
Svenskt Vatten

UTVECKLING

Rapport
Nr 2021-14

Flexibla foder – kunskapsöversikt och statusbedömning av driftsatta foder

Love Pallon
Erik Marklund
Olle Persson
Thomas Johansson

Svenskt Vatten

UTVECKLING

Svenskt Vatten Utveckling (SVU) är kommunernas eget FoU-program om kommunal VA-teknik. Programmet finansieras i sin helhet av kommunerna. Programmet lägger tonvikten på tillämpad forskning och utveckling inom det kommunala VA-området.

Författarna är ensamt ansvariga för rapportens innehåll, varför detta ej kan åberopas såsom representerande Svenskt Vattens ståndpunkt.

Svenskt Vatten Utveckling

Svenskt Vatten AB

POSTADRESS BOX 14057, 167 14 Bromma

BESÖKSADRESS Gustavslundsvägen 12, 167 51 Bromma

TELEFON 08-506 002 00

E-MAIL svensktvatten@svensktvatten.se

www.svensktvatten.se

RAPPORTENS TITEL	Flexibla foder – kunskapsöversikt och statusbedömning av driftsatta foder
TITLE OF THE REPORT	CIPP-liners – knowledge review and assessment of used liners
FÖRFATTARE	Love Pallon, Erik Marklund och Olle Persson, RISE, Thomas Johansson, Renovera VA i Väst AB
RAPPORTNUMMER	2021-14
ANTAL SIDOR	125
SAMMANDRAG	Flexibla foder är den mest använda metoden för renovering av avloppsledningar i Sverige. Tekniken är ett viktigt inslag för ökad ledningsförnyelse eftersom ledningsnätet börjar bli ålderstiget. Schaktfri ledningsrenovering genom platshärdade flexibla foder är en kostnadseffektiv och miljömässigt fördelaktig metod. Projektet har provat upp till 25 år gamla driftsatta rördelar. Rapporten beskriver resultaten, och ger förslag och exempel på metoder för kvalitetssäkring samt råd för upphandling.
SUMMARY	The report contains literature review of CIPP-liners, their characteristics and quality assurance practices in Sweden and other countries. Testing and analysis of CIPP-liners which have been in use for up to 25 years. Advice and examples concerning quality assurance and procurement are also a part of the report.
SÖKORD	Flexibla foder, självfallsledningar, VA-ledningssystem, EN ISO 11296-4
KEYWORDS	CIPP, cured in place pipes, EN ISO 11296-4
MÅLGRUPPER	Kommuners VA-förvaltningar/bolag, teknikonsulter inom VA, entreprenörer inom anläggning, leverantörer inom VA, forskare inom VA-ledningsnät
RAPPORT	Finns att hämta hem som pdf från Vattenbokhandeln. https://vattenbokhandeln.svensktvatten.se/
UTGIVNINGÅR	2021
UTGIVARE	© Svenskt Vatten AB
REFERENS	Pallon L., Marklund E., Persson O. och Johansson T. (2021). Flexibla foder – kunskapsöversikt och statusbedömning av driftsatta foder. SVU-rapport 2021-14. Stockholm, Svenskt Vatten.

Om projektet

PROJEKTNUMMER	17-120
PROJEKTETS NAMN	Förnyelse med platshärdade flexibla foder – erfarenheter & framtida utveckling
PROJEKTETS FINANSIERING	Svenskt Vatten Utveckling, InfraSweden2030 med stöd från Vinnova, Energimyndigheten och Formas (Dnr. 2018-00672), Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond, Scandinavian Society for Trenchless Technology

Förord

Renovering av självfallsledningarna med flexibla foder är en vanlig metod i Sverige. Ökad kunskap har efterfrågats av beställare, entreprenörer och institut. Kunskapsökning och kunskapsspridning angående flexibla foder, dess egenskaper, upphandlingar och provningar har varit utgångspunkten i projektet.

Rapporten har skrivits av en arbetsgrupp inom RISE Research Institutes of Sweden AB och Renovera VA i Väst AB. Arbetet har pågått under perioden maj 2018 till januari 2021. Referensgruppen har bestått av representanter från 4S Ledningsnät (Kretslopp och Vatten samt SVOA), Aarsleff Rörteknik AB, NCC NoDig, Avloppsfallarna AB, InPipe Sweden AB, Svenskt Vatten AB, Trafikverket, Nordvästra Skånes Vatten och Avlopp (NSVA) samt Oslo VAV.

