

Energimyndighetens titel på projektet – svenska Reparation av fjärrvärmerör genom infodring av kolfiberkomposit	
Energimyndighetens titel på projektet – engelska Repair of district heating pipes through carbon fibre composite relining	
Universitet/högskola/företag RISE SICOMP	Avdelning/institution Avdelningen Polymer, fiber och komposit
Adress Argongatan 30, Mölndal	
Namn på projektledare Erik Marklund (Dinko Lukes)	
Namn på ev övriga projektdeltagare Karin Jacobson, Fredrik Ohlsson	
Nyckelord: 5-7 st Åldring, infodring, fjärrvärme, materialkaraktisering, komposit	

Förord

Projektet finansierades av Energimyndigheten genom utlysningen TERMO. RISE KIMAB har bidragit med materialexponering och analyser samt inledningsvis projektledning. RISE SICOMP har bidragit med materialtester, beräkningsmodell samt analyser och projektledning. PDS (konsult) har bidragit med utvärdering av analyser och expertis inom långtidsegenskaper av polymera material. Oxeon och PPR har utvecklat CarboSeal, tagit del i samtliga resultatdiskussioner och kommersialiserat produkten. Vattenfall har deltagit i projektmöten samt bidragit med kravställning, fjärrvärmevatten och temperaturdata från fjärrvärmenät.

Innehållsförteckning

Förord.....	1
Sammanfattning.....	2
Summary.....	3
Inledning/Bakgrund	4
Genomförande	5
Arbetspaket 1. Livslängdsbedömning samt urlakning.....	5
Arbetspaket 2. Metoder för monitorering, statusbedömning och kvalitetsäkring	5
Arbetspaket 3. Kommersialisering av produkten	6
Resultat	6
Livslängdsbedömning samt urlakning	6
Exponering av clear casts	6
Viktupptag och visuell inspektion	6
Analys av vattenfasen	9
Mekanisk provning	9
Effekt av efterhärdning	11
Studie vid lägre temperatur 85°C	11
Exponering av harts utan tillsats av mineralolja.....	14
Exponering av alternativa material	15
Vidare exponeringsstudie av AMEX-materialet.....	18
Exponering av laminat	20
Sprickdensitetsmätningar och dragprov.....	24
Metoder för monitorering, statusbedömning och kvalitetsäkring.....	27
Kvalitetskontroll efter härdning.....	27
Analys och undersökning av liner som varit i drift	28
Kommersialisering av produkten.....	30
Diskussion och slutsatser	35
Publikationslista.....	36
Referenser, källor.....	36
Bilagor	36

Sammanfattning

Fjärrvärmenätet brottas idag med stora problem med läckor till följd av korrosion på gamla ledningar. Då stora delar av fjärrvärmesystemet finns under tätbebyggda områden innebär all form av rörbyte grävarbeten med stora ekonomiska, miljömässiga och samhällsmässiga konsekvenser. Som ett alternativ till att byta ut gamla rör finns möjligheten att i stället reparera rören genom rörinfodring (relining), utan att gräva upp dem.

Projektet har syftat till att skapa en hållbar lösning för relining av fjärrvärmerör. Miljön i fjärrvärmenätet är mycket utmanande med höga temperaturer och trycknivåer vilket gör att vanliga polymera reliningprodukter snabbt bryts ner. Projektdeltagarna har sedan ett antal år samarbetat för att utveckla ett materialkoncept anpassad för den mycket tuffa miljön i en fjärrvärmeledning, med vatten vid höga temperaturer och under högt tryck. Resultatet är CarboSeal, ett

kompositmaterial med kolfiber och en högttemperaturbeständig epoxi, som kan härdas på plats inuti ett gammalt fjärrvärmerör. CarboSeal är speciellt utvecklad för att klara höga temperaturer och tryck och projektets mål har varit att optimera dess prestanda och studera åldringsmekanismer för att få ett mått på förväntad livslängd.

Inom projektet har produktionsmetoden för CarboSeal utvecklats med fokus på täthet, materialkvalitet och installationsbarhet. En omfattande studie har genomförts vars resultat ligger till grund för hur linern kan produceras, lagras och transporteras för att tillåta en installation enligt de parametrar som krävs för en tät linerprodukt. Projektet har även omfattat livslängdsstudier genom åldring av materialet i speciella autoklaver som simulerar fjärrvärmemiljön. Metoder för livslängdsbedömning och statusbedömning har studerats och utvärderats. Under projektets gång har två CarboSeal-installationer gjorts i en gammal fjärrvärmeledning under en hårt trafikerad led i Stockholm samt under en vägkorsning i Malmö.

Summary

Today, the district heating network is struggling with major problems with leaks due to corrosion on old pipes. As large parts of the district heating system are located under densely populated areas, all forms of pipe replacement involve excavation work with major economic, environmental and social consequences. As an alternative to replacing old pipes, there is the possibility of repairing the pipes by relining them, without digging them up.

The project goal is to create a sustainable solution for relining of district heating pipes. The environment in the district heating network is very challenging with high temperatures and pressure levels, so normal polymeric relining products break down quickly. For several years, the project participants have collaborated to develop a material concept adapted to the very harsh environment in a district heating line, with water at high temperatures and under high pressure. The result is CarboSeal, a composite material with carbon fibre and a high-temperature-resistant epoxy, which can be cured on site inside an old district heating pipe. CarboSeal is specially developed to withstand high temperatures and pressures and the project's goal has been to optimize its performance and study aging mechanisms to obtain a measure of life expectancy.

Within the project, the production method for CarboSeal has been developed with a focus on tightness, material quality and installability. An extensive study has been carried out, the results of which form the basis for how the liner can be produced, stored and transported to allow an installation according to the parameters required for a dense liner product. The project has also included lifetime studies by aging the material in special autoclaves that simulate the district heating environment. Methods for life expectancy assessment and status assessment have been studied and evaluated. During the project, two CarboSeal installations were made, in an old district heating line under a heavily trafficked route in Stockholm and under a road junction in Malmö.

Inledning/Bakgrund

Fjärrvärme är en storskalig och effektiv metod för produktion och distribution av värme. Värmen produceras i en central produktionsanläggning och fördelas till slutkonsumenterna genom ett rörsystem i marken. Idag står fjärrvärmen för nästan hälften av uppvärmningen i Sverige och det finns ca 2000 mil fjärrvärmerör. Många delar i fjärrvärmenäten är dock flera decennier gamla och frågor kring underhåll och uppgradering av fjärrvärmenäten blir allt viktigare. Då stora delar av fjärrvärmesystemet finns under tätbebyggda områden innebär all form av utbyte genom grävarbeten stora ekonomiska, miljömässiga och samhällsmässiga konsekvenser.

Som ett alternativ till att byta ut gamla rör finns möjligheten att istället reparera rören genom rörinfodring (relining), utan att gräva upp dem. Eftersom rörinfodring utförs i befintliga rör undgår man transport och deponering av gamla rör, och nyproduktion av rör hålls nere. Om fjärrvärmerör, framförallt på besvärliga sträckor, kan repareras genom rörinfodring skulle alltså mer flexibla och resurseffektiva lösningar erbjudas.

Reliningmetoder har använts i cirka 40 år för framförallt avlopps- och dagvattenrör, men inte i fjärrvärme p.g.a. att den mycket krävande miljön (trycksatt vatten upp till 120 °C och 16 bar) vanligtvis är för aggressiv för att en typisk rörinfodring ska kunna överleva långsiktigt.

Projektdeltagarna har genom tidigare samarbeten arbetat fram en materiallösning med kolfiber som bärmaterial och en epoxi med goda högttemperaturegenskaper som matris som tål den för kompositmaterial mycket tuffa miljön i en fjärrvärmeledning, med vatten vid höga temperaturer under högt tryck. Syftet med detta projekt har varit att optimera dess prestanda och säkerställa att konceptet klarar även långtidsanvändning och att inga oväntade och miljöskadliga degraderingsprodukter från epoxin läcker ut i vattnet.

Att gräva upp och ersätta fjärrvärmerör är resurskrävande och kostsamt. Att istället reparera rören genom infodring har potentialen att minska kostnaderna med 70-90 % på de dyraste sträckorna. Årliga besparingar på miljardbelopp är därför möjliga för branschen i sin helhet. Till detta kommer även besparingar i form av minimering av störningar på infrastruktur och transport. I Sverige finns cirka 70 mil betongkulvert och cirka 100 mil asbestkulvert vilka skulle lämpa sig utmärkt för relining. Vattenfall, Fortum och E.ON är huvudkunder för slutprodukten, samtliga har visat ett stort intresse för möjligheten till reparation av fjärrvärmerör som ett ekonomiskt och miljövänligt alternativ till traditionella rörbyten. Vattenfall är också partner i projektet och bidrar med in-kind-tid för möten, genomgång av resultat och som kravställare. Marknaden i Europa är inte kartlagd, men är signifikant större. Vattenfall har bl.a. indikerat att deras värmeverksamhet i ex. Tyskland är tänkbar kandidat för relining av fjärrvärmenät.

Det övergripande målet med projektet har varit att ha en färdig högkvalitativ lösning för relining av fjärrvärmerör med känd livslängd, utan oönskad miljöpåverkan. Delmålen är:

- Att ta fram en beräkningsmodell för livslängden av en installation baserad på tiden röret utsätts för olika drifttemperaturer
- Att säkerställa att installationen inte medför en negativ miljöpåverkan genom urlakning av farliga ämnen i vattnet

- Att ta fram en metod för att statusbedöma en färdig installation och kontrollera status på en installation efter viss tid i drift.
- Att kommersialisera produkten

Genomförande

Arbetspaket 1. Livslängdsbedömning samt urlakning

Mål: Det som framför allt undersökts är vilken livslängd som man kan förvänta sig på installationen och hur den beror av temperatur (d.v.s. hur den påverkas av att utsättas för en konstant hög temperatur samt vid temperaturcykling). Syftet med arbetet är att ge en livslängdsbedömning hos materialet för relining av fjärrvärmeledningar samt säkerställa att inga oväntade och miljöskadliga nedbrytningsprodukter läcker ut i vattnet.

Utförande: Exponering av provstavar av både rent harts och av laminatprover i fjärrvärmevatten i cyklad temperatur, 85, 120 och 140°C upp till 16 månader med provupptag i jämna intervall. Undersökningen innefattar:

- Viktupptag och dimensionsstabilitet, för att se eventuell svällning eller massförlust p.g.a. urlakning
- Mekanisk provning inklusive DMA-analys för att undersöka hur egenskaperna påverkas vid långsiktig exponering
- Sprickdensitetsmätning för att undersöka risken för transversell spricktillväxt genom att kvantifiera uppkomsten av sprickor under pålagd inkrementellt ökande töjning
- FTIR analys av materialet för att studera eventuell kemisk förändring till följd av nedbrytning/hydrolys
- GC-MS analys av vattnet efter exponering (för att se eventuell urlakning)
- Visuellt kontroll samt mikroskopi av polerade tvärsnitt för att se eventuell sprickbildning.
- Effekten av exponering genom cyklad temperatur (50-120 °C)
- Provförsök genom accelererad åldring upp till 140 °C

Samtliga tester har utförts på relevant representativt material enligt den senaste tillverkningsmetodiken.

Involverade parter: Prover har åldrats i autoklaver hos RISE Kimab AB och analyserats på RISE Kimab AB och RISE Sicomp AB. Vattenanalysen har utförts av RISE AB. Oxeon och PPR har tillverkat provföremål och deltagit i resultatdiskussioner.

Arbetspaket 2. Metoder för monitorering, statusbedömning och kvalitetsäkring

Mål: En metod för att statusbedöma en färdig installation och kontrollera status på en installation efter olika tid i drift.

Utförande: Bedömning av vilka livslängdsbegränsande effekter som skall mätas och praktisk användning och utvärdering av kamerateknik vid installation.

Involverade parter: Alla parter, teoretiskt och experimentellt arbete utförs av RISE Kimab och RISE Sicomp, material och erfarenheter från Oxeon, rörtillverkning och praktisk inspektionserfarenhet PPR, kravställning från Vattenfall.

Arbetspaket 3. Kommersialisering av produkten

Mål: Att sälja en färdig kvalitetssäkrad lösning med känd livslängd tillgänglig till fjärrvärmedistributörer både i Sverige och internationellt.

Utförande: Fortsatt arbete med ökad kvalitet samt att minska produktionskostnaderna. Etablerade kontakter finns redan med de flesta slutanvändarna på den svenska marknaden och förfrågningar från internationella kontakter finns också. För att kunna leverera en kvalitetssäkrad lösning krävs dock en beräkning av livslängden och en teknik för statusbedömning. Med resultat från arbetspaket 1 och 2 kan då ett konkret erbjudande gå ut till kunderna.

