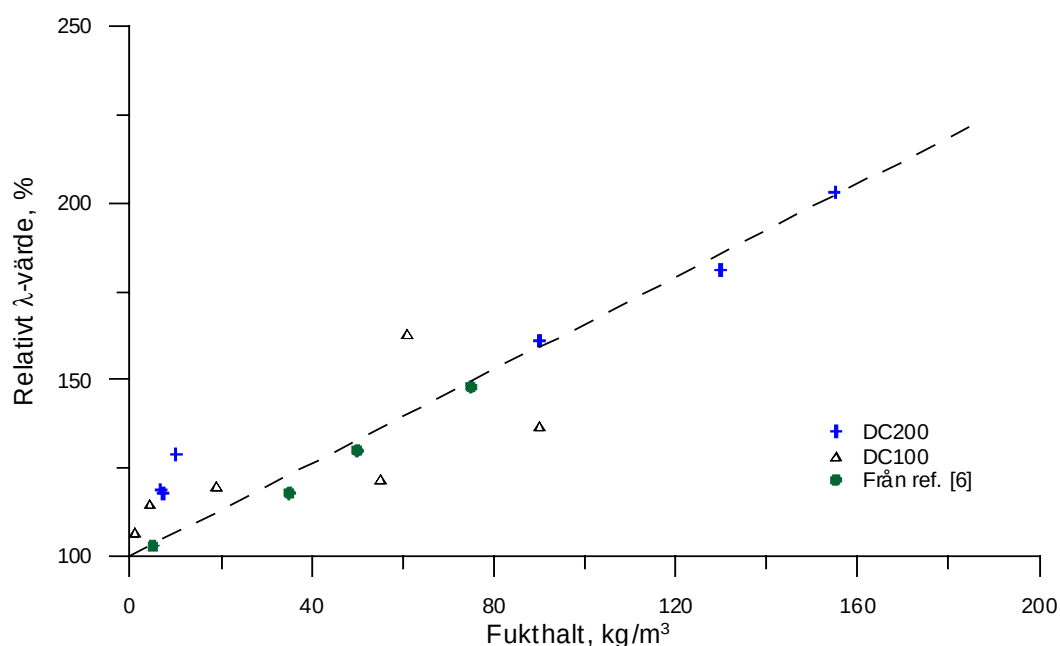


Figur 4.8 Isoleringsförmåga (värmemotstånd) normaliserad mot ursprungligt värde.
Insulation capacity (thermal resistance) normalized with respect to original value.

Den yttre hälften av isoleringen försämras i stadig takt vid varje upprepad försöksomgång. Efter avslutat försök är isoleringsförmågan omkring 50 – 60 % av den ursprungliga. Detta är förvisso väntat, då materialen tagit upp flera gånger sin egen vikt med vatten, Figur 4.6 sidan 20.

Den inre materialhälften försämras på liknande sätt, om än inte i lika hög grad. Detta svarar också mot att fuktupptagningen längre in i kulverten är betydligt mindre. Dessutom kan en tydlig återhämtning ses under uttorkningsperioderna, vilket sannolikt är en konsekvens av att materialet gradvis torkar ut under tiden.

För såväl inre som yttre materialhäft är försämringen större hos DC 200-materialet. Detta korresponderar mot att fuktupptagningen är nära nog den dubbla i det tyngre materialet och är också anledningen till att ökningstakten för DC 200 enligt Tabell 4.5 är så mycket större.



Figur 4.9 Samband mellan EPS-materialets fukthalt och den relativa ökningen av λ -värdet.

Relation between moisture content and relative increase of λ -value for EPS.

Isoleringsförmågan, eller värmemotståndet, är omvänt proportionell mot EPS-materialets λ -värde. Baserat på resultaten ovan och fukthaltsmätningarna i Figur 4.6, sidan 20, kan en skattning göras av hur λ -värdet påverkas av fukthalten, Figur 4.9. Diagrammet inkluderar även mätningar av Jonsson på vägisolering av EPS [6]. Det tycks finnas ett tämligen entydigt förhållande mellan fukthalten och ökningen i värmeledningsförmåga som torde kunna användas för en beräkningsmässig utvärdering av konstruktionens fuktkänslighet vad gäller isoleringsförmåga.

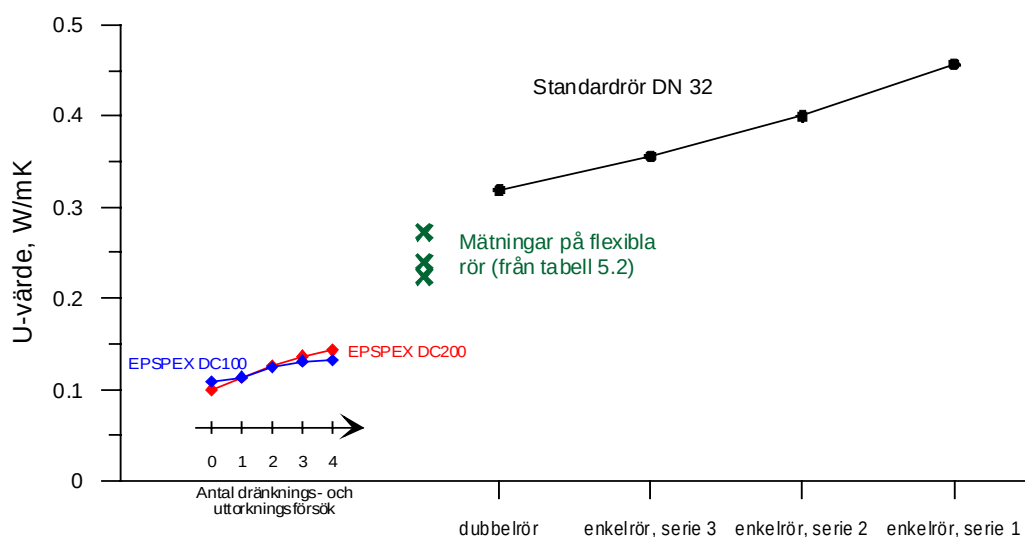
4.5.1 Jämförelse med konventionella rörtyper

Värmeförlusterna såsom de presenteras i Tabell 4.5, sidan 21, är inte direkt överförbara till ett verkligt fall. För att möjliggöra en jämförelse mot andra rörtyper används därför beräknade värmeförluster enligt Gudmundson [2]. För en DC 200-kulvert med samma geometri som under föreliggande försök anges värmeförlusterna till 7,6 W/m. Beräkningsförutsättningarna var fram- och returtemperaturer 80 °C respektive 45 °C och en omgivningstemperatur på +6 °C. Detta ger ett U-värde* på 0,1 W/mK. Under stabila perioder då kulverten står under vatten har värmeförlusterna under försöken ökat med en faktor omkring 7, motsvarande ett U-värde på 0,7 W/mK. Man bör dock notera att vid ett verkligt fall kan tillförsel av kallt markvatten ske kontinuerligt och värmeförlusterna

* U-värdet är en värmegenomgångskoefficient som anger värmeflödet genom konstruktionen dividerad med temperaturfallet över densamma.

kan öka mångdubbelt ytterligare, jämför punkt **D-III** i Figur 4.2 och punkt **D-X** i Figur 4.3.

I Figur 4.10 visas en jämförelse mot konventionella rörtyper* enligt beräkningar av Jarfelt [5]. U-värdena för EPSPEX-kulvertarna har räknats upp efter den procentuella tillväxten i Tabell 4.5. Värdena för DC 100-materialet har skalats i proportion mot det nominella λ -värdesförhållandet enligt Tabell 3.1, sidan 5.



Figur 4.10 Värmegenomgångskoefficienter för EPSPEX-kulvertar och konventionella enkel- och dubbelrör med medierör av stål.
Thermal transmittances for EPSPEX pipes and conventional single and twin pipes with steel medium pipes.

Trots den stadiga ökningen ligger värmeförlusterna från EPSPEX-kulverten väsentligt lägre än från konventionella rör. Det bör dock observeras att värmeförlusterna enligt ovan är beräknade för helt torra förhållanden och dessa har inte validerats av storskaliga mätningar. I [2] redovisas mätningar på en 22 m lång ledningssträcka som stämmer relativt väl överens med beräkningarna och ett större mätprojekt pågår i detta nu vid en anläggning i Värnamo.

Chalmers och SP utförde 1998 på uppdrag av Svensk Fjärrvärme en bestämning av U-värdet på tre olika typer av flexibla rörsystem [13], Tabell 4.6 och Figur 4.10. Mätningarna är gjorda i rumsluft, i huvudsak enligt standardmetoden för bestämning av värmeledningsförmåga i fjärrvärmerör.

Tabell 4.6 Uppmätta värmegenomgångskoefficienter vid medeltemperaturen +50 °C för flexibla fjärrvärmerör.
Measured thermal transmittances at average temperature +50 °C for flexible district heating pipes.