Ett antal kommuner har bidragit genom att gräva upp flexibla foder som har varit i drift. Utan dessa bidrag hade det inte gått att driva projektet i mål. Ledningsägare/kommuner som projektet tacksam har tagit emot foder från är Öckerö kommun, Växjö kommun, Halmstad kommun, Skövde kommun, Nordvästra Skånes Vatten och Avlopp (NSVA), Göteborgs stad Kretslopp och Vatten samt Stockholm Vatten och Avfall.

Under projektets gång har flera andra personer utanför referensgruppen, bland annat hos Svenskt Vatten, haft synpunkter och kommit med råd. Vi är mycket tacksamma för det engagemang som så många har visat under projektet.

Författarna

Innehåll

Förord	2
Sammanfattning	5
Summary	6
1 Inledning	7
1.1 Bakgrund till projektet	7
1.2 Projektmål	7
1.3 Effektmål	8
1.4 Projekts avgränsningar (urval)	8
2 Platshärdade flexibla foder – litteraturstudie	9
2.1 Utveckling av flexibla foder	9
2.2 Uppbyggnad av platshärdade flexibla foder	11
2.3 Harts	12
2.4 Härdning	13
2.5 Bärarmaterial och armering av foder	14
2.6 Miljömässiga aspekter	16
2.7 Mekaniska egenskaper	18
2.8 Tillverkningsaspekter	23
2.9 Spalt	25
2.10 Kvalitetskontroll vid och efter installation	26
2.11 Livstid hos flexibla foder	27
3 Omvärldsanalys	30
3.1 Tyskland	30
3.2 Nederländerna	32
3.3 Danmark	32
3.4 Norge	33
3.5 Storbritannien	35
3.6 Irland	36
3.7 Forskningsstudier på driftsatta system	36
4 Råd och exempel vid upphandling av flexibla foder	39
4.1 Syfte och avgränsningar	39
4.2 Funktionsbaserad kravställning	39
4.3 Materialperspektiv vid kravställning på typen av flexibla foder	41
5 Kvalitetskontroll av flexibla foder	43
5.1 Bakgrund	43
5.2 Avgränsningar	43
5.3 Litteraturstudie	43
5.4 Framtiden för kvalitetssäkring av flexibla foder	44
5.5 Exempel på olika system för kvalitetssäkring av tredje part	45
5.6 Vikten av terminologi i datablad och beställningar	49
6 Proving och utvärdering av driftsatta flexibla foder	50
6.1 Introduktion	50
6.2 Statuskontroll och analysmetoder	51
6.3 Resultat och diskussion	59
6.4 Slutsatser och kommentarer	86
7 Lärdomar och diskussion	89
8 Framtida arbete	90
Referenser	91

Bilaga A Funktionskravmatris	94
Bilaga B Exempel på texter till ett ramavtal. Administrativa föreskrifter	101
Bilaga C Exempel på texter till ett ramavtal. Teknisk beskrivning	107
Bilaga D Exempel på texter till ett ramavtal. Å-prislista	120
Bilaga E Exempel på protokoll för provbitsunderlag.....	125

Sammanfattning

Flexibla foder är den mest använda metoden för renovering av avloppsledningar i Sverige. Tekniken är ett viktigt inslag för ökad ledningsförnyelse eftersom ledningsnätet börjar bli ålderstiget. Schaktfri ledningsrenovering genom platshärdade flexibla foder är en kostnadseffektiv och miljömässigt fördelaktig metod. Projektet har provat upp till 25 år gamla driftsatta rördelar. Rapporten beskriver resultaten, och ger förslag och exempel på metoder för kvalitetssäkring samt råd för upphandling.