Involverade parter: Oxeon och PPR med input/kravställning från Vattenfall samt med bidrag från RISE Kimab och RISE Sicomp till presentationer

Arbetspaket 4. Administration, projektledning, möten och rapportskrivning

Involverade parter: RISE Kimab, RISE Sicomp, PPR och Oxeon med viss input från Vattenfall.

Resultat

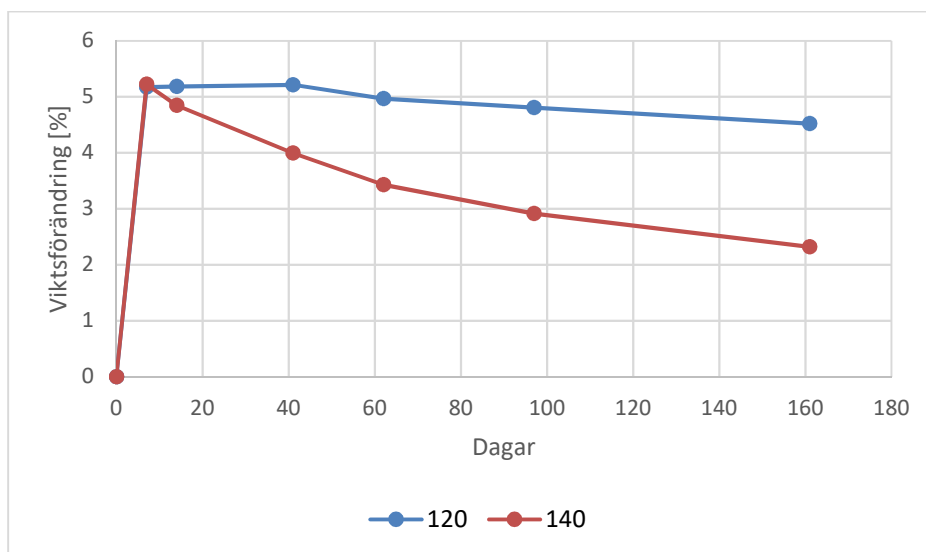
Livslängdsbedömning samt urlakning

Exponering av clear casts

I det VINNOVA-finansierade projektet ”Relining av fjärrvärmerör” (Dnr 2014-00421) togs det fram en materiallösningen med kolfiber som bärmaterial och en epoxi med goda högttemperaturegenskaper som matris. Detta material visade goda stabilitetsegenskaper vid exponering i upp till 140°C i 62 dagar utan påtaglig nedbrytning av epoximatrisen. Samma epoxi användes även i detta projekt men initialt med en modifiering med tillsatt mineralolja för bättre vätningssegenskaper och bättre luftavgång.

Viktupptag och visuell inspektion

Inledningsvis gjordes en studie på clear cast, dvs prover av rent harts utan fiber, av detta modifierade material. Då det i fält endast går att härda i upp till 130°C (med säkerhet) användes 100°C 3 timmar och sedan 130°C i 3 timmar för härdning också för clear-castproverna. I det tidigare projektet användes 80°C i 5 timmar och 150°C i 4 timmar för härdningen. Proverna exponerades vid 120 och 140 °C i fjärrvärmevatten i speciella autoklaver för olika tider upp till 161 dagar och viktförändringen mättes, se Figur 1.



Figur 1. Viktförändring av clear cast av modifierat harts efter exponering i 161 dagar i 120 och 140 °C.

Som förväntat för en epoxi ökar vikten initialt med ca 5% pga vattenabsorption och planar (för provet i 120 °C) sedan ut. För det prov som exponerats i 140 °C sker istället en viktnedgång vilket indikerar en nedbrytning. Detta skiljer sig markant från det beteende som hartsen i det tidigare projektet uppvisade som inte visade någon viktförlust efter 42 dagar även vid 140 °C och endast en mycket liten förlust efter 62 dagar. Det går även att se att det är en skillnad i färgförändringen av clear casten som inte sågs i det tidigare projektet. Som kan ses i Figur 2 blir proverna svarta på ytan redan efter 7 dagar i vatten vid 120°C emedan de i det tidigare projektet bara mörknat något efter 62 dagar i vatten vid 120 °C. Som kan noteras i Figur 2 är det även en skillnad i initial färg på clear casten i de två projekten. Detta är dock inte ovanligt för epoxisystem så det behöver inte betyda att det är någon större skillnad på materialen.

Detta projekt		Föregående projekt	
			
Oexponerad	Fjärrvärmevatten 120°C i 14 dagar	Oexponerad	Fjärrvärmevatten 120°C i 62 dagar

Figur 2. Jämförelse mellan clear cast från detta projekt och från det föregående före och efter exponering i 120°C fjärrvärmevatten.

Tvärsnitt av proverna visar att det är framförallt ytan som påverkats, se Figur 3.



Figur 3. Tvärsnitt av exponerade prover. Överst i bild är 120C i 7 dagar följt av 14 dagar 120°C, 7 dagar i 140°C samt 14 dagar i 140C.

Analys av vattenfasen

Vatten från exponeringsstudierna vid 120°C och 140°C efter 161 dagar (se Figur 4) analyserades med HS-GCMS.



Figur 4. Exponeringsvattnet efter 161 dagar i 120°C och 140°C.

Använda referenser (hartskomponenter) var:

- PPR DH Bas
- PPR DH H1

De erhållna referenserna hittades inte i vattnet från någon av exponeringarna. Flera olika organiska föreningar hittades däremot, både lättflyktiga och något tyngre, som jämfördes mot ECHA:s list of Substances of Very High Concern. Inga detekterade substanser hittades på ECHA:s lista. Detta tyder på att inga farliga substanser finns i vattnet efter exponeringen. Ett flertal av föreningarna ser ut att härröra från den tillsatta mineraloljan.

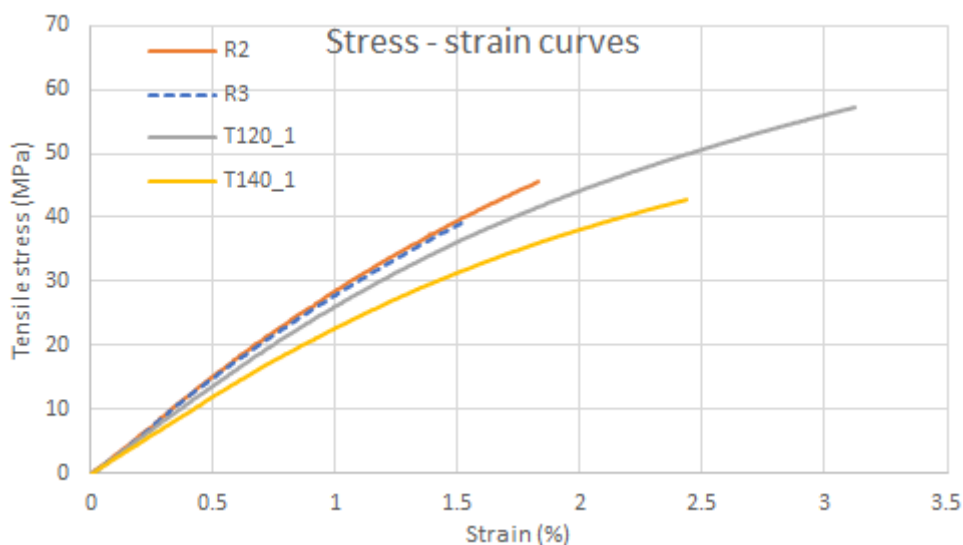
Mekanisk provning

På exponerade clear cast gjordes även DMTA-mätningar (dubbelprov), se Tabell 1. Resultaten visar att när provet åldras i 140°C så härdar materialet ut ytterligare. Bland annat ökar glastransitionstemperaturen T_g . Utifrån DMTA-resultaten ser materialet förhållandevis bra ut efter den extrema exponeringen i fjärrvärmevatten vid 140°C i 161 dagar.

Tabell 1. DMTA-resultat för clear cast: Referens samt åldrad i 120 och 140 °C

Prov	Onset Tg (°C)	Onset Tg Medel (°C)	Peak Tan delta Tg (°C)	Peak Tan delta Medel (°C)
Ref_1	143	143	171	170
Ref_2	143		170	
Aged 120_14_1	137	137	198	198
Aged 120_14_2	138		197	
Aged 140_14_1	143	142	211	211
Aged 140_14_2	141		211	
Aged 120_161_1	139	139	195	196
Aged 120_161_2	139		198	
Aged 140_161_1	158	159	218	218
Aged 140_161_2	160.0		218	

Även dragprovning indikerar att materialet efterhårdades av exponeringen. Som kan ses i Figur 5 visade provet som exponerats i 120°C i 161 dygn en högre både styrka och seghet än referensproven. Modulen var dock något lägre. För provet som exponerats i 140°C i 161 dygn sjönk styrkan och modulen lite men det visade mer seghet än referensproverna. Notera dock att detta är gjort på för få provstavar för att vara statistiskt säkerställt, då dragprovning kan visa stora variationer i resultat mellan olika provbitar.



Figur 5. Dragprovning efter åldring i 120 °C och 140°C i 161 dagar. R2-och R3 är icke åldrade referenser.

Effekt av efterhärdning

För att undersöka om uthärdningsgraden påverkade nedbrytningen av hartset efterhärdades prover i 120°C och 140°C i 2 dygn och de kemiska förändringarna studerades med FTIR. Förändringar kunde noteras i dessa prov vilket tyder på att det inte enbart är vatten som påverkar utan även temperatur. Ett prov som efterhärdats i 180°C i 4 timmar exponerats även för vatten i 120°C i upp till 66 dygn, se Figur 6. Resultaten visar att provet fortfarande blir svart på ytan redan efter 7 dygns exponeringstid.

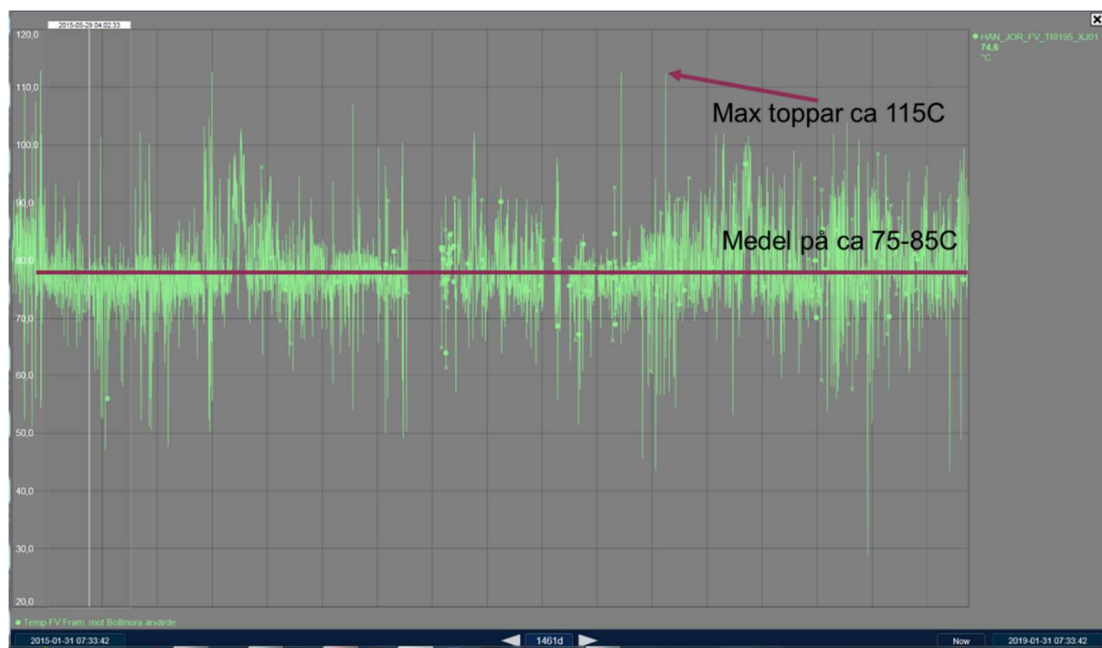
		
Före exponering	Efterhärdning i 180°C i 4h	Efter efterhärdning och exponering i fjärrvärmevatten 120°C i 66 dygn

Figur 6. Utseende av en clear cast före och efter efterhärdning i 180°C samt efter 66 dygn i fjärrvärmevatten vid 120°C.