Material	Medie-/mantelrörsdiameter mm	U-värde W/mK
PEX/PUR	50/110	0,240
Koppar/fiberull	54/186	0,224

* Som jämförelse används DN 32, då denna dimension innerdiametermässigt ligger närmast PEX 40.

PEX/flexibel cellplast	50/160	0,273
------------------------	--------	-------

På senare år har isoleringsmässigt effektivare PUR utvecklats, med en isoleringsförmåga omkring 10 % bättre än ”vanligt” skum [8]. Om sådant skum används i traditionella rörtyper sjunker också U-värdet i motsvarande grad.

5 Slutsatser

Det är uppenbart att EPSPEX-kulvertens funktion påverkas i negativ riktning då den utsätts för vattendränkning, främst genom att isoleringsförmågan avtar. Detta förefaller dock inte vara kritiskt med avseende på användbarheten, men de ökade värmeförlusterna måste värderas i ekonomiska och miljömässiga termer i varje enskilt fall.

Efter varje upprepad dränkning och efterföljande uttorkningsperiod ökar värmeförlusterna från EPSPEX-kulverten. Ökningstakten är emellertid avtagande. Dessutom har uttorkningsperioderna inte varit tillräckligt långa för att uppnå ett sluttillstånd. Försöken har efterliknat ett fall där översvämningar inträffar med en månads mellanrum. I realiteten inträffar sådana mera sällan och försämringstakten blir då lägre än vad som anges i Tabell 4.5, sidan 21. Det står dock klart att värmeförlusterna blir väsentligt större under en dränkning och några månader därefter. Alla försök har genomförts med medietemperaturen 80 °C. I ett sekundärt nät kan detta uppfattas som en hög medeltemperatur. Vid en lägre framledningstemperatur skulle mönstret bli det samma, men såväl fuktupptagning som uttorkning skulle sannolikt ske i långsammare takt.

Ingen kritisk försämring av EPS-materialens mekaniska egenskaper kan ses som en konsekvens av dränkingsförsöken. Efter avslutade försök hade tryckhållfastheten minskat med i storleksordningen 10 %. Däremot konstaterades en tydlig uppmjukning; Elasticitetsmodulen fanns vara omkring 30 % lägre än hos de ”ostörda” materialen.

EPS är betydligt mer genomsläppligt för vatten än vad de flesta intuitivt föreställer sig. Cellplasten utgör praktiskt taget ingen barriär för flytande vatten. Ur fuktteknisk synvinkel är det således av tveksam nytta att limma ihop kulvertsegmenten vid installation; Finns det vatten i marken tar det sig in under alla omständigheter. Sålunda är det inte heller givet att plastfolien som läggs på kulvertens tak har en positiv inverkan. Den skyddar förvisso kulverten mot infiltrerande vatten från markytan men kan, å andra sidan, göra att det tar längre tid för EPS-materialet att torka ut om den vattenfyllets efter en dränkning.

De båda densitetsklasserna DC 200 (30 kg/m³) och DC 100 (20 kg/m³) uppvisar väsentliga fukttekniska skillnader. Något överraskande är det tyngre materialet mer genomsläppligt för vatten – dess permeabilitet är ca 8 gånger större än DC 100-materialets. Dessutom tar DC 200 upp betydligt större mängder fukt: nästan dubbelt så mycket, räknat i kg vatten per kubikmeter cellplast. Detta är sannolikt anledningen till att det tyngre materialet isoleringsmässigt försämras snabbare och återhämtar sig långsammare än den lättare varianten.

Försöken har efterliknat ett fall med tätt förekommande, relativt kortvariga, översvämningar. Inga studier har således gjorts av sluttillstånden – vare sig under långvarig dränkning eller under långvarig uttorkning. Dessutom har inga undersökningar gjorts av hur förloppen påverkas av lägre och/eller varierande temperaturnivåer. Sådana studier skulle dock kunna göras beräkningsmässigt med en bättre teoretisk förståelse för de processer som styr fukt- och värmetekniska processer i EPS under höga temperaturer och fukthalter. I konstruktionen finns möjlighet för markvatten att strömma utefter medierören i kanalerna i EPS-blocken. Detta har inte studerats i föreliggande projekt, men kan ha betydelse för systemets värmeförluster.

6 Referenser

1. DOROCCELL AB, <http://www.dorocell.se/dorocell/eps.htm>, 2002.
2. GUDMUNDSSON, T., *Ny kulvert för närvärmedistribution, utveckling utförande uppföljning (arbetsnamn)*, Svensk Fjärrvärme, FoU-uppdrag nr V-003, rapport under utarbetande, 2002.
3. HAGENTOFT, C.-E., *Introduction to building physics*, Studentlitteratur, Lund, 2001.
4. HOHWILLER, F., Expandable Polystyrene (EPS), *Kunststoffe*, **89**(10), 1999.
5. JARFELT, U., *Jämförelse mellan dubbel- och enkelrör*, Svensk Fjärrvärme, FoU 2002:79.
6. JONSSON, B., *Tjälisolering i vägar – Värme- och fuktteknisk funktion*, SP, Rapport 1993:16.
7. MEHTA, S., BIEDERMAN, S. & SHIVKUMAR, S., Thermal degradation of foamed polystyrene, *Journal of Materials Science*, **30**, s. 2944-2949, 1995.
8. NIELSEN, M. H., Store besparingsmuligheter på stikledningar, *Fjernvarmen*, nr 6/7, 2003.
9. NORMANDIN, N., m. fl., *In-situ Performance Evaluation of Exterior Insulation Basement System (EIBS) – EPS Specimens*, National Research Council Canada, A-3132.1, 1999.
10. PLASTICS NEW ZEALAND, <http://www.plastics.org.nz/eps/index.htm>, 2003.
11. SMIDT, H. & DAUGAARD, J., Long-term insulating properties of pre-insulated district heating pipes, *Euroheat & Power – Fernwärme International*, nr 4, 1997.
12. SUH, K. W., Polystyrene and Structural Foam, i: Klempner, D. och Frisch, K. C., *Polymeric Foams*, Carl Hanser Verlag, 1991.
13. SVENSK FJÄRRVÄRME, Bestämning av isoleringsförmågan hos flexibla fjärrvärmerör, *Provningsrapport 98H24356 från SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut och Chalmers tekniska högskola*, 1998.
14. SVENSK STANDARD SS 16 95 24, *Cellplast – Tryckprovning av hårda material*, 1983.
15. THOMPSETT, D. J., m. fl., Design and construction of expanded polystyrene embankments – Practical design methods as used in the United Kingdom, *Construction and Building Materials*, **9**(6), 1995.

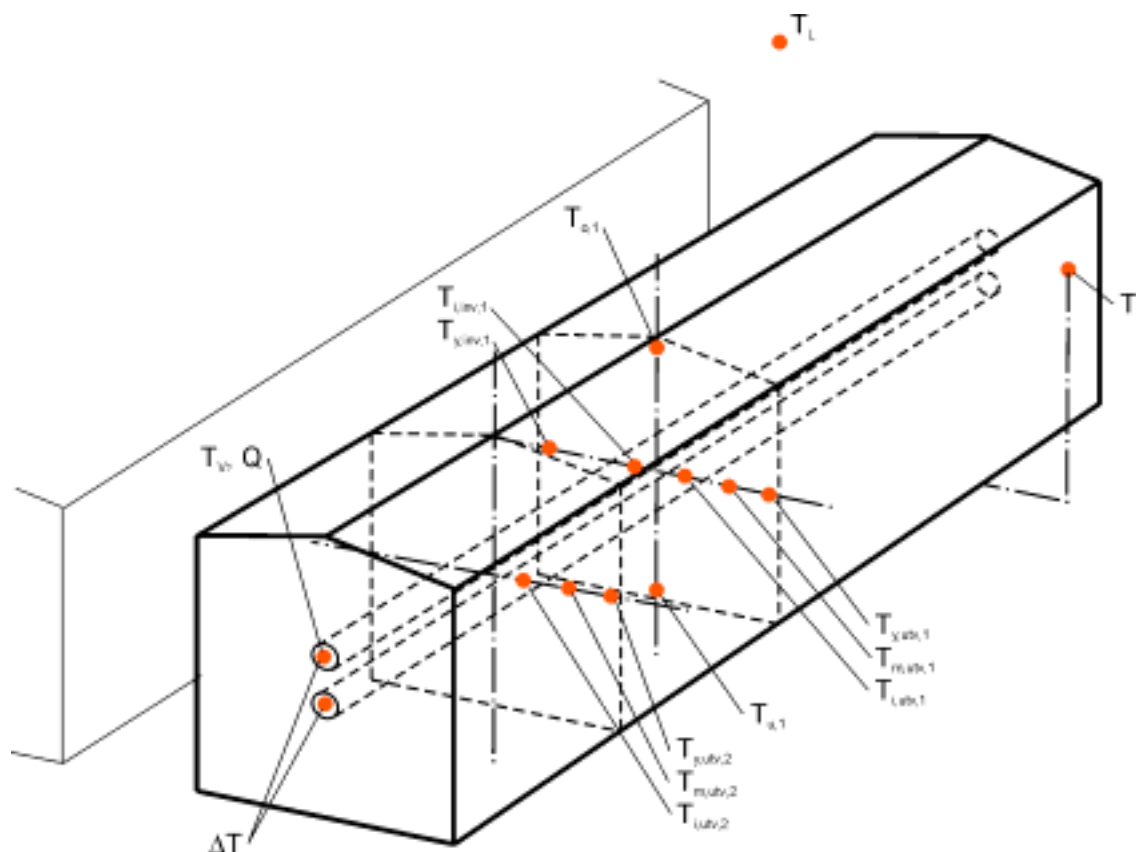
Bilaga A – Mätresultat

I det följande redovisas samtliga mätresultat från dränknings- och uttorkningsförsöken. Tre diagram visas för respektive kulvert för varje dränkning och följande uttorkning. Mätpunkternas benämning och placering visas i figuren nedan.