Det går snabbt och smidigt att installera flexibla foder, och koldioxidavtrycket blir betydligt lägre än vid schaktning och nyanläggning. Metoden baseras på att en strumpa av hartsimpregnerad textil- eller glasfiberväv förs in i det befintliga röret och härdas till ett nytt rör inne i det gamla röret med hjälp av varmt vatten, ånga eller UV-ljus. Valet av harts, bärarmaterial samt fiberarmering påverkar de slutliga mekaniska egenskaperna. En bra uthärdning är också avgörande för fodrens prestanda och livslängd. Trots att tekniken är väl etablerad har få undersökningar gjorts av hur flexibla foder åldras i de svenska ledningsnäten, och det finns fortfarande vissa brister i hur marknaden fungerar när det gäller upphandling och kontroll.

Projektet har därför testat och analyserat gamla driftsatta rördelar för att öka förståelsen. Rördelar från 25 stycken flexibla foder i befintliga avloppsledningsnät i sju kommuner i Götaland och Svealand levererades till projektet för analys. Det äldsta var installerat 1994 och det yngsta 2019. För att bedöma nuvarande fysikaliska egenskaper gjordes analyser med bland annat en termisk metod (DSC), infraröd spektroskopi och optisk mikroskopering. Den mekaniska utvärderingen utfördes genom provning av bland annat böjstyvhet och ringstyvhet.

Ringstyvheten var god för de flesta av fodren. Den kemiska beständigheten var generellt sett god, och de flesta av fodren verkade vara väl bevarade trots många år i drift. Ett antal foder hade tecken på materialförändringar från tiden i drift och defekter som kan kopplas till tillverkning och/eller installation. De tydligaste förändringarna var avsaknad av harts och vitning av godset.

Utifrån erfarenheter, resultat och litteraturstudier har projektet tagit fram råd för upphandling av flexibla foder. Fodren har flera lager med olika egenskaper och funktion. Det innebär att det krävs extra noggrannhet vid upphandling och provning av produkten. Entreprenörens kompetens är oerhört viktig. Vid kravställning och kvalitetssäkring är det ringstyvhet som bör vara den viktigaste parametern eftersom den avgör hur väl ett foder motstår extern belastning. Kvalitetssäkringen har hittills inte genomförts på det sätt som Svenskt Vatten rekommenderade i sin publikation P101 från 2010. Det kan bero på begränsade resurser eller bristande kompetens hos beställare.

Den övergripande slutsatsen är att installation av flexibla foder är ett hantverk som kräver kompetent personal, noggrannhet och erfarenhet för att resultatet ska bli bra.

Summary

Cured-in-Place-Pipes (CIPP) lining is the most widely used method of renovating sewerage and stormwater pipes in Sweden. The technology is an important element for increased renewal since a large part of the Swedish pipe networks has reached the expected lifetime. Trenchless renovation through CIPP lining is a cost-effective and environmentally beneficial method. The method is flexible and fast during installation, and the carbon footprint is significantly lower than during excavation and new construction.

The method is based on a resin-impregnated textile or glass fibre fabric being inserted into the existing pipe and cured into a new pipe inside the old using hot water, steam or UV light. The choice of resin, carrier material and fibre reinforcement affect the final mechanical properties. Having a well cured material is also crucial for the CIPP's performance and longevity. Even though the technology is well established, there are very few studies on the aging performance of the CIPP installations in Sweden, and there are still some shortcomings in how the market works when it comes to procurement and control. The project has therefore tested and analysed old operational CIPP liners to increase this understanding. The report describes the results and provides suggestions and examples of methods for quality assurance as well as advice for procurement.

Pipe parts from 25 CIPP liners in existing sewage networks in seven municipalities in southwest and southeast of Sweden were delivered to the project for analysis. The oldest was installed in 1994 and the latest in 2019. To assess the current physical properties, analyses were performed using a thermal method (DSC), infrared spectroscopy and optical microscopy. The mechanical evaluation was performed mainly by testing the flexural stiffness of pipe segments and the ring stiffness of pipe sections when possible.

The flexural and the apparent ring stiffness was generally good for the majority of the CIPP liners. The chemical resistance was generally good, and most of them seemed to be well preserved despite many years of operation. Some liners showed signs of material changes from the time of operation and had defects that could be linked to manufacturing and / or installation. The most obvious changes were lack of resin in some areas and whitening of the material.