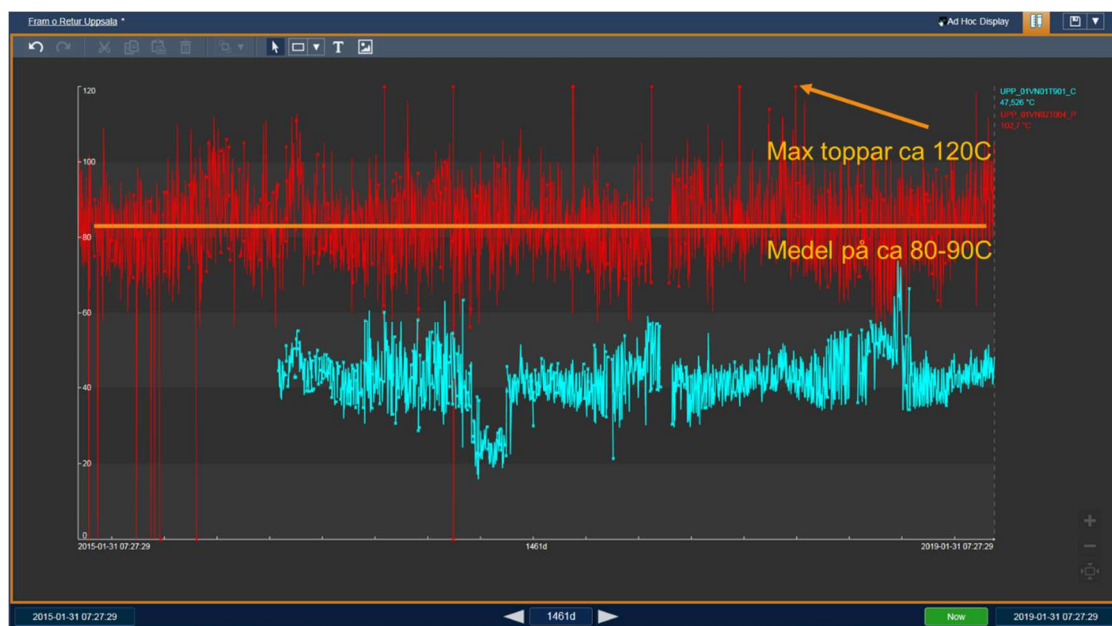
Dessutom tillverkades prover med exakt samma härdcykel som i det tidigare projektet, dvs 80°C i 5 h och 150°C i 4 h. Inte heller detta påverkade resultatet av åldringen nämnvärt med avseende på den svarta missfärgningen på ytan.

Studie vid lägre temperatur 85°C

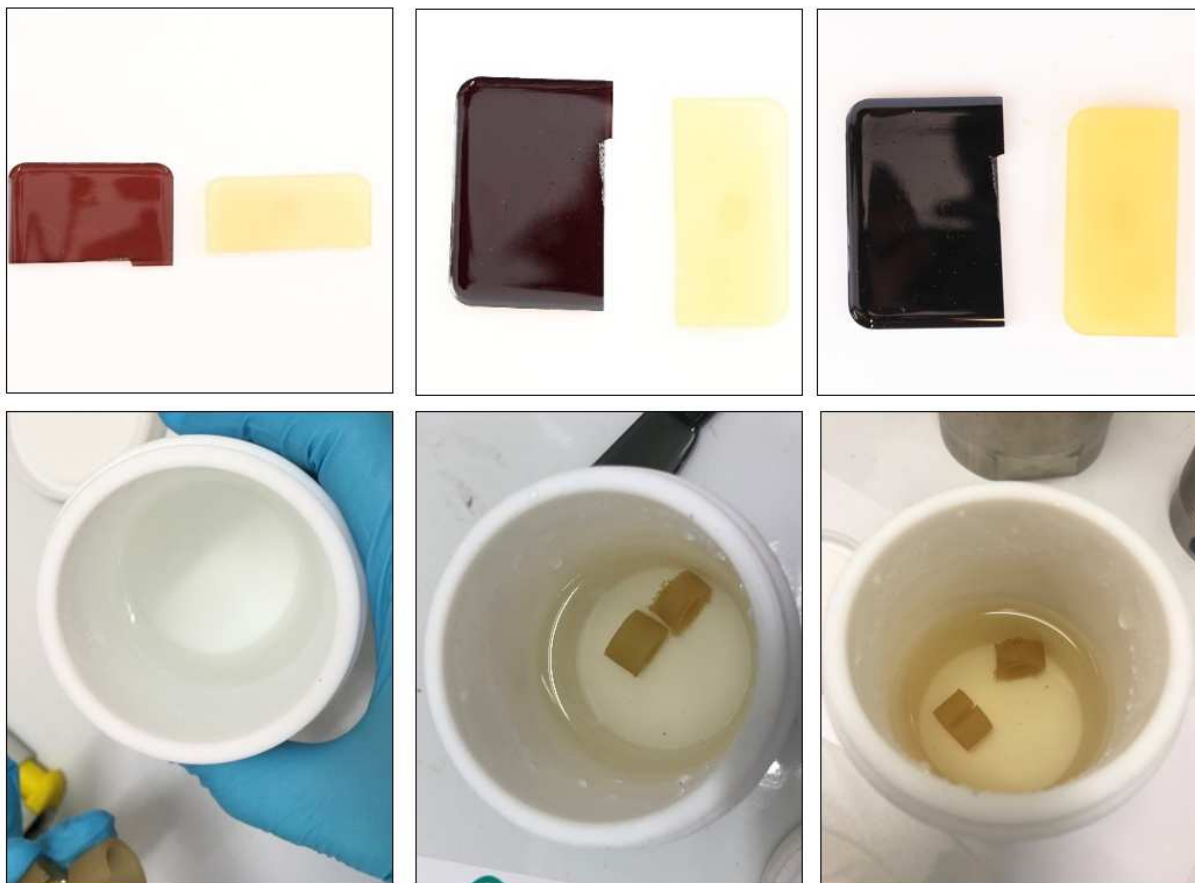
Figur 7 och 8 visar grafer med drifttemperatur under en 4-årsperiod från fjärrvärmeledningar i Jordbro och i Uppsala. Maxtemperaturerna är på ca 115°C till 120°C och medeltemperaturer på runt 75°C till 95°C. Därför startades en studie vid 85°C, Figur 9, för att studera effekterna på hartset i dessa temperaturer. Resultaten visar på att vattnet fortfarande blir missfärgat (dock betydligt mindre än exponeringarna vid 120°C och 140°C) och FTIR resultat visar fortfarande på förändringar likt de vi noterat från tidigare studier.



Figur 7. Temperaturer från Vattenfalls fjärrvärmenät i Haninge/Jordbro mellan 31 januari 2015 till 31 januari 2019

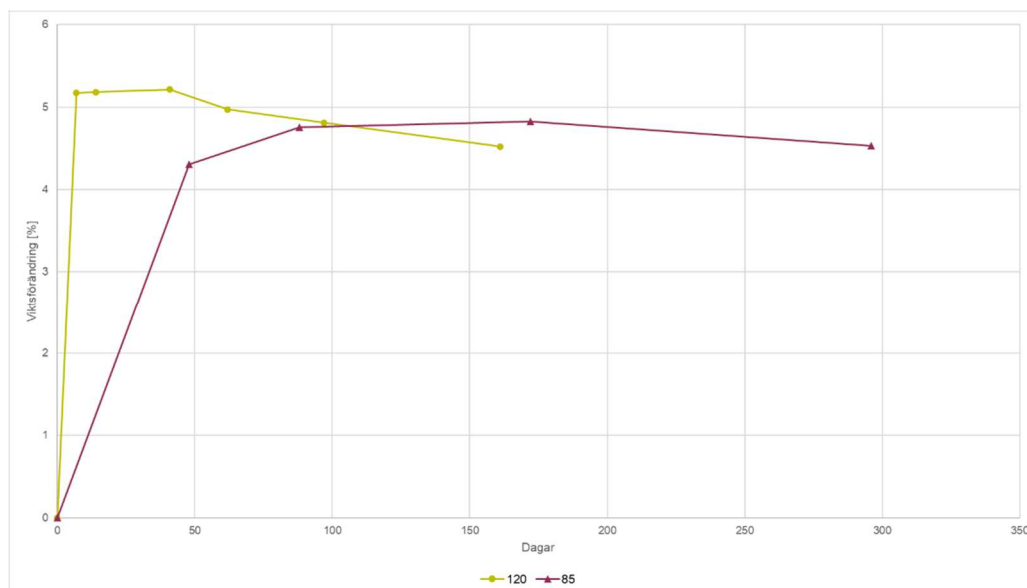


Figur 8. Temperaturer från Vattenfalls fjärrvärmenät i Uppsala mellan 31 januari 2015 till 31 januari 2019



Figur 9. Prov och exponeringskärl efter 48, 88 och 172 dagar (från höger i bilden) exponerat för vatten i 85 °C.

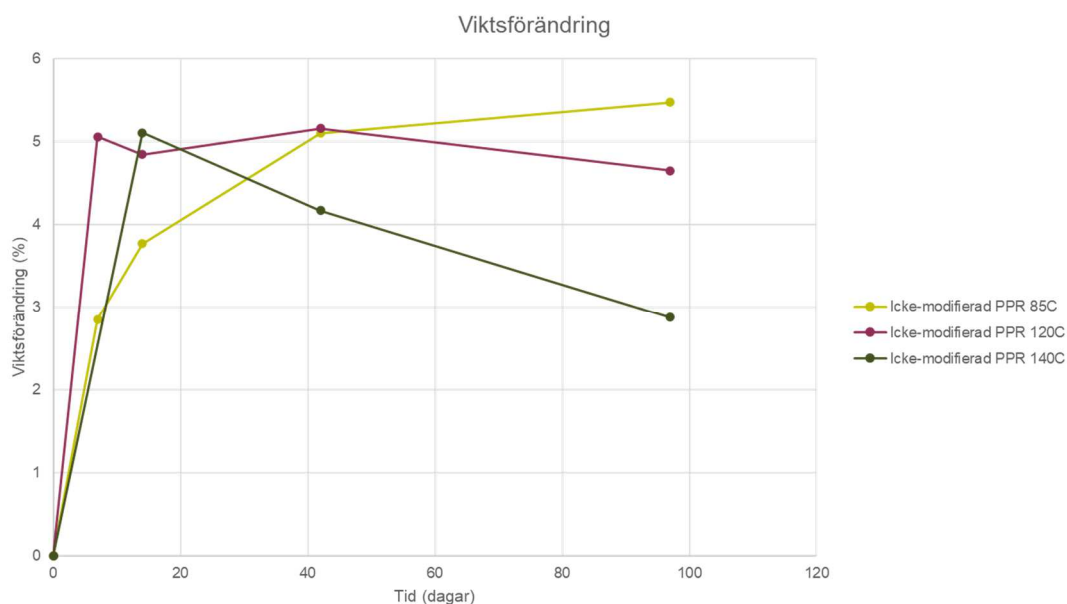
Viktförändringen av provet som exponerades vid 85°C i 10 månader visar att det tar längre tid att uppnå mättnad vid denna temperatur men att den så småningom kommer upp till ungefär samma nivå som 120°C provet visar, se Figur 10.



Figur 10. Viktförändring av clear cast exponerade i fjärrvärmevatten i 85 och 120°C.

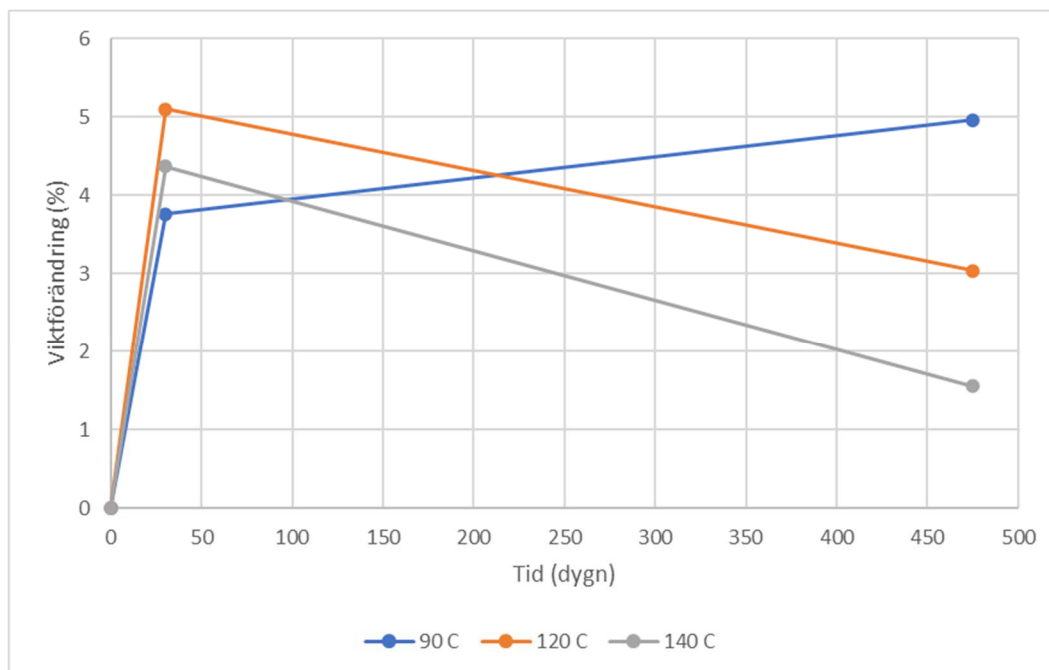
Exponering av harts utan tillsats av mineralolja

Då det misstänktes att skillnaden i stabilitet av det harts som använts och det som användes i det tidigare projektet kunde vara tillsatsen av mineralolja så gjordes även en studie av harts utan mineralolja. Ingen signifikant skillnad kunde dock ses mot hartset med mineralolja, vare sig vad gäller viktförändring, se Figur 11, eller kemisk förändring mätt med FTIR eller färgförändring av ytan.