Försöksomgång	DC 200	DC 100
	<i>Finns på sidan</i>	
1	31	35
2	32	36
3	33	37
4	34	38

Den blåmarkerade tidsperioden i diagrammen på de följande sidorna indikerar när kulvertarna stått under vatten.

Observera att temperaturfallsmätningarna, det vill säga skillnaden mellan fram- och returtemperatur, endast redovisas under de tidsperioder då mätningen fungerat tillfredsställande.



Omgivningstemperaturer:

- T_L Den omgivande luften
- T_S Kringfyllningen
- T_V Medievattnet

Bilaga A – Mätresultat

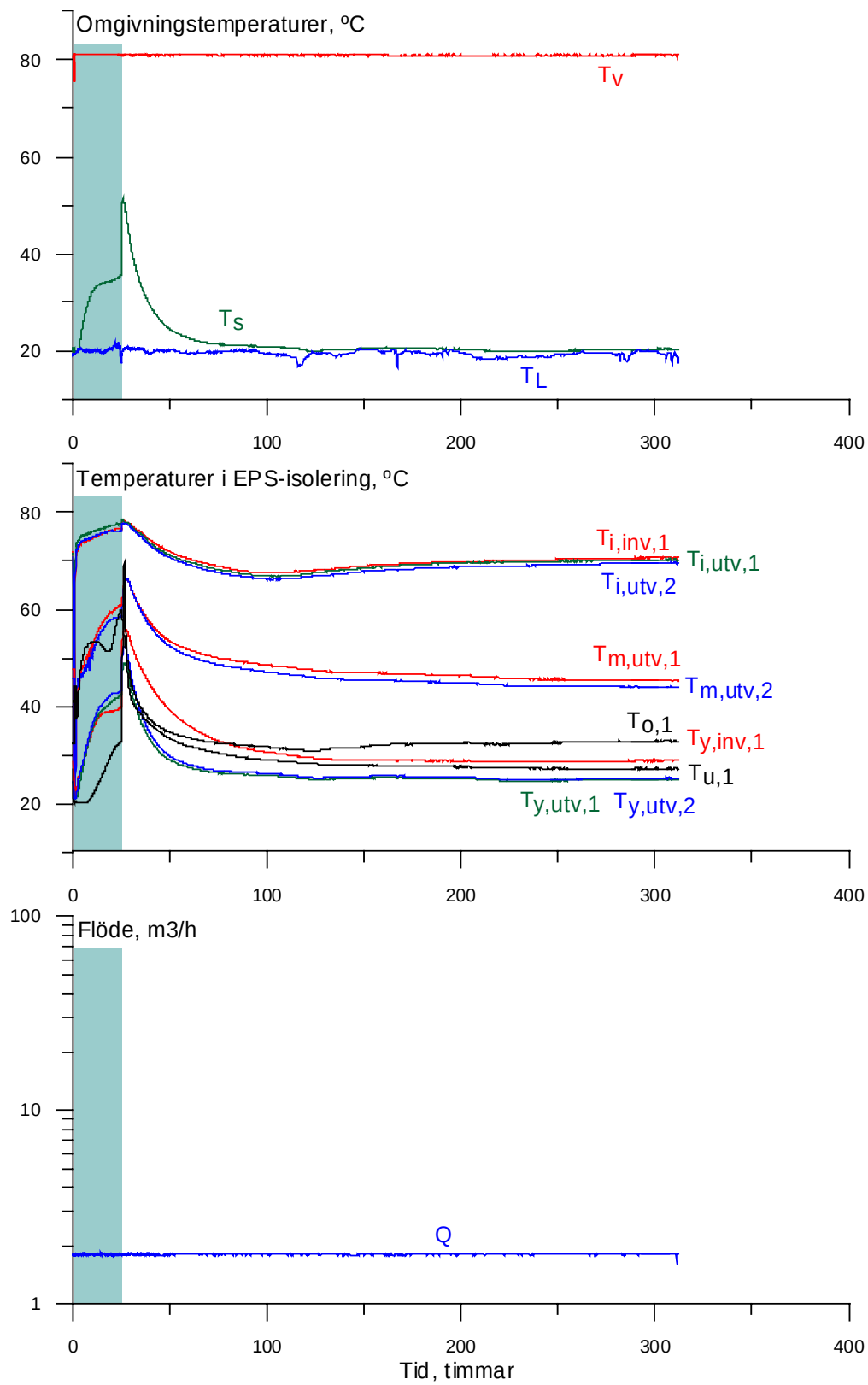
Temperaturer i EPS-isolering:

- $T_{o,1}$ Nära taket i mittnitt
- $T_{u,1}$ Nära golvet i mittnitt
- $T_{i,inv,1}$ Nära medierören i mittnitt på sidan som vetter mot grannkulvert
- $T_{y,inv,1}$ Nära ytterväggen i mittnitt på sidan som vetter mot grannkulvert
- $T_{i,utv,1}$ Nära medierören i mittnitt på sidan som vetter från grannkulvert
- $T_{m,utv,1}$ Mitt i isoleringen i mittnitt på sidan som vetter från grannkulvert
- $T_{y,utv,1}$ Nära ytterväggen i mittnitt på sidan som vetter från grannkulvert
- $T_{i,utv,2}$ Nära medierören i fjärdedelssnitt på sidan som vetter från grannkulvert
- $T_{m,utv,2}$ Mitt i isoleringen i fjärdedelssnitt på sidan som vetter från grannkulvert
- $T_{y,utv,2}$ Nära ytterväggen i fjärdedelssnitt på sidan som vetter från grannkulvert

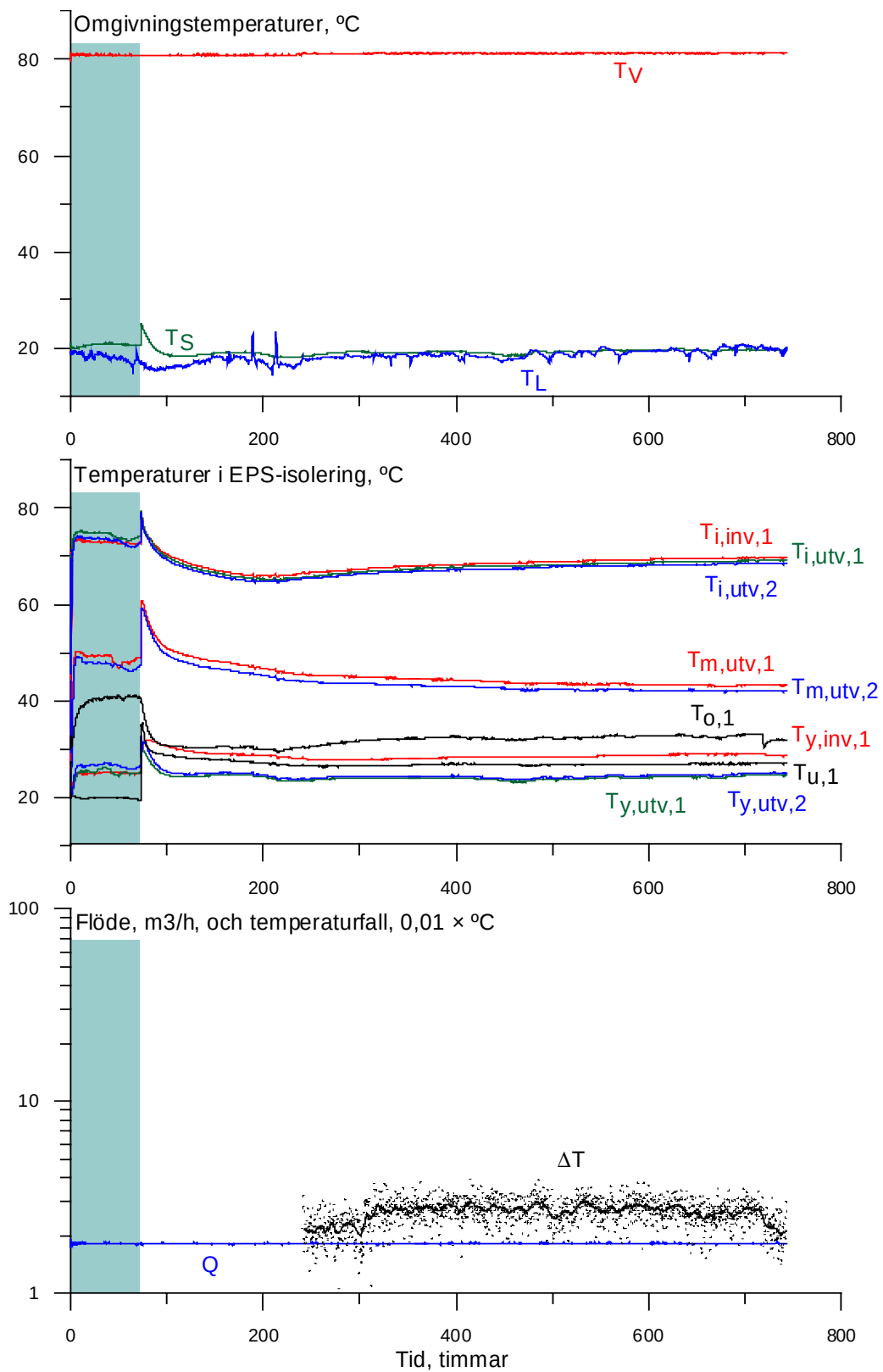
Övrigt:

- Q Medievattnets flöde
- ΔT Temperaturdifferens mellan framledning och returledning

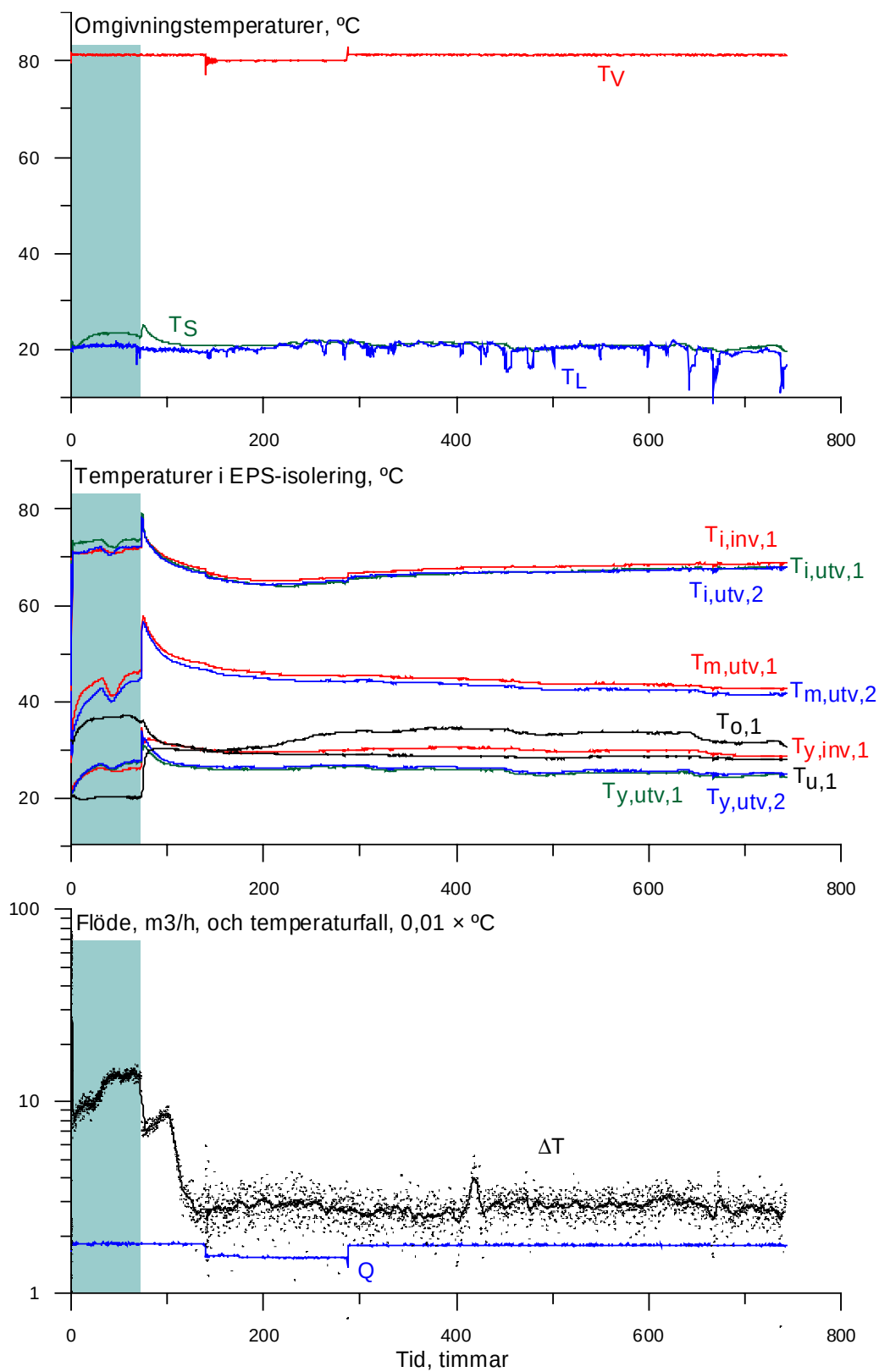
DC 200 – Period 1: dränkning 1 dygn + uttorkning 12 dygn



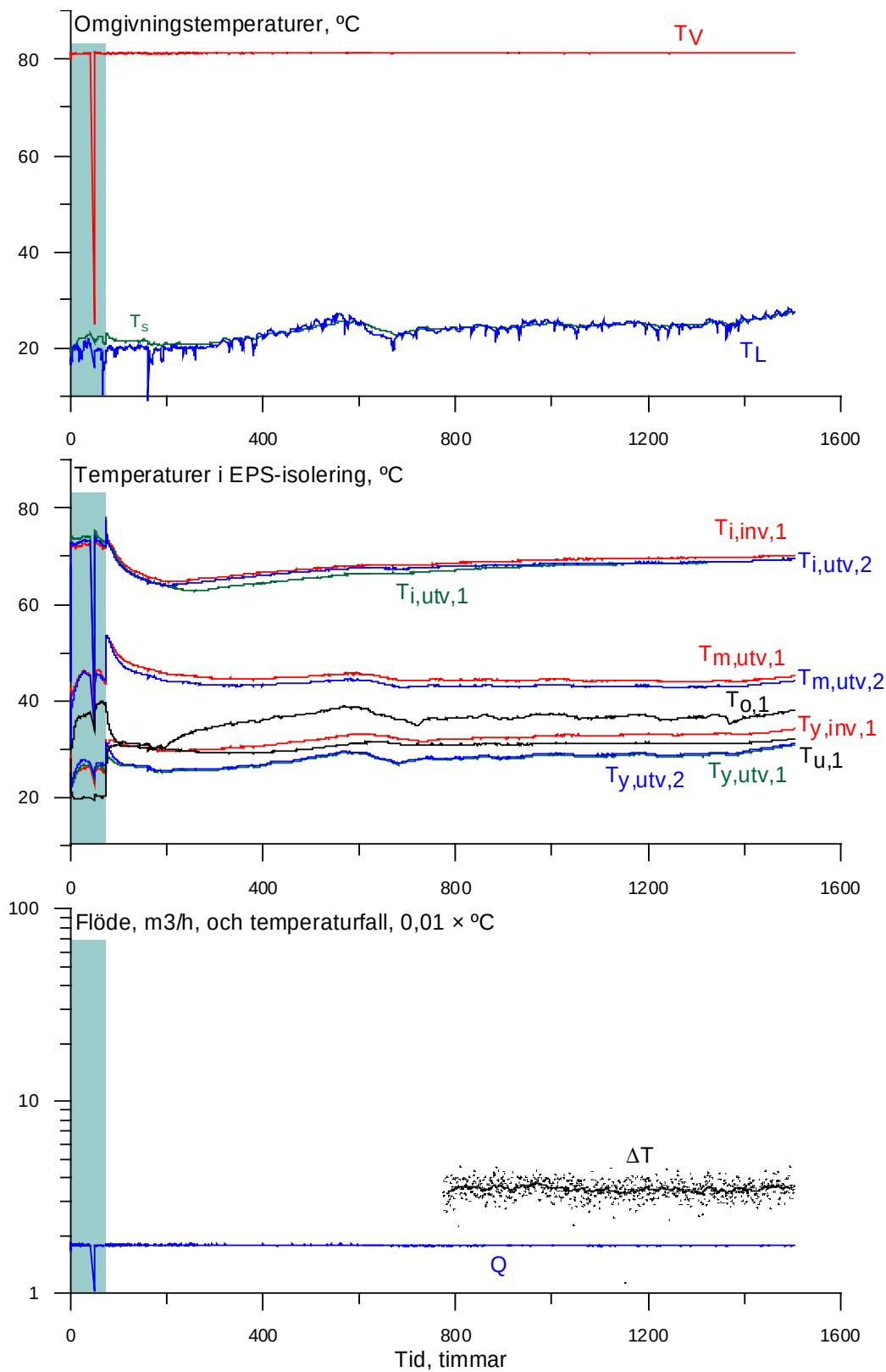
DC 200 – Period 2: dränkning 2 dygn + uttorkning 28 dygn