Figur 11. Viktförändring av clear cast av harts utan tillsatt mineralolja efter exponering i 85, 120 och 140°C.

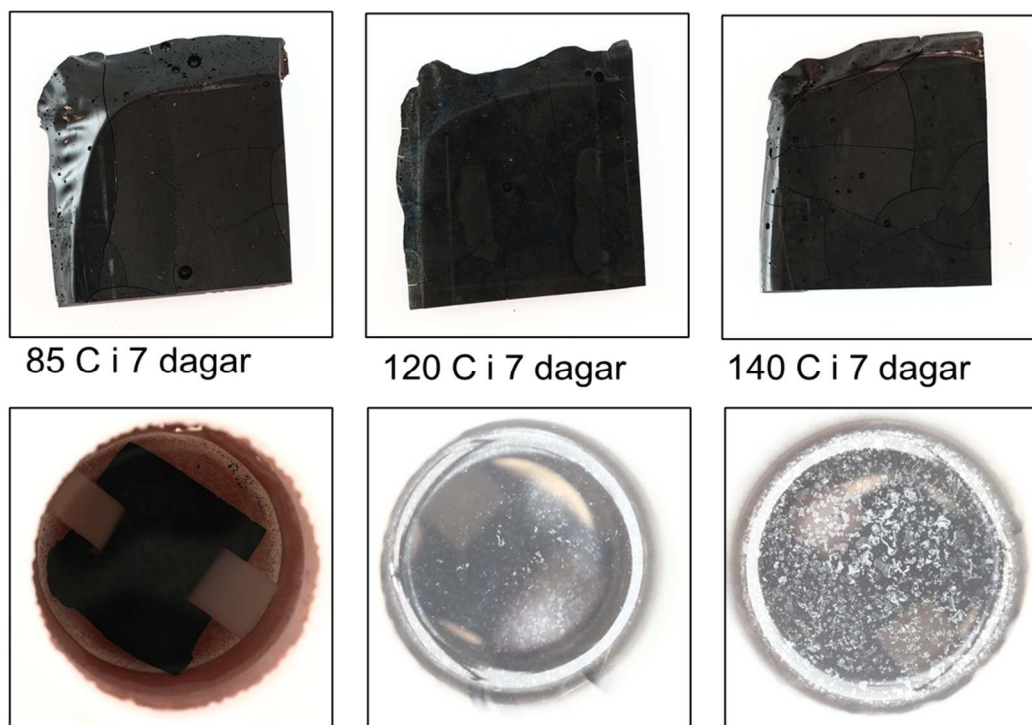
Ytterligare en studie av icke-modifierat harts gjordes som pågick i nästa 16 månader, se Figur 12. Den visade på samma trender som tidigare, dvs hartset vid den lägre temperaturen, 90 °C tog drygt 30 dagar på sig att nå full mättnad av vatten men behöll sedan viktupptaget runt 5% under hela exponeringstiden. Proverna som åldrades i de högre temperaturerna tappade något i vikt. För provet som åldrades i 120°C uppgick den totala viktförlusten till ca 2% och för prover som åldrats i 140°C uppgick det till ca 3.3 % av totalvikten.



Figur 12. Viktförändring av clear cast av harts utan tillsatt mineralolja efter exponering i 90, 120 och 140°C.

Exponering av alternativa material

PFA-harts (Polyfurfurylalkohol) är en hårdplast framställd från hemicellulosa som är ett intressant material att undersöka som ett miljövänligare alternativ till epoxi. Åldringsförsök av provbitar av detta material exponerades vid 85°C, 120°C och 140°C. Det var snabbt tydligt att detta material inte klarade exponeringen i denna extrema miljö utan att snabbt brytas ner, se Figur 13.



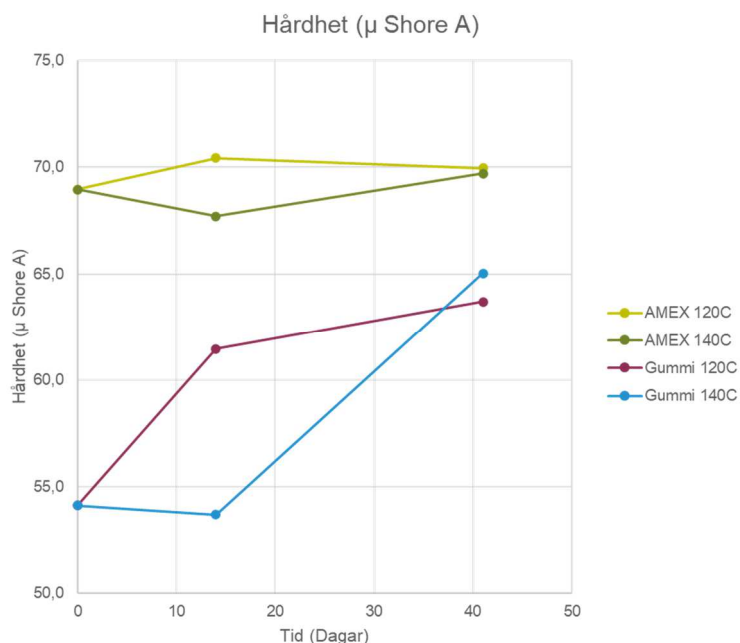
Figur 13. Exponering av PFA-harts i fjärrvärmevatten i en vecka i olika temperaturer visade att detta material inte klarar den extrema miljön utan att snabbt brytas ner.

Förutom PFA-hartset exponerades även en folie som används vid tillverkningen av laminatet, och två olika gummisorter i fjärrvärmevatten i 120°C och 140°C. Folien brukar normalt tas bort innan användning men det var intressant att se hur den skulle klara denna tuffa miljö om den var kvar. Ett gummi material behövs för packningen i skarvkopplingen och de två undersökta materialen var speciellt utvalda för att ha potential i denna applikation. Folien uppvisar även den en försprödning, missfärgning och ytliga sprickor redan efter 7 dagars exponering, Figur 14. Folien tappar även i vikt och exponeringen avslutades efter 7 dygn.



Figur 14. Den exponerade folien före och efter 7 dygns exponering i 120°C och 140°C.

Båda gummimaterialen ökar i vikt efter 14 dagars exponering och en ökad hårdhet kan ses för ena sorten ("gummi") men ingen signifikant förändring för den andra (AMEX), se Figur 15.



Figur 15. Hårdhet för de två olika gummimaterialen "gummi" och "AMEX" som exponerats i fjärrvärmevatten i 120 och 140°C i upp till 42 dygn.

Förutom en uppgång i hårdhet uppvisar "gummi" även en tydlig missfärgning av exponeringsvattnet samt en vit beläggning på proverna efter åldringen, se Figur 16.



Figur 16. Gummimaterial som uppvisade en tydlig missfärgning av exponeringsvattnet samt en vit beläggning på proverna efter åldringen

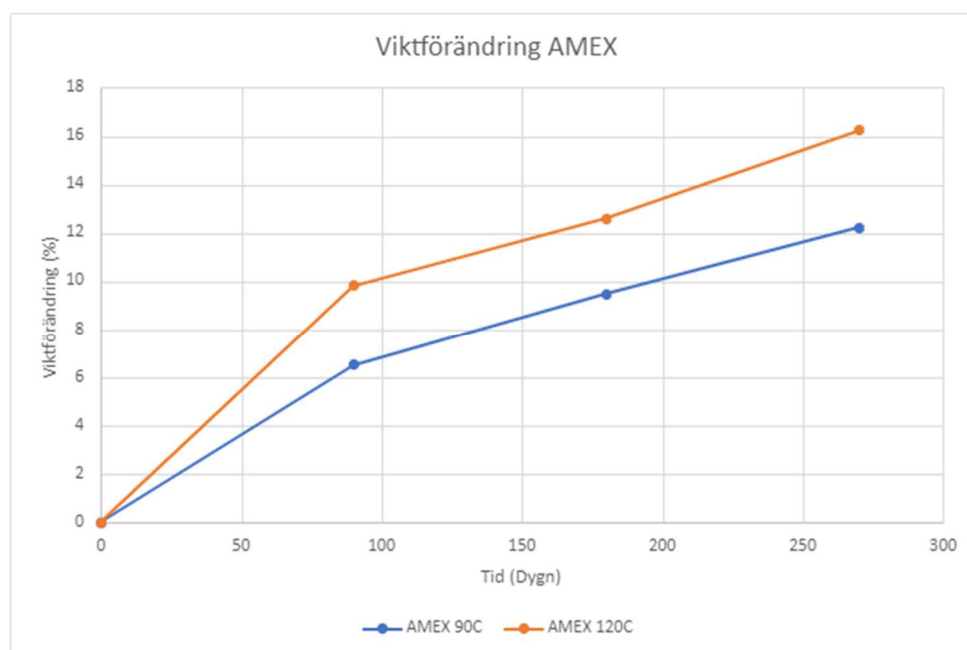
Vidare exponeringsstudie av AMEX-materialet

Då AMEX-gummimaterialet visade på goda egenskaper i den första screeningen så gjordes en mer systematisk studie av materialet för att bedöma dess förmåga att fungera som en packning i skarvkopplingarna. Prover skurna från en AMEX-kopplingspackning, se Figur 17, exponerades i 90 och 120°C i 3, 6 och 9 månader.



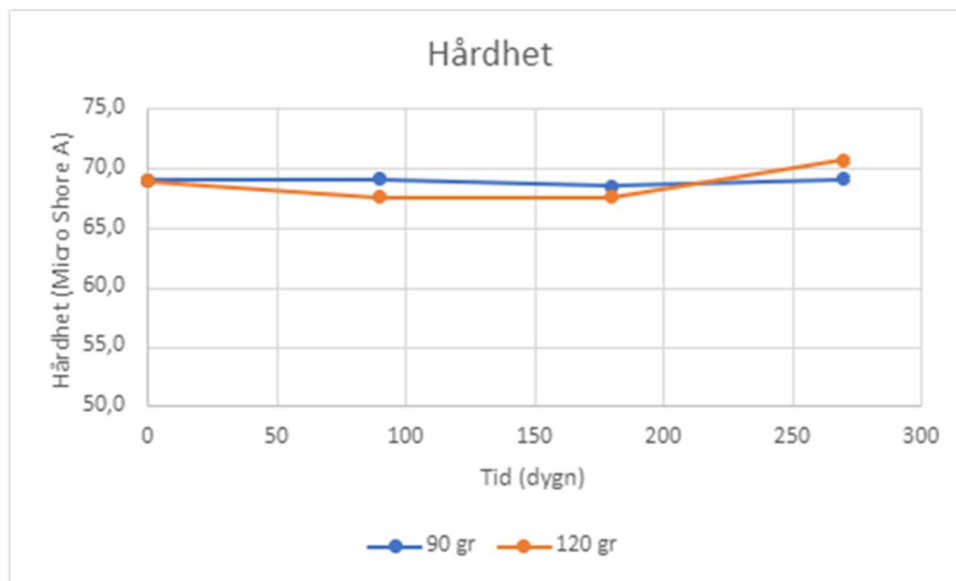
Figur 17. AMEX-gummi för skarvtätning

Viktupptaget visar inte på någon mättnad ens efter 9 månader och var något högre för provet som exponerades i 120°C, Figur 18.



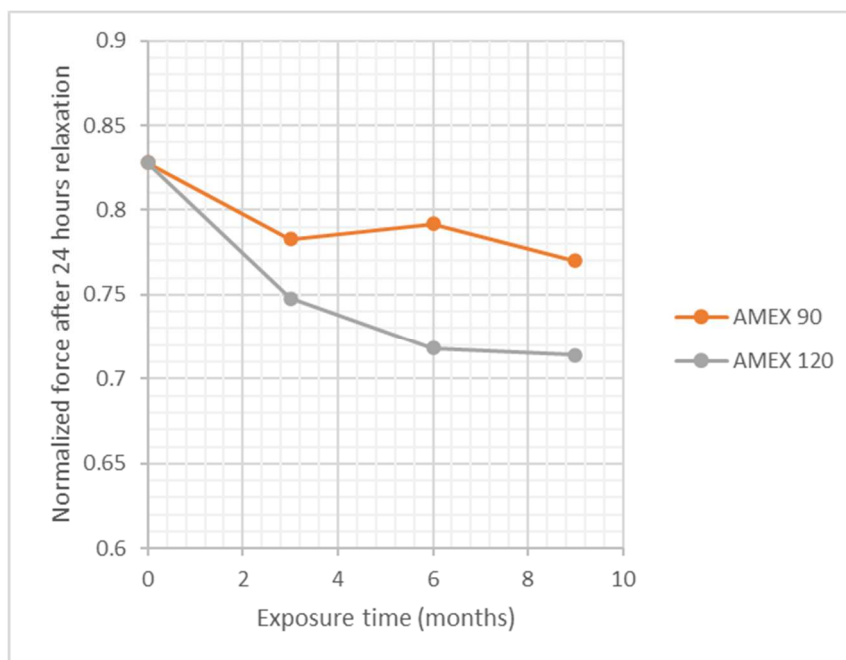
Figur 18. Viktförändringen av AMEX-gummimaterialet efter exponering för fjärrvärmevatten vid 90 och 120°C i upp till 9 månader.

Hårdheten av proverna ändrades inte i någon signifikant utsträckning under åldringen, se Figur 19



Figur 19. Hårdheten på AMEX-gummimaterialet efter exponering för fjärrvärmevatten vid 90 och 120°C i upp till 9 månader.

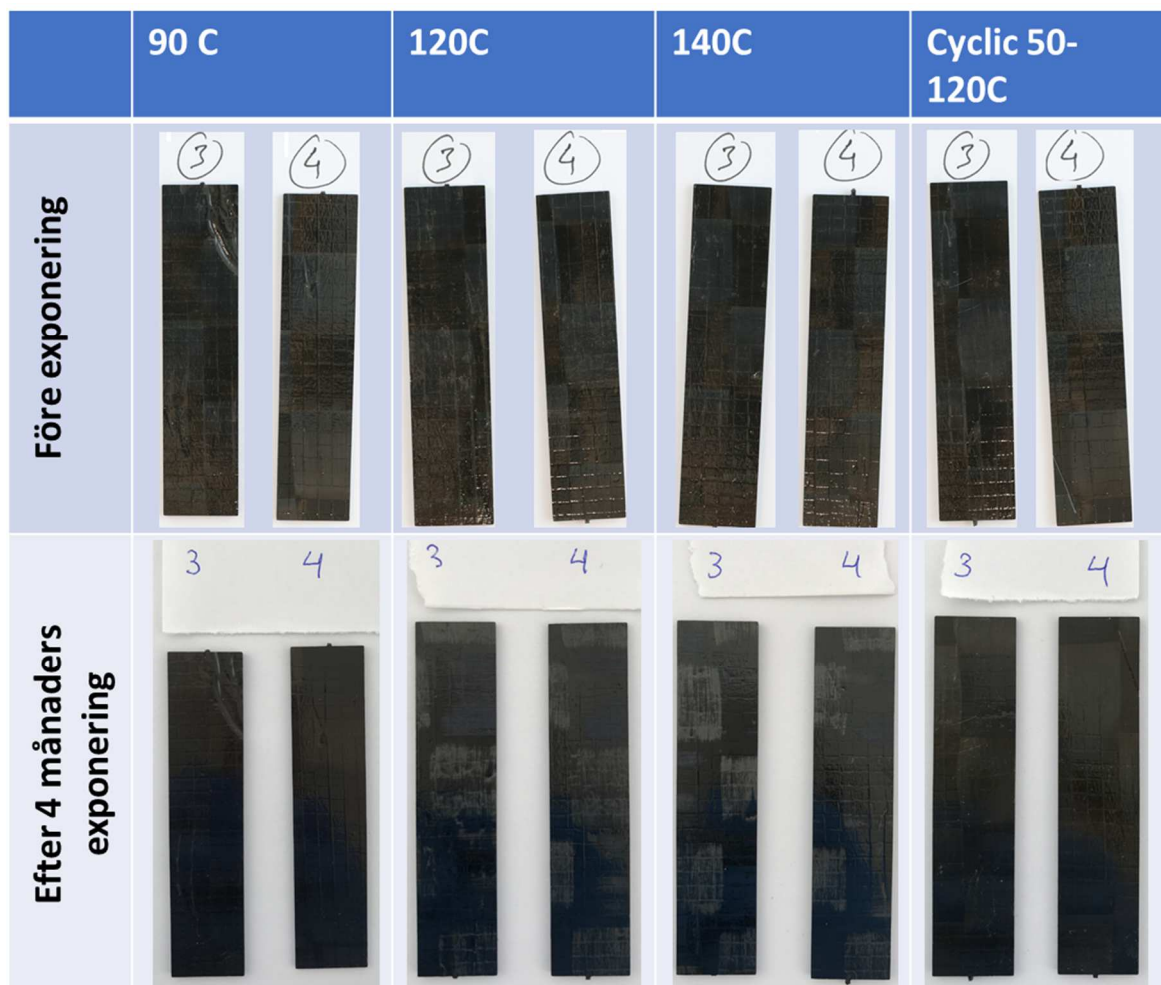
Spänningsrelaxationstester utfördes också genom att komprimera provet till 25 % av dess ursprungliga tjocklek och lämna det komprimerat i 24 timmar. Kompressionskraften mäts sedan mot tiden. Återhämtningen av provtjockleken mäts sedan 30 min efter att ha tagits ut från kompressionstestet. Relaxationstesterna visade att det finns en viss inverkan av åldring då materialet inte återtar deformationen lika snabbt som tidigare men som kan ses i Figur 20, planar förändringen i kompressionskraft ut efter en initial nedgång. Ofta används 50% som ett acceptanskriterium för spänningsrelaxation. I detta fall planar kurvorna ut långt innan den nivån är nådd.



Figur 20. Spänningsrelaxation av AMEX-gummimaterialet efter upp till 9 månaders exponering i fjärrvärmevatten i 90 och 120°C.

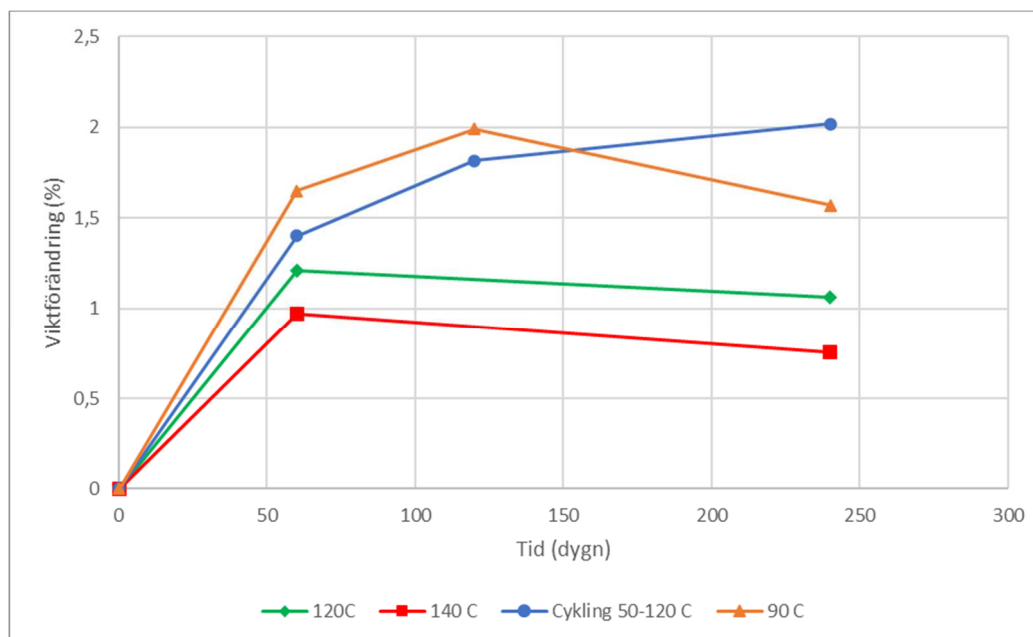
Exponering av laminat

Tillverkning av vakuuminjicerade och ugnshärdade paneler samt gjutning av fyrkantsrör gav möjlighet att skapa plana provföremål men med representativt material för mekanisk provning. Från detta material har provstavar tillverkats och åldrats i fjärrvärmevatten vid 90, 120 och 140 °C samt i temperatur cyklad mellan 50°C och 120°C. Prover har tagits ut efter 2, 4 och 8 månader. Figur 21 visar foton av proverna före och efter exponering i 4 månader för de fyra olika temperaturerna. Det mindre rutmönstret som ses på proverna är en inprint från filmen som användes vid tillverkningen. Det skall observeras att i detta fall exponeras även avskurna kolfiberändar i vattnet vilket inte är fallet i en verklig installation.



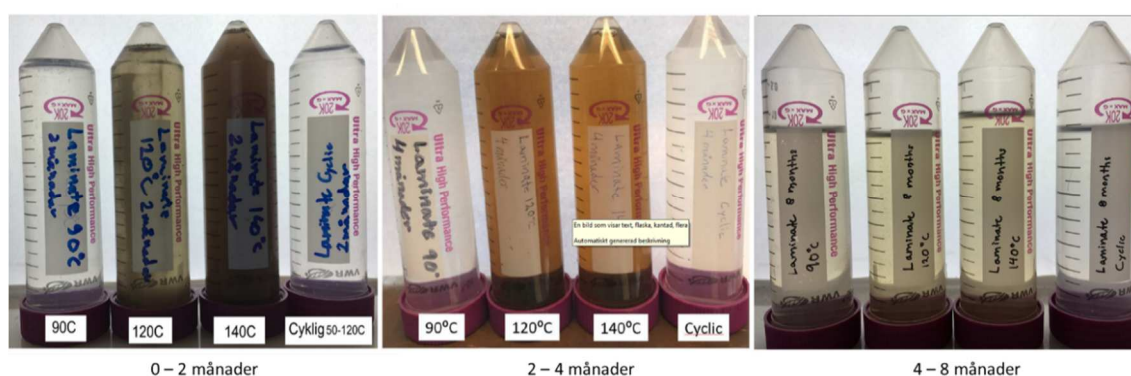
Figur 21. Laminatproverna före och efter exponering i 4 månader i fjärrvärmevatten i olika temperaturer.

Viktupptag för laminaten efter exponering för fjärrvärmevatten i 90°C, 120°C och 140°C samt i cyklad temperatur 50-120°C vid olika åldringstider kan ses i Figur 22. Inga data finns tyvärr för 120 och 140 °C vid 4 månader då dessa prover av misstag torkades ut innan mätning. Vad som kan ses är att proverna i 120 och 140°C inte har samma viktupptag efter 2 månader som de övriga proverna vilket indikerar att de har tappat en del vikt redan vid första upptaget. För dessa prover fanns det också ett sediment i exponeringsvattnet efter första uttaget. Då detta inte förekommit i någon av exponeringarna av rent harts antas de härröra från de avskurna fiberändarna. Det går även att se att viktupptaget för de lägre temperaturerna är lägre än vad det är för rena hartset, runt 2% mot 5% vilket är väntat då kolfibern inte tar upp något vatten.



Figur 22. Viktupptag för laminaten efter exponering för fjärrvärmevatten i 90°C, 120°C och 140°C samt i cyklad temperatur 50-120°C vid olika åldringstider. Inga data finns för 120 och 140 °C vid 4 månader då dessa prover av misstag torkades ut innan mätning.

Vattnet byttes vid varje uttag, sparades och analyserades med GC-MS för att studera urlakningen. Som kan ses i Figur 23 avtog färgen på vattnet för varje uttag. I vattnet från exponeringen 0-2 månader kan det framförallt för 120 och 140°C proverna ses en grumlighet från det sediment som avgått från proverna under exponeringen.