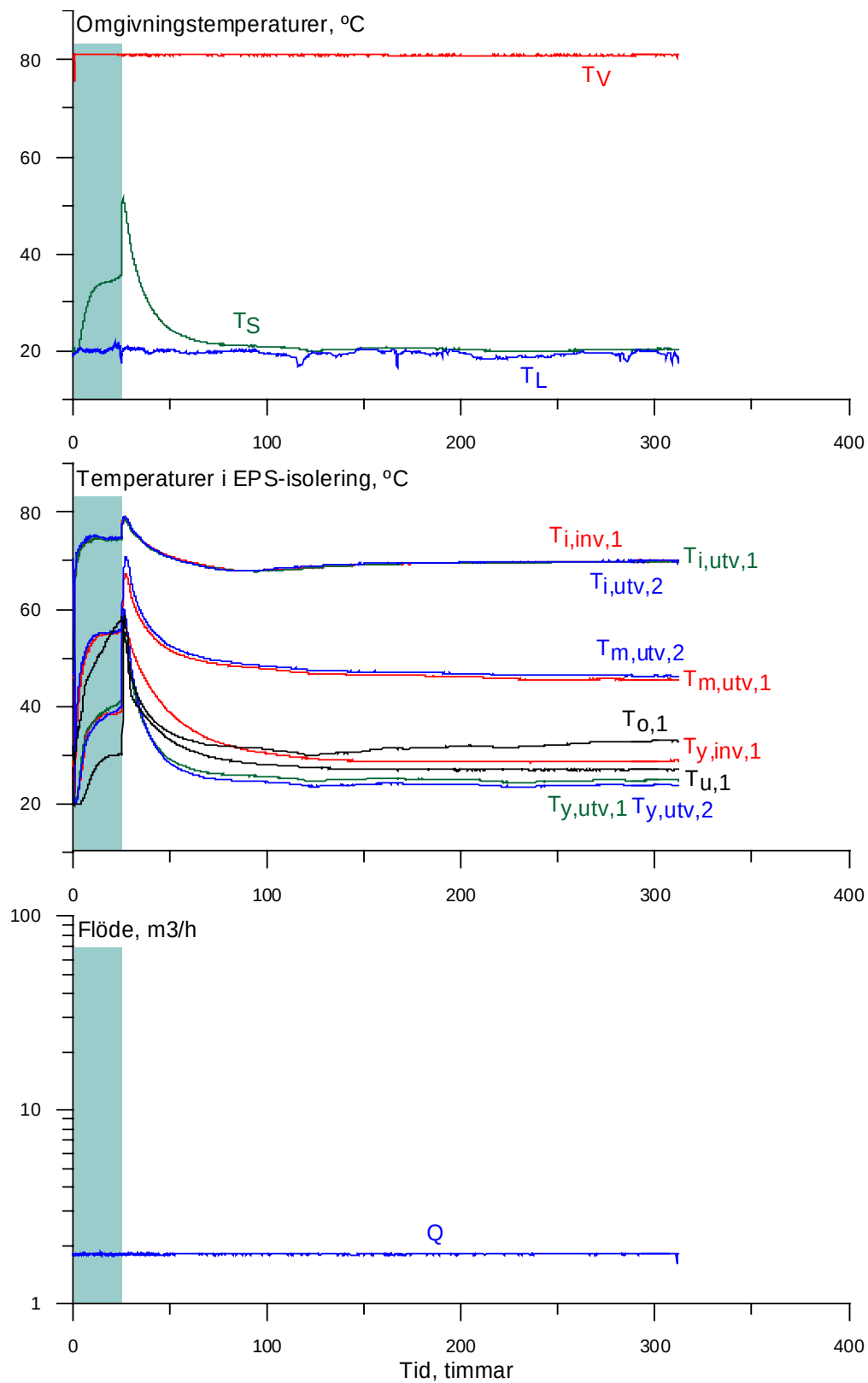
DC 200 – Period 3: dränkning 3 dygn + uttorkning 28 dygn



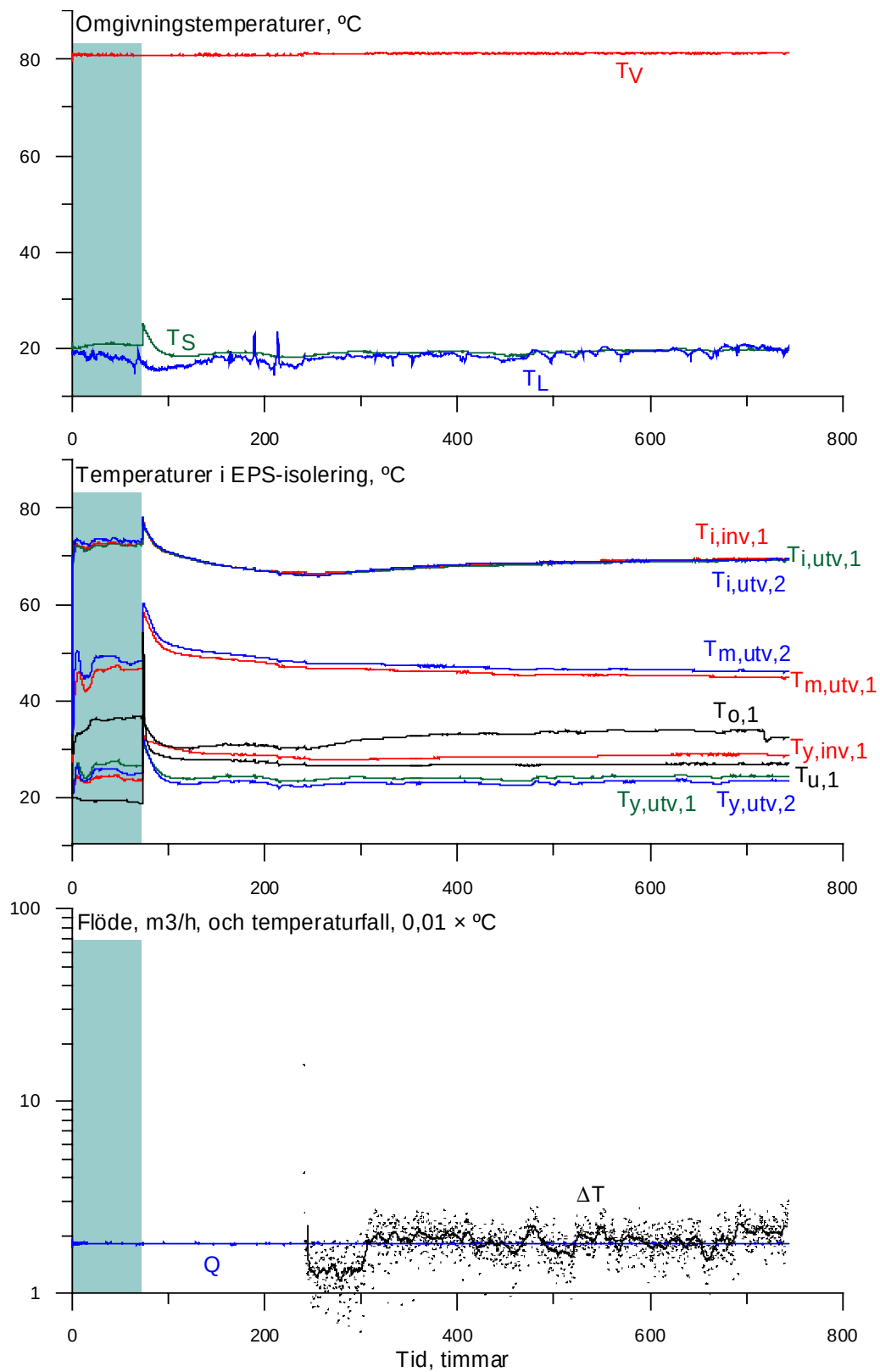
DC 200 – Period 4: dränkning 3 dygn + uttorkning 56 dygn