Figur 23. Vattnet från exponeringen i de fyra olika temperaturerna efter de tre olika exponeringsintervallen, 0-2 månader, 2-4 månader och 4-8 månader.

Tabell 2-4 visar resultatet från vattenanalysen. Inga lättflyktiga ämnen detekterades. Inte heller detekterades de ursprungliga komponenterna till hartset. Mängden urlakat material minskade kraftigt för varje uttag vilket visade att det är framförallt en initial urlakning som sedan saktar av.

Tabell 2. GCMS resultat, 2 månader 120 °C.

Retention time (min)	Concentration (µg/ml DEHP-d4 equiv)	Compopund	CAS#	Classifi cation
10.598	0.11	Phenol 2-methyl-	95-48-7	T
10.749	0.036	Benzyl alcohol	100-51-6	T
23.762	0.83	Triphenyl phosphate	115-86-6	T
25.396	0.92	Unknown		U
26.810	0.26	Phosphoric acid. bis[(1.1-dimethylethyl)phenyl] phenyl ester	65652-41-7	P
-	2.16	Sum of compounds above	-	-

Tabell 3. GCMS resultat, 4 månader 120 °C

Retention time (min)	Concentration (µg/ml DEHP-d4 equiv)	Compound	CAS#	Classifi cation
10.598	0.057	Phenol 2-methyl-	95-48-7	T
10.749	0.028	Benzyl alcohol	100-51-6	T
23.762	0.37	Triphenyl phosphate	115-86-6	T
25.396	0.41	Unknown		U
26.810	0.11	Phosphoric acid. bis[(1.1-dimethylethyl)phenyl] phenyl ester	65652-41-7	P
-	0.97	Sum of compounds above	-	-

Tabell 4. GCMS resultat, 8 månader 120 °C

Retention time (min)	Concentration (µg/ml DEHP-d4 equiv)	Compound	CAS#	Classifi cation
10.598	0.036	Phenol 2-methyl-	95-48-7	T
10.749	0.013	Benzyl alcohol	100-51-6	T
23.762	0.31	Triphenyl phosphate	115-86-6	T
25.396	0.34	Unknown		U
26.810	0.09	Phosphoric acid. bis[(1.1-dimethylethyl)phenyl] phenyl ester	65652-41-7	P
-	0.79	Sum of compounds above	-	-

Masspektra för de påträffade föreningarna identifierades genom jämförelse med ett referensbibliotek (NIST). De har klassificerat som oidentifierat (U), möjligt (P) och tentativt (T) beroende på matchningen i referensbiblioteket. Rapportgräns, 30 µg/l.

Ingen av de detekterade ämnena finns i ECHA:s lista över särskilt farliga ämnen.

Föreningen fenol 2-metyl- (p-kresol) har faroklassificeringar; Akut Tox. 3 Dermal - Akut Tox. 3 Oral - Aquatic Chronic 2 - Eye Dam. 1 - Skin Corr. IB. Inga andra föreningar med faroklassificering identifierades. Dock är koncentrationerna som hittades i vattnet betydligt lägre än gällande gränsvärden.

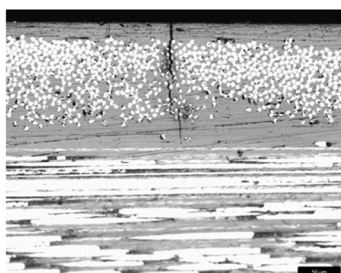
Sprickdensitetsmätningar och dragprov

I sprickdensitetsmätningar dragbelastas en provstav genom inkrementellt ökande töjningsnivåer och antalet matrisprickor som uppstår vid varje töjningsnivå räknas. Detta innefattar en detaljerad mikroskopistudie vilket ger bra information om hur laminatet ser ut och hur/när skador uppstår. Två provstavar (icke åldrade) polerades och testades. För varje töjningsnivå avlastas provstaven och en sträcka på 25 mm längs kanterna undersöks i mikroskop för att detektera sprickor. Undersökningen ger en uppfattning om skadetåligheten hos laminatet samt ger input till skad modellen, där de termoelastiska egenskaperna beror på sprickdensiteten (antal sprickor per mm) ifall laminatet är skadat. Resultatet visas i Tabell 5, och exempel på skador i Figur 24.

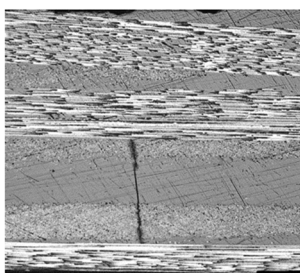
Tabell 5. Resultat från sprickdensitetsmätning (antal transversella sprickor) på icke åldrat laminat

	Pålagd spänning / töjning							
	86 MPa / 0.2 %		172 MPa / 0.4 %		258 MPa / 0.6 %		344 MPa / 0.8 %	
Provstav ID	Intern spricka	Extern spricka	Intern spricka	Extern spricka	Intern spricka	Extern spricka	Intern spricka	Extern spricka
Sp. 1	0	0	0	0	0	1	0	2
Sp. 2	0	0	0	1	1	3	5	6

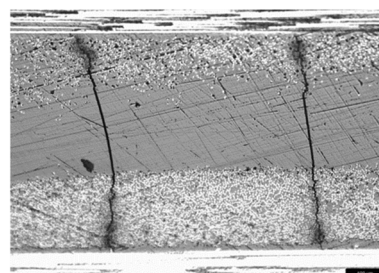
Provstav 1: 344 MPa, extern spricka



Provstav 2: 258 MPa, intern spricka



Provstav 2: 344 MPa, interna sprickor



Figur 24. Transversella sprickor från kanten av provstavarna i dragbelastning

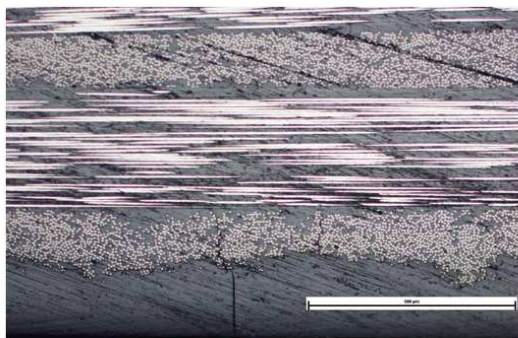
För åldrade prover gjordes dragprover där töjningen mättes genom digital bildkorrelation (DIC), en optisk metod som mäter relativa förskjutningar av ett speckelmönster på provstaven. Mätningen görs på ett 90°-band som ligger ytterst

på provstaven, vilket gör att ytsprickor kan detekteras samtidigt som de klassiska egenskaperna som E-modul och brottspänning mäts i samma prov. Resultatet för de åldrade proverna samt referens (ej åldrat) kan ses i Tabell 6. För referensproverna är resultatet ett genomsnitt för tre provstavar, och för de åldrade ett genomsnitt av två provstavar. Provningsen skedde vid rumstemperatur. σ och ε ytspricka 1 anger vid vilken spänning och töjning som första ytspricka detekterades. Om värdet är 0 innebär det att det fanns minst en spricka inom mätområdet redan innan belastning. En intressant iakttagelse är att åldringen initialt inte har en negativ påverkan på de mekaniska egenskaperna, snarare tvärtom, både styrkan och töjningen till brott ökar. Det kan möjligtvis förklaras av ytterligare efterhärdning av proverna samt en mjukgörande effekt av fukten i provstavarna.

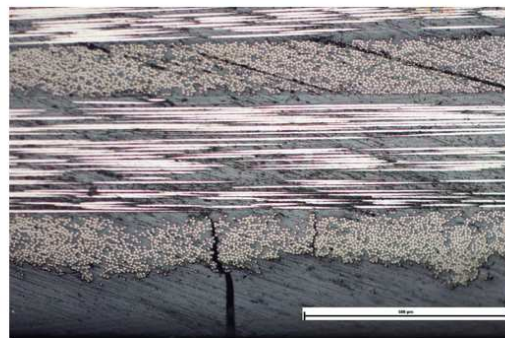
Tabell 6. Resultat från dragprov och töjningsmätning genom DIC

	σ ytspricka 1 (MPa)	σ brott (MPa)	Global ε ytspricka 1 (%)	ε brott (%)
Referens	158	437	0.38	1.00
Cyklad 50-120 °C 2 mån	443	625	0.97	1.31
Cyklad 50-120 °C 4 mån	183	482	0.45	1.14
90 °C, 2 mån	402	543	0.98	1.27
90 °C, 4 mån	199	615	0.44	1.24
120 °C, 2 mån	268	520	0.58	1.07
120 °C, 4 mån	0	575	0	1.28
140 °C, 2 mån	0	541	0	1.24
140 °C, 4 mån	0	575	0	1.24

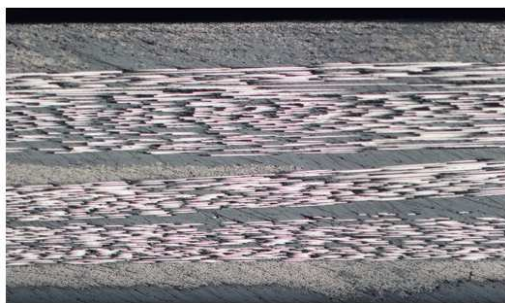
För de laminat som åldrades i 8 månader valdes istället för mekanisk provning att göra en mikroskopiundersökning för att se eventuella skador som uppkommit genom åldringen, se Figur 25-28.



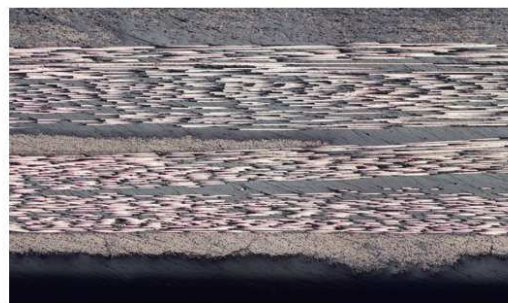
Ytspricka, vått laminat



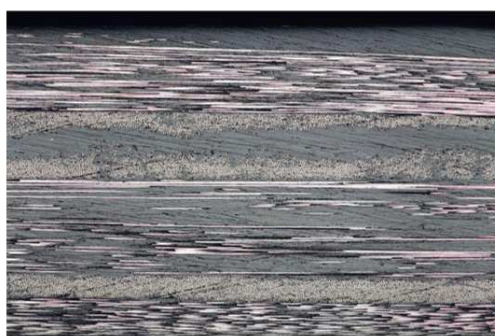
Torkad 48h 70 °C

Figur 25. Ytsprickor i laminat åldrade 8 månader, 90 °C

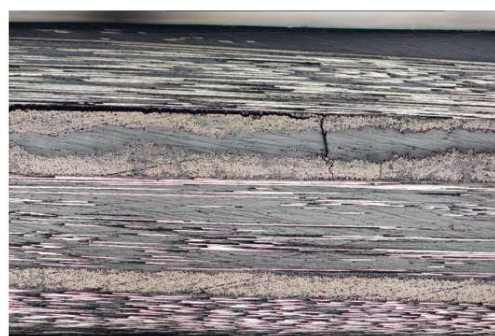
Vått laminat



Torkad 48h 70 °C

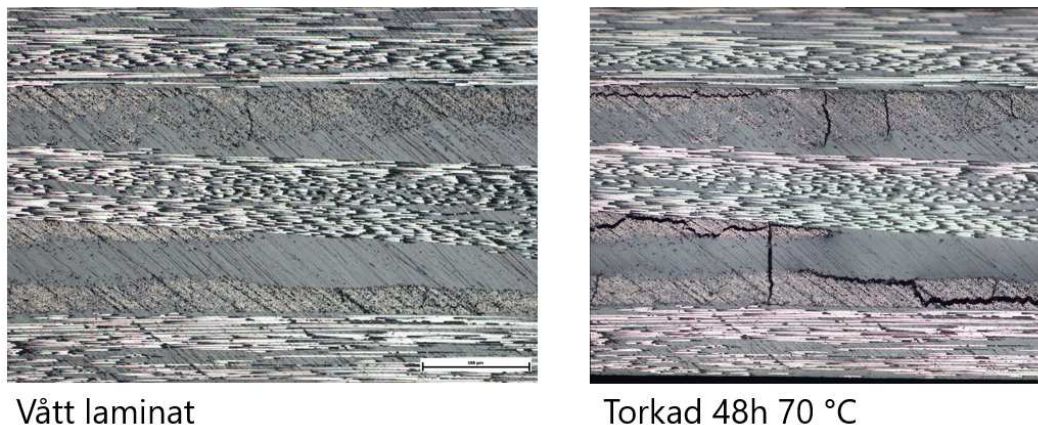
Figur 26. Ytsprickor i laminat åldrade 8 månader, cyklad 50-120 °C

Vått laminat



Torkad 48h 70 °C

Figur 27. En inre spricka och delaminering som uppkom efter torkning. Laminat åldrade 8 månader, 120 °C



Figur 28. Laminat åldrade 8 månader, 140 °C, enstaka transversella sprickor invändigt i vått tillstånd, men mer omfattande sprickbildning efter uttorkning.

Sprickor börjar alltid från fria kanter (dvs kupongprover är sannolikt mer skadebenägna än en sluten rörsektion). Från mikroskopiundersökningen kan det konstateras att inga inre sprickor har uppkommit efter 8 månader i 90 °C. Det fanns enstaka ytsprickor för vått laminat, och fler ytsprickor uppstod efter torkning. Inga inre sprickor fanns efter 8 månader i proverna som cyklats 50-120 °C, endast enstaka ytsprickor syntes efter torkning. Enstaka yttre sprickor kunde ses efter 8 månader i 120 °C, däremot inga synliga inre sprickor för vått laminat. Enstaka inre sprickor och en delaminering uppstod efter torkning. Efter 8 månader i 140 °C kunde enstaka inre och yttre sprickor ses i vått laminat, fler sprickor och delamineringar uppstod dock efter torkning. Det ska tilläggas att 140 °C i vatten innebär en accelererad åldring i en betydligt tuffare miljö än exempelvis 120 °C, vilket i sin tur endast sker genom enstaka temperaturtoppar för ett typiskt fjärrvärmesystem under drift per år.

Metoder för monitorering, statusbedömning och kvalitetsäkring

Kvalitetskontroll efter härdning

En uppgift under projektet har varit att identifiera möjliga detektionssystem som skulle kunna användas för att verifiera kvaliteten på en linerinstallation.

En analysmetod som utvärderats är NDT-testning med ultraljudsmetoden DolphiCam som testades på en härdad liner. Den analyserade kolfiberlinern hade förberetts genom att läckor som identifierats vid tidigare trycktest hade märkts ut, se Figur 29. Genom att skanna rörsektionen från utsidan med hjälp av en specialrigg analyserades hela röret, (tanken är dock att röret skall kunna skannas inifrån vid en riktig installation). Det visade sig inte vara möjligt att identifiera de små läckagepunkterna på de genererade analysbilderna. Slutsatsen drogs att denna NDT- teknik är mer lämpad för att upptäcka större defekter som delamineringar och inte små luftinneslutningar, porositet och eventuella mikrosprickor som genererar läckor.

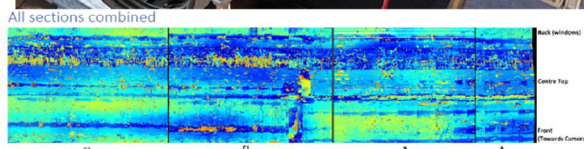


Figure 15: TOF Stitch of all sections combined

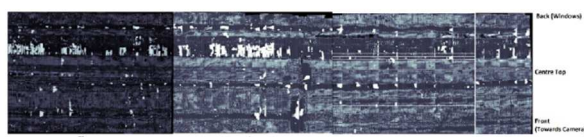


Figure 16: AMP Stitch of all sections combined

Figur 29: NDT med DolphiCam på härdat rör (ovan) och resultat som ej är tydliga nog att detektera läckagepunkter (nedan)

Efter att ha utvärderat andra möjliga NDT-system och tittat på deras begränsningar drogs slutsatsen att det mest tillförlitliga sättet att kvalitetsverifiera produkten efter en installation är att säkra att själva linern producerats enligt korrekt process och att installationen har gjorts enligt instruktionsmanualen, detta inklusive att härdningsparametrarna, såsom temperatur och tryck, följt gällande härdcykel och loggats. Temperaturen kan övervakas med hjälp av ex. detektionstrådsystem som loggar temperaturen över hela linerns längd under härdprocessen för att verifiera att kompositen har härdats till rätt nivå. Detta system är fortfarande under övervägande och något som PPR kan komma att inkludera i produkten inom en snar framtid.

Redan idag, efter alla genomförda CarboSeal-installationer, görs en visuell inspektion av hela linerlängden med hjälp av en CCTV-kamera monterad på ett litet fordon som körs inuti det rehabiliterade röret. På så sätt kan kvalitetsbedömningen göras visuellt och avvikelser som veck och eventuella torrfläckar etc. kan identifieras.

En alternativ metod skulle vara att systematiskt härda en något längre liner än vad som matchar ledningen (genom till exempel i ett påskrvat löst stålrör) som sedan kan avlägsnas och analyseras med avseende på Tg, ringhållfasthet, porositet etc.

Analys och undersökning av liner som varit i drift

En av de tidigare pilotinstallationerna HWQ/Pollex hade installerat under 2017 var i ett kondensatrör för ångbaserad fjärrvärme vid Fredens Bro i Köpenhamn. När

ledningen togs ur drift permanent under 2019 levererades en rörbit inklusive infodringen till RISE SICOMP för analys efter den hade varit i drift i 2 år.

Röret skars i mindre bitar för att möjliggöra analys enligt Figur 30.



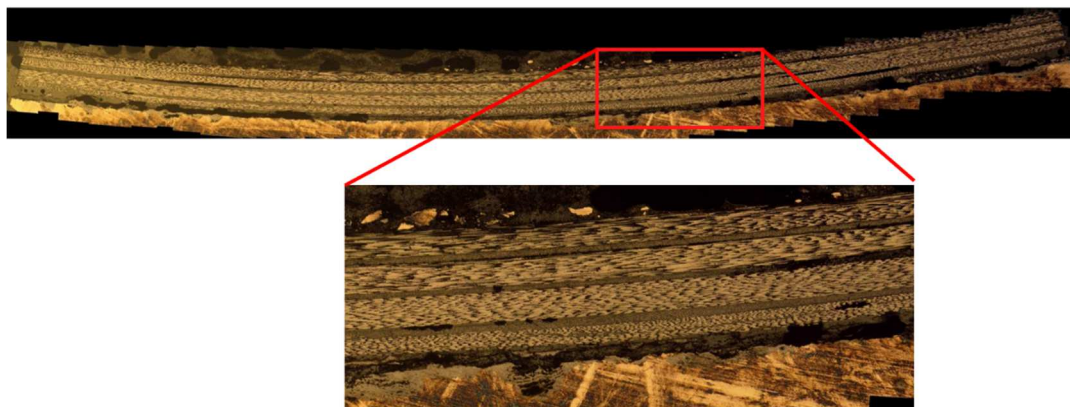
Figur 30: Det avvecklade och utgrävda stålröret inklusive infodringen skars i mindre bitar för att möjliggöra analys

Delarna gjöts sedan in i hartspuckar och polerades och förbereddes för mikroskopianalys som kan ses i Figur 31.



Figur 31: Bitar från infodringen för mikroskopianalys

Mikroskopibilder (Figur 32) visade ingen tendens till sprickor, inga tecken på galvanisk korrosion mellan linern och stålröret (eftersom detta foder inte hade någon yttre folie mellan dessa två element) och inga tecken på någon tydlig delaminering efter drift i ca 2 år.



Figur 32: Mikroskopibilder från tvärsnitt av infordringen

Kommersialisering av produkten

Vid projektets start hade HWQ/PPR redan jobbat med att försöka ta fram en fungerande liner för fjärrvärmerör i 8 år. Trots ett omfattande arbete med flertalet undersökningar genom forskningsprojekt och flertalet pilotprojekt, samt ett aktivt samarbete med materialleverantören Oxeon, hade produkten inte nått en teknisk lösning för täthet. Det fanns heller inte en metod för att möjliggöra uppskalning av tillverkningen.

Utvecklingsprocessen för att ta fram en tät reliningprodukt var bitvis mycket komplex eftersom varje produkttest behövde realiseras genom verklig tillverkningsmetod och därmed genomgå ett tidsödande och flera dagar långt testförfarande via linertillverkning, teströrspreparering, linerhärdning via ångprocess samt täthetskontroll med vatten.

Oxeon tog under projektet över PPR från HWQ för att ytterligare kunna fokusera på utvecklingen av en fungerande lösning.

En stor mängd linervarianter, analyser och processjusteringar utfördes via en mycket omfattande, noggrann, strukturerad, väldokumenterad och processtyrd utvecklingsmetodik som slutligen ledde fram till en fungerande och tät linerlösning som mötte kraven. Tillsammans med en extern samarbetspart säkrades även produktionsuppskalningsmöjligheten för den utvecklade produkten inför lansering till marknaden.

Den 1a juni 2021 lanserades CarboSeal till fjärrvärmemarknaden som en relininglösning för fjärrvärmerör. Dokumentation såsom installationsmanual har tagits fram för att säkerställa kvalitet och säkerhet i samband med installation.

Beräkningsmodeller utvecklades för att designa linerkonstruktionen för olika DN-storlekar med korrekt materialkomposition baserat på maximal töjning. Linerdesign för CarboSeal från DN100 upp till DN800 finns tillgängliga. De mekaniska konstruktionsvärdena för materialet togs från de tester som genomfördes i projektet.



Figur 33: CarboSeal logotyp släppt vid produktlanceringen 1 juni 2021

Två pilotinstallationer har utförts under projektet.

Norrenergi, Rissneleden 2021

- Material: TeXtreme kolfiberväv, PPR harts och Aramid sprängpåse
- Dimension: DN 300, 2 x 48m
- Installerad av POLLEX

Norrenergi kom till PPR med en förfrågan om en mycket utmanande fjärrvärmerehabilitering. Ett läckande fjärrvärmerör som löper under en hårt trafikerad väg med enorma svårigheter att schakta och byta ut röret.

Eftersom placeringen av den närmsta ledningskammaren låg flera meter under markytan var det inte möjligt att påbörja reliningen från denna plats som normalt sett görs. Fjärrvärmeröret hade tidigare reducerats i diameter i närliggande delar av ledningen så rörsektionen för reliningjobbet hade två dimensionsförändringar, en DN300 till DN400 och sedan åter till DN300. Det fanns också en böj på ca 10 grader och en kompensator vid DN400-sektionen att ta hänsyn till. Kompensatorn var lokaliserad i den icke-tillgängliga kammaren.

Det fanns flera utmaningar med installationen. Dimensionsförändringar, en böj och kompensatorn finns inte normalt sett i en ledning för relining. Efter undersökningar och diskussioner föreslogs att installera en DN300 CarboSeal hela längden, inklusive DN400 sträckan, och att härda denna inuti en sprängpåse som höll måtten DN300. På så sätt kunde CarboSeal gå rakt igenom kompensatorn och jämna ut böjen eftersom fodret kan ta en större radie genom kröken.

En testtrigg som simulerar installationens utmaningar utvecklades av Oxeon/PPR i Borås. Flera varianter av sprängpåsar utvärderades och testades för att verifiera att de kunde stå emot krafterna under härdning. (Figur 34).



Figur 34: Olika sprängpåsar utvärderades (vänster och mitten) genom att använda en testrigg (höger)

När en fungerande sprängpåse hade identifierats utfördes ett test för att verifiera dimensionsförändringarna och böjen i testriggen, Figur 35.

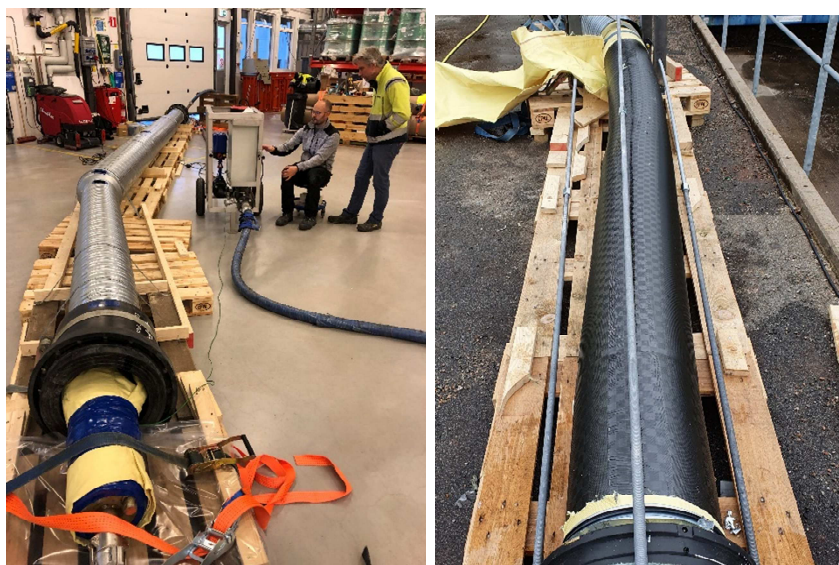


Figure 35: Testriggen för att verifiera dimensionsförändringarna och böjen i testriggen

Testerna gick bra vilket tillsammans med Norrenergi möjliggjorde ett beslut om att genomföra den skarpa installationen. Installationen gjordes under 8 dagar i mars 2021 där båda rören rehabiliterades framgångsrikt och var sedan redo att anslutas till fjärrvärmenätet igen. Denna relining kunde göras helt utan att störa trafiken på Rissneleden ovanför röret. Den rehabiliterade sektionen togs i drift igen efter att nätägaren genomfört ett framgångsrikt trycktest för att verifiera CarboSeals prestanda. (Figur 36 och 37).