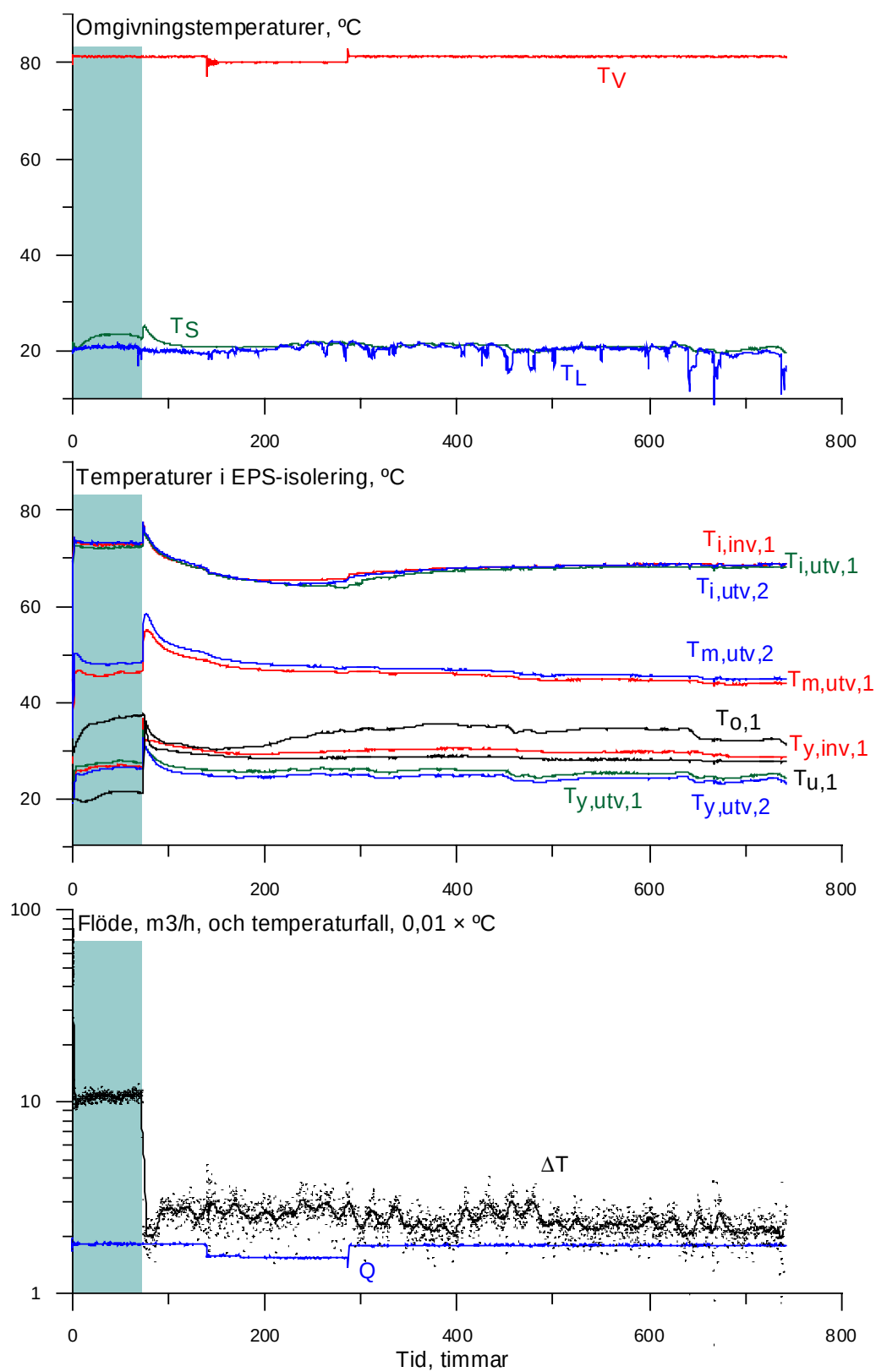
DC 100 – Period 1: dränkning 1 dygn + uttorkning 12 dygn



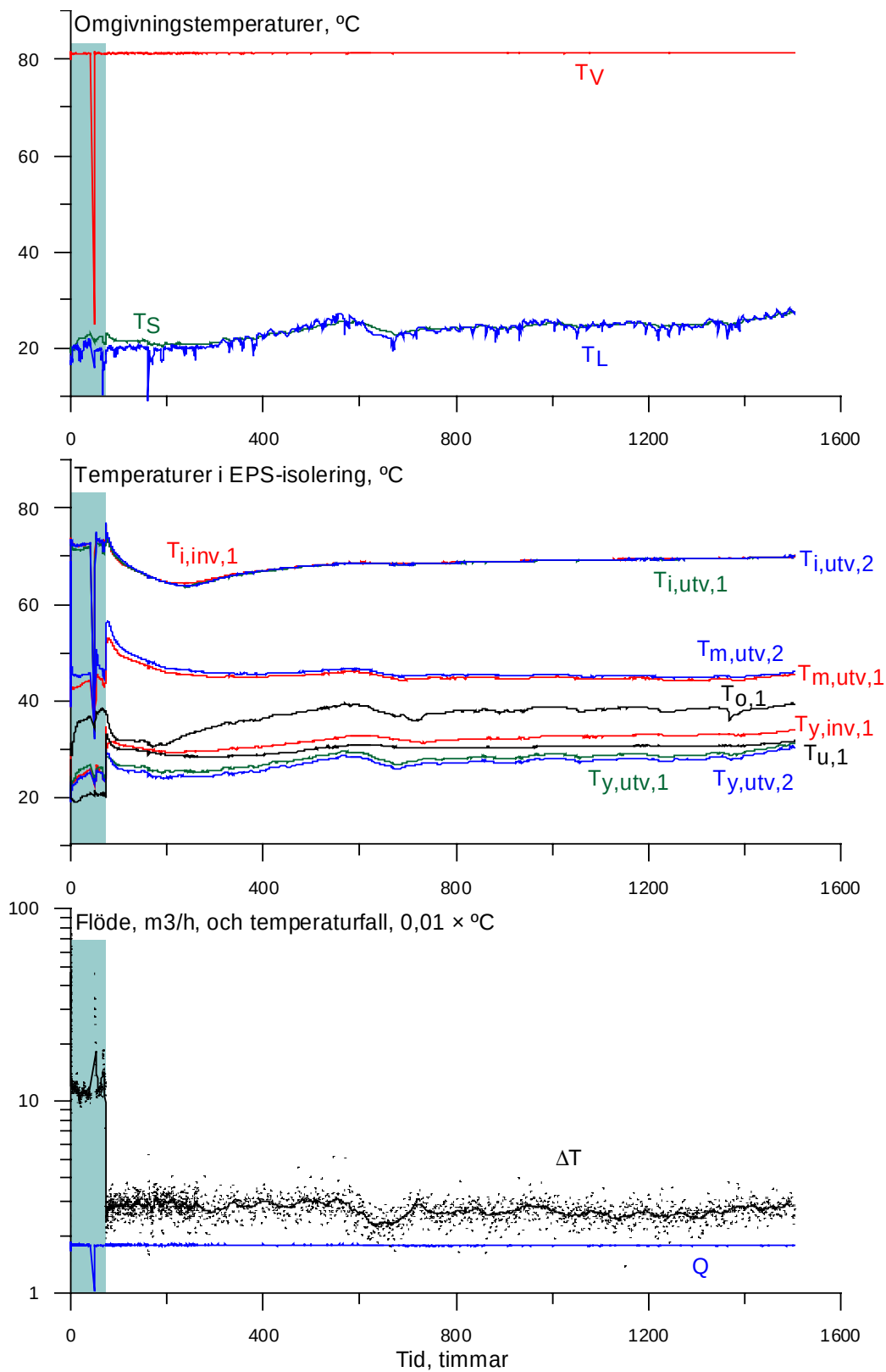
DC 100 – Period 2: dränkning 3 dygn + uttorkning 28 dygn