Figur 36: Installation under Rissneleden

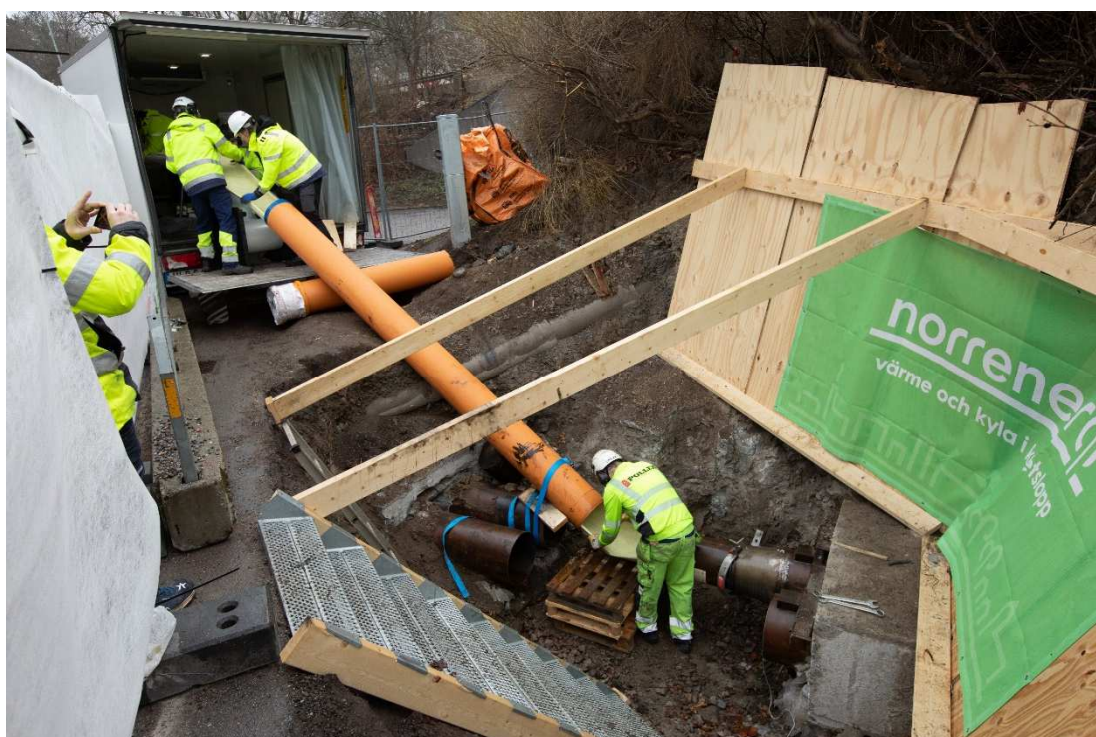


Figure 37: CarboSeal dras in i röret under Rissneleden

EON, Södra Grängesbergsgatan Malmö, 2021

- Material: TeXtreme kolfiberväv, PPR harts
- Dimension: DN 100, 2 x 54m
- Installerad av POLLEX

EON kom till PPR med en fjärrvärmerörsektion tidigare installerad via styrd borrhning som inte använts på några år på grund av läckage. Sektionen hade borrats i bågform med 5 m höjdskillnad från högsta till lägsta punkt. Den lägsta punkten låg i mitten av sektionen. Ledningen låg precis under en trafikerad korsning med tung trafik och vägar som var komplicerade att stänga under en ev. schaktning, därav den tidigare styrda borrhningen.

Utmaningarna under detta installationsprojekt var den mindre DN100-dimensionen, som inte hade prövats tidigare, samt att få ut kondensatvattnet, då rörets form samlade vattnet på mitten av rörlängden.

För detta projekt utvecklade AMEX Sanivar ändtätningar som skulle passa den mindre dimension. Dessa ändtätningar måste verifieras före installationen. En mindre testrigg konstruerades för att kunna härda DN100 CarboSeal linern och verifiera den nya typen av ändtättningsmontering. (Figur 38).

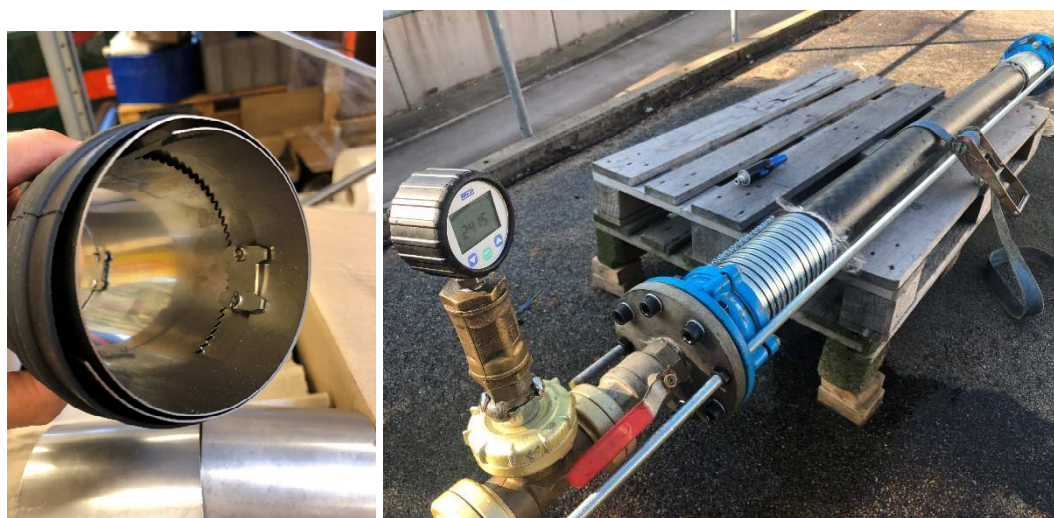


Figure 38: AMEX ändtätningar för DN100 (vänster) trycktestas vid linertest (höger)

En vidare utmaning var att komma på en lösning på hur kondensslangen ska installeras i produkten utan att skada den. Under tillverkningen av linern placerades ett tunt dragsnöre inuti linern. Detta snöre användes sedan för att dra in kondensatslangen till mitten av ledningen.

DN100 CarboSeal och den nya ändtättningslösningen klarade testriggtesterna och installationen i Malmö planerades till november 2021. Grundvatten hade infiltrerat ett av rören kraftigt men detta avlägsnades innan CarboSeal-installationen. Båda rören härddades (bild 39) samtidigt och hela installationen var klar på bara 4 arbetsdagar. Linern klarade trycktestet och ledningen togs sedan åter i drift.

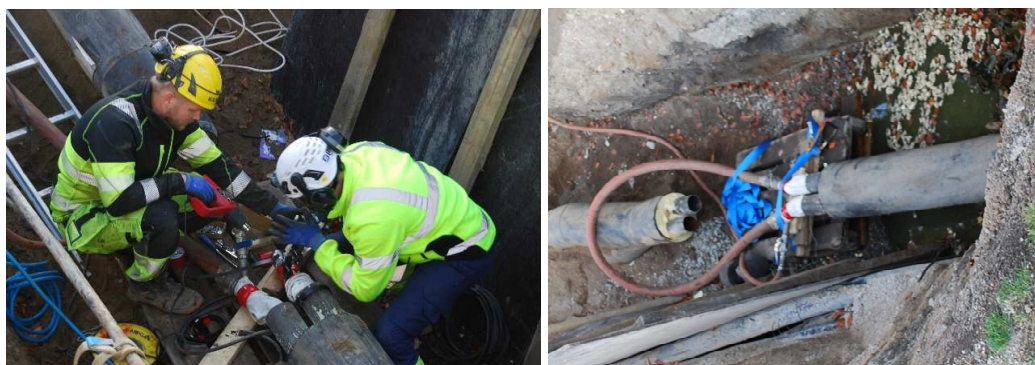


Figure 39: Installation under korsningen i Malmö (topp) båda rören härdades samtidigt (nedre två)

Diskussion och slutsatser

Åldringsförsök på clear casts (rent harts utan kolfiber) har gjorts i 85, 90, 120 och 140 °C vatten samt cyklad temperatur mellan 50-120 °C i upp till 16 månader. Åldringen har studerats visuellt, genom viktförändring, med hjälp av FTIR och DSC analyser samt med mekanisk provning. Försöken visar att proverna når en mättnad av vatten på ca 5% inom en vecka i 120 och 140 °C och efter ett antal veckor i de lägre temperaturerna. För provet exponerat för 140 °C sker sedan en viktförlust efter ca 14 dagar som fortsätter långsamt under hela exponeringstiden. För 120 °C noteras en viktförlust men den är betydligt mindre och uppträder senare. Proverna åldrade vid de lägre temperaturerna, dvs de normala driftstemperaturerna för fjärrvärme, tappar inte nämnvärt i vikt ens efter 16 månaders exponering i vatten. Proverna blir svarta på ytan av åldringen men den kemiska förändringen av hartset ser främst ut att vara en yteffekt.

Åldringsförsöken på rent harts visar att materialet har en relativt god motståndskraft mot den mycket aggressiva miljön men vi noterar förändringar i egenskaper som vi inte hade förväntat oss baserat på erfarenheterna från det förra projektet. Den totala viktförlusten är dock mycket låg även vid de högsta temperaturerna. Orsaken till dessa förändringar har inte kunnat fastställas, samt hur stor betydelse de för installationens livslängd, dvs. om dessa kemiska förändringar verkligen reducerar eller påverkar laminatets prestation på sikt. Sprickdensiteten ökar dock med ökande åldringstemperatur.

Åldring av laminat har också genomförts och visar som väntat ett lägre viktupptag än clear cast, då fibrerna inte tar upp fukt. Laminatstudierna gav i övrigt samma observationer som för clear cast vad gäller viktförlust i de högsta temperaturerna men visade på bra stabilitet vid de lägre och i den cyklade temperaturen. Analys av vattnet efter laminatexponering visade på väldigt få detekterade ämnen som ingen av dem finns i ECHA:s lista över särskilt farliga ämnen.

Förutom arbetet med hartset till infodringen så har även åldringsstudier av alternativa material att använda i installationen gjorts. Ett av två alternativa gummimaterial till packningen i skarvkopplingarna visade sig ha mycket god potential till lång livslängd i den extrema miljön i fjärrvärmerören. Åldring av alternativt harts visade på stor nedbrytning, redan på kort tid. Detta visar på hur aggressiv miljön i fjärrvärmerören kan vara för polymera material.

Det har tagit längre tid än väntat att utveckla en infodring som är relevant och representativ för livslängdsbedömningen. Mycket tid och resurser har lagts på att erhålla en tät liner och nu finns en tillverkningsteknik som levererar detta. För att nå hit har bland annat omfattande produktionskörningar genomförts för att tillverka den impregnerad linern och därtill har ett stort antal hårdningar samt trycktester av liner även utförts. Detta arbete har varit resurskrävande men endast genom det strukturerade arbetsmetodiken som används har resultatet uppnåtts. De två pilotinstallationerna som genomförts under projektets gång visar på funktion för produkten som nu erbjuds till marknaden.

En dimensioneringsmetodik för kompositlinern som tar hänsyn till hur materialets egenskaper beror på temperatur och fukt har tagits fram i projektet. Oxeon/PPR använder denna för dimensionering av olika rörinfodringars storlekar, för en dimensionerad provtryckningslast 24 bar (och inte på driftstryck 16 bar). Vidare beräknas och testas CarboSeal helt utan support från ursprungligt moderrör. Dessa förutsättningar ger produkten en större säkerhetsmarginal i drift.

PPR arbetar systematiskt vidare på att ytterligare vidareutveckla och optimera hartset för att öka beständigheten i den extrema miljön som kan förekomma i ett fjärrvärmerör.

Publikationslista

Inga

Referenser, källor

Vinnovaprojekt Relining av fjärrvärmerör Dnr 2014-00421

Bilagor

Inga