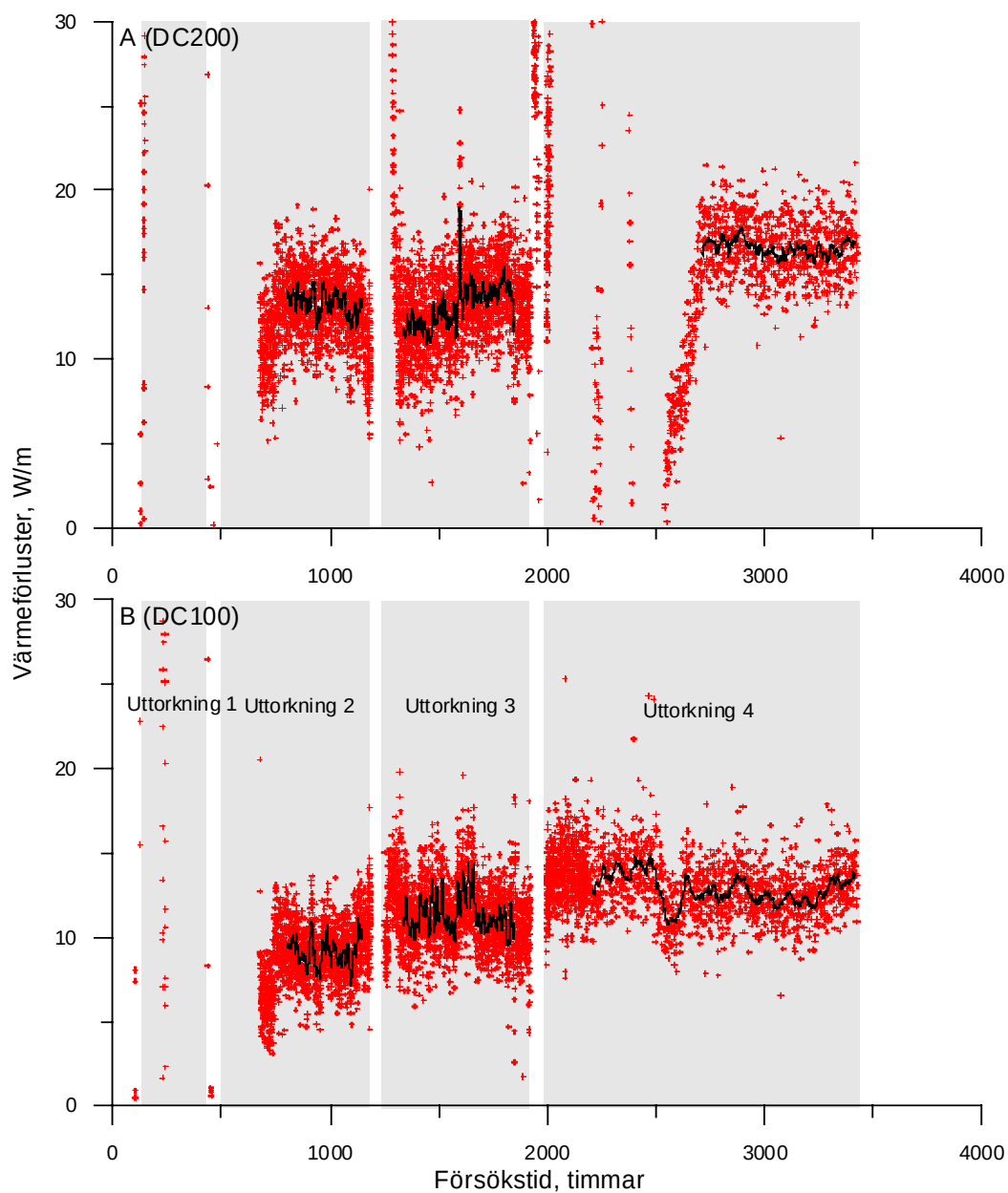
DC 100 – Period 3: dränkning 3 dygn + uttorkning 28 dygn



DC 100 – Period 4: dränkning 3 dygn + uttorkning 56 dygn



Bilaga B – Värmeförlustmätningar



Rapportförteckning

Samtliga rapporter kan beställas hos Svensk Fjärrvärmes Förlagsservice.

Telefon: 026 – 24 90 24, Telefax: 026 – 24 90 10, www.fjarrvarme.org

<i>Nr</i>	<i>Titel</i>	<i>Författare</i>	<i>Publicerad</i>
FORSKNING OCH UTVECKLING – RAPPORTER			
1	Inventering av skador på befintliga skarvar med CFC-blåsta respektive CFC-fria fogskum	Hans Torstensson	maj-96
2	Tryckväxlare – Status hösten 1995	Bror-Arne Gustafson Lena Olsson	maj-96
3	Bevakning av internationell fjärrvärmeforskning	Sture Andersson Gunnar Nilsson	maj-96
4	Epoxirelining av fjärrvärmerör	Jarl Nilsson	sep-96
5	Effektivisering av konventionella fjärrvärmecentraler (abonnentcentraler)	Lena Råberger Håkan Walletun	okt-96
6	Auktorisation av montörer för montage av skarvhylsor och isolering Former och utvärdering	Lars-Åke Cronholm	okt-96
7	Direkt markförlagda böjar i fjärrvärmeledningar	Jan Molin Gunnar Bergström	dec-96
8	Medierör av plast i fjärrvärmesystem	Håkan Walletun Heimo Zinko	dec-96
9	Metodutveckling för mätning av värmekonduktiviteten i kulvertisolering av polyuretanskum	Lars-Åke Cronholm Hans Torstensson	dec-96
10	Dynamiska värmelaster från fiktiva värmebehov	Sven Werner	mars-97
11	Torkning av tvätt i fastighetstvättstugor med fjärrvärme	H. Andersson J. Ahlgren	maj-99
12	Omgivningsförhållandenas betydelse vid val av strategi för ombyggnad och underhåll av fjärrvärmenät. Insamlingsfasen	Sture Andersson Jan Molin Carmen Pletikos	dec-97
13	Svensk statlig fjärrvärmeforskning 1981-1996	Mikael Henriksson Sven Werner	dec-97
14	Korrosionsrisker vid användning av stål- och plaströr i fjärrvärmesystem – en litteraturstudie	Peeter Tarkpea	dec-97
15	Värme- och masstransport i mantelrör till ledningar för fjärrkyla och fjärrvärme	Daniel Eriksson Bengt Sundén	dec-97
16	Utvärdering av fuktinträngning och gasdiffusion hos gamla kulvertrör ”Hisings-Backa”	Ulf Jarfelt	dec-97
17	Kulvertförläggning med befintliga massor	Jan Molin Gunnar Bergström Stefan Nilsson	dec-97
18	Värmeåtervinning och produktion av frikyla – två sätt att öka marknaden för fjärrvärmedrivna absorptionskylmaskiner	Peter Margen	dec-97
19	Projekt och Resultat 1994-1997	Anders Tvärne	mars-98

Nr	Titel	Författare	Publicerad
20	Analys av befintliga fjärrkylakunders kylbehov	Stefan Aronsson Per-Erik Nilsson	mars-98
21	Statusrapport Trycklösa Hetvattenackumulatorer	Mats Lindberg Leif Breitholtz	maj-98
22	Round Robin test av isolerförmågan hos fjärrvärmerör	Ulf Jarfelt	maj-98
23	Mätvärdesinsamling från inspektionsbrunnar i fjärrvärmesystem	Håkan Walletun	juni-98
24	Fjärrvärmerörens isolertekniska långtidsegenskaper	Ulf Jarfelt Olle Ramnäs	juni-98
25	Termisk undersökning av koppling av köldbärarkretsar till fjärrkylanät	Erik Jonson	juni-98
26	Reparation utan uppgrävning av skarvar på fjärrvärmerör	Jarl Nilsson Tommy Gudmundson	juni-98
27	Effektivisering av fjärrvärmecentraler – metodik, nyckeltal och användning av driftövervakningssystem	Håkan Walletun	apr-99
28	Fjärrkyla. Teknik och kunskapsläge 1998	Paul Westin	juli-98
29	Fjärrkyla – systemstudie	Martin Forsén Per-Åke Franck Mari Gustafsson Per-Erik Nilsson	juli-98
30	Nya material för fjärrvärmerör. Förstudie/litteraturstudie	Jan Ahlgren Linda Berlin Morgan Fröling Magdalena Svanström	dec-98
31	Optimalt val av värmemätarens flödesgivare	Janusz Wollerstrand	maj-99
32	Miljöanpassning/återanvändning av polyuretanisolerade fjärrvärmerör	Morgan Fröling	dec-98
33	Övervakning av fjärrvärmenät med fiberoptik	Marja Englund	maj-99
34	Undersökning av golvvärmesystem med PEX-rör	Lars Ehrlén	apr-99
35	Undersökning av funktionen hos tillsatser för fjärrvärmevatten	Tuija Kaunisto Leena Carpén	maj-99
36	Kartläggning av utvecklingsläget för ultraljudsflödesmätare	Jerker Delsing	nov-99
37	Förbättring av fjärrvärmecentraler med sekundärnät	Lennart Eriksson Håkan Walletun	maj-99
38	Ändgavlar på fjärrvärmerör	Gunnar Bergström Stefan Nilsson	sept-99
39	Användning av lågtemperaturfjärrvärme	Lennart Eriksson Jochen Dahm Heimo Zinko	sept-99
40	Tätning av skarvar i fjärrvärmerör med hjälp av material som sväller i kontakt med vatten	Rolf Sjöblom Henrik Bjurström Lars-Åke Cronholm	nov-99

Nr	Titel	Författare	Publicerad
41	Underlag för riskbedömning och val av strategi för underhåll och förnyelse av fjärrvärmeledningar	Sture Andersson Jan Molin Carmen Pletikos	dec-99
42	Metoder att nå lägre returtemperatur med värmeväxlardimensionering och injusteringsmetoder. Tillämpning på två fastigheter i Borås.	Stefan Petersson	mars-00
43	Vidhäftning mellan PUR-isolering och medierör. Har blästring av medieröret någon effekt?	Ulf Jarfelt	juni-00
44	Mindre lokala produktionscentraler för kyla med optimal värmeåtervinningsgrad i fjärrvärmesystemen	Peter Margen	juni-00
45	Fullskaleförsök med friktionsminskande additiv i Herning, Danmark	Flemming Hammer Martin Hellsten	feb-01
46	Nedbrytningen av syrereducerande medel i fjärrvärmenät	Henrik Bjurström	okt-00
47	Energimarknad i förändring Utveckling, aktörer och strategier	Fredrik Lagergren	nov-00
48	Strömförsörjning till värmemätare	Henrik Bjurström	nov-00
49	Tensider i fjärrkylanät – Förstudie	Marcus Lager	nov-00
50	Svensk sammanfattning av AGFWs slutrapport ”Neuartige Wärmeverteilung”	Heimo Zinko	jan-01
51	Vattenläckage genom otät mantelrörsskarv	Gunnar Bergström Stefan Nilsson Sven-Erik Sällberg	jan-01
52	Direktförlagda böjar i fjärrvärmeledningar Påkänningar och skadegränser	Gunnar Bergström Stefan Nilsson	jan-01
53	Korrosionsmätningar i PEX-system i Landskrona och Enköping	Anders Thorén	feb-01
54	Sammanlagring och värmeförluster i närvärmenät	Jochen Dahm Jan-Olof Dalenbäck	feb-01
55	Tryckväxlare för fjärrkyla	Lars Eliasson	mars-01
56	Beslutsunderlag i svenska energiföretag	Peter Svahn	sept-01
57	Skarvtätning baserad på svällande material	Henrik Bjurström Pal Kalbantner Lars-Åke Cronholm	okt-01
58	Täthet hos skarvar vid återfyllning med befintliga massor	Gunnar Bergström Stefan Nilsson Sven-Erik Sällberg	okt-01
59	Analys av trerörssystem för kombinerad distribution av fjärrvärme och fjärrkyla	Guaxiao Yao	dec-01
60	Miljöbelastning från läggning av fjärrvärmerör	Morgan Fröling Magdalena Svanström	jan-02
61	Korrosionsskydd av en trycklös varmvattenackumulator med kvävgasteknik – fjärrvärmeverket i Falkenberg	Leif Nilsson	jan-02
62	Tappvarmvattenreglering i P-märkta fjärrvärmecentraler för villor – Utvärdering och förslag till förbättring	Tommy Persson	jan-02

Nr	Titel	Författare	Publicerad
63	Experimentell undersökning av böjar vid kallförläggning av fjärrvärmerör	Sture Andersson Nils Olsson	jan-02
64	Förändring av fjärrvärmenäts flödesbehov	Håkan Walletun Daniel Lundh	jan-02
65	Framtemperatur vid värmegles fjärrvärme	Tord Sivertsson Sven Werner	mars-02
66	Fjärravläsning med signaler genom rörnät – förstudie	Lars Ljung Rolf Sjöblom	mars-02
67	Fukttransport i skarvskum	Gunnar Bergström Stefan Nilsson Sven-Erik Sällberg	april-02
68	Round Robin test II av isolerförmågan hos fjärrvärmerör	Ture Nordenswan	april-02
69	EkoDim – beräkningsprogram	Ulf Jarfelt	juni-02
70	Felidentifiering i FC med ”flygfoton” – Förstudie	Patrik Selinder Håkan Walletun	juni-02
71	Digitala läckdetekteringssystem	Jan Andersson	aug-02
72	Utvändigt skydd hos fjärrvärmerörsskarvar	Gunnar Bergström Stefan Nilsson Sven-Erik Sällberg	sept-02
73	Fuktdiffusion i plaströrsystem	Heimo Zinko Gunnar Bergström Stefan Nilsson Ulf Jarfelt	sept-02
74	Nuläge värmegles fjärrvärme	Lennart Larsson Sofie Andersson Sven Werner	sept-02
75	Tappvarmvattensystem – egenskaper, dimensionering och komfort	Janusz Wollerstrand	sept-02
76	Teknisk och ekonomisk jämförelse mellan 1- och 2-stegskopplade fjärrvärmecentraler	Håkan Walletun	okt-02
77	Isocyanatexponering vid svetsning av fjärrvärmerör	Gunnar Bergström Lisa Lindqvist Stefan Nilsson	okt-02
78	Förbättringspotential i sekundärnät	Lennart Eriksson Stefan Petersson Håkan Walletun	okt-02
79	Jämförelse mellan dubbel- och enkelrör	Ulf Jarfelt	dec-02
80	Utvändig korrosion på fjärrvärmerör	Göran Sund	dec-02
81	Varmvattenkomfort sommartid i småhus	Tommy Persson	dec-02
82	Miljöbelastning från produktion av fjärrvärmerör	Morgan Fröling Camilla Holmgren	dec-02
83	Samverkande produktions- och distributionsmodeller	John Johnsson Ola Rossing	feb-03
84	Användning av aska vid förläggning av fjärrvärmeledningar - förstudie	Rolf Sjöblom	feb-03
85	Marginaler i fjärrvärmesystem	Patrik Selinder Heimo Zinko	mars-03
86	Flödesutjämnande körstrategi	Gunnar Larsson	april-03
87	”Black-Box”-undersökning av fjärrvärmecentraler	Håkan Walletun Bernt Svensson	juni-03

Nr	Titel	Författare	Publicerad
88	Långtidsegenskaper hos lågflödesinjusterade radiatorsystem	Stefan Petersson Sven Werner	aug-03
89	Rationellt byggande av fjärrvärmeledningar	Tommy Gudmundson	sep-03
90	Total – Kontra utförandeentreprenad	Tommy Gudmundson	sep-03
91	Tryckväxlare för fjärrkyla – Teknik och funktion	Bror-Arne Gustafson	sep-03
92	Kylning av kylmaskiners kondensorer med fjärrkyla i livsmedelsbutiker	Caroline Haglund Stignor	sep-03
93	Minskade distributionsförluster med diffusionstäta fjärrvärmerör	Maria Olsson	okt-03
94	Kopplingsprinciper för fjärrvärmecentral och frånluftsvärmepump	Patrik Selinder Håkan Walletun Heimo Zinko	okt-03
95	Funktion hos 1-rörs radiatorsystem – Avkylning, komfort och stabilitet	Stefan Petersson Bernt-Erik Nyberg	okt-03
96	EPSPEX-kulvert – Utveckling, utförande och uppföljning	Tommy Gudmundson	okt-03
97	EPSPEX-kulvert – Funktion under och efter vattendränkning	Stefan Nilsson Sven-Erik Sällberg Gunnar Bergström	okt-03

FORSKNING OCH UTVECKLING – ORIENTERING

1	Fjärrkyla: Behov av forskning och utveckling	Sven Werner	jan-98
2	Utvärdering av fjärrkyla i Västerås. Uppföljning av Värmeforsk rapport nr 534. Mätvärdesinsamling för perioden 23/5 – 30/9 1996.	Lars Lindgren Conny Nikolaisen	jan-98
3	Symposium om Fjärrvärmeforskning på Ullinge Wårdshus i Eksjö kommun, 10-11 december 1996	Lennart Thörnqvist	jan-98
4	Utvärdering av fjärrkyla i Västerås. Uppföljning av Värmeforsk rapport nr 534. Mätvärdesinsamling för period 2. 1/1 – 31/12 1997.	Conny Nikolaisen	juli-98
5	Metodutveckling för mätning av värmekonduktiviteten i kulvertisolering av polyuretanskum	Lars-Åke Cronholm Hans Torstensson	sept-99
6	Optimering av fjärrvärmevattens framledningstemperatur i mindre fjärrvärmesystem	Ilkka Keppo Pekka Ahtila	jan-03

Svenska Fjärrvärmeföreningens Service AB och Statens Energi-
myndighet bedriver forskningsprogram inom området fjärrvärme
hetvattenteknik och fjärrkyla.

SVENSKA FJÄRRVÄRMEFÖRENINGENS SERVICE AB

101 53 STOCKHOLM

Besöksadress: Olof Palmes Gata 31, 6 tr

Telefon 08 - 677 25 50, Telefax 08 - 677 25 55

Förlagsservice, beställning av trycksaker:

Telefon 026 - 24 90 24, Telefax 026 - 24 90 10