Based on experience, literature studies and from evaluating the technical results of the project, recommendations for the procurement process of CIPP liners have been suggested. The CIPP lining has several layers with different properties and function. This means that extra care is required when procuring and testing the product. The entrepreneur's competence is extremely important. When setting requirements and for quality assurance, it is the ring stiffness that should be the most important parameter since it determines how well the liner withstands external load. The quality assurance has so far not been implemented in the way that the association Swedish Water (Svenskt Vatten) recommended in its publication P101 from 2010. This may be due to limited resources or lack of competence on the part of customers.

The overall conclusion is that the installation of CIPP liners is a craft that requires competent staff, care and the right experience for a good result.

1 Inledning

1.1 Bakgrund till projektet

Renovering med flexibla foder är en metod som har använts i snart ett halvt sekel. Majoriteten av de svenska installationerna har dock gjorts de senaste 30 åren. 30 år var just den livstid som förväntades i samband med installationen, vilket innebär att många renoveringar med flexibla foder börjar nå slutet på sin förväntade livslängd. Det finns dock bara begränsade studier på hur flexibla foder faktiskt åldras i det kommunala ledningsnätet och om den ursprungliga förväntade livslängden är korrekt, överskattad eller underskattad. Det är i dessa förutsättningar som projektet har tagit sin utgångspunkt med ambition att generera data hur flexibla foder i drift åldras och förändras. (Mårtensson, et al., 2018)

Även om flexibla foder är en etablerad teknik i Sverige finns det fortfarande brister i hur marknaden för flexibla foder fungerar, både vad gäller upphandling och kontroll av installationer. Huruvida detta påverkar slutproduktens kvalitet är ej klarlagt, ökad kompetens hos beställare och laboratorier efterfrågas. Det finns idag ingen generellt vedertagen testning av rör- eller materialegenskaper av de foder som installeras i Sverige, vilket kan tyckas märkligt då den färdiga produkten skapas i samband med installationen. Till vilken grad kvalitetskontroll utförs skiljer sig sannolikt mycket mellan olika beställare och entreprenörer. Kvalitetskontrollen vid och efter produktion i fält är ett område där Sverige släpar efter internationellt sett och det finns således ett behov av att skapa ett ramverk för att ge den kvalitetskontroll som behövs.

En ökad medveten och kritisk hållning mot miljö- och hälsovådliga ämnen i samhället generellt gör att de kemikalier som används i flexibla foder sätts i strålkastarljuset. Det finns ett behov av att öka kunskapen om dessa kemikalier för att ledningsägare ska kunna ta aktiva och begrundade beslut om sina ledningsnät. Här ligger också behovet av en förståelse för vilka kemikalienivåer som är skadliga och vilka nivåer som påverkar omgivningen momentant (t.ex. med lukt) men inte har några långsiktiga negativa effekter.

1.2 Projekt mål

Det övergripande syftet med projektet är att underlätta för beslut kring renovering och bedömningen av flexibla foder i det svenska VA-nätet genom utvärdering av driftsatta flexibla foder. Det ska göras genom att nå ett antal uppsatta mål:

- Att sammanställa goda råd och exempel vid upphandling av flexibla foder (med utgångspunkt i de underlag som redan finns), i syfte att ge beställaren och entreprenören en tydlig bild av vad som efterfrågas för entreprenaden.
- Att undersöka möjligheter för att ta fram en metod för kvalitetssäkring av nyinstallationer med målet att enkelt verifiera att grundläggande hållfasthetsvärden och materialparametrar överensstämmer med dimensionering och beställning. Detta ska bli underlag för framtida utbildning av kontrollanter/besiktningsmän för flexibla foder.
- Att analysera tidigare installerade flexibla foder för att identifiera nuvarande status, inventera skador samt utvärdera om de installationsförfaranden och modeller man använt vid dimensionering är lämpliga.
- Att undersöka möjligheterna för en nationell 3:e partscertifiering för materialen och installationerna.

1.3 Effektmål

På längre sikt är målet att projektet leder till att enbart flexibla foder med hög kvalité installeras i det svenska ledningsnätet och de installerade fodren väljs baserat på vilka funktions-, miljö- och livslängdskrav de förväntas uppfylla. Utöver detta är effektmålen att projektet leder till en ökad kunskap kring materialen så att bättre bedömningar av ledningsnätet kan göras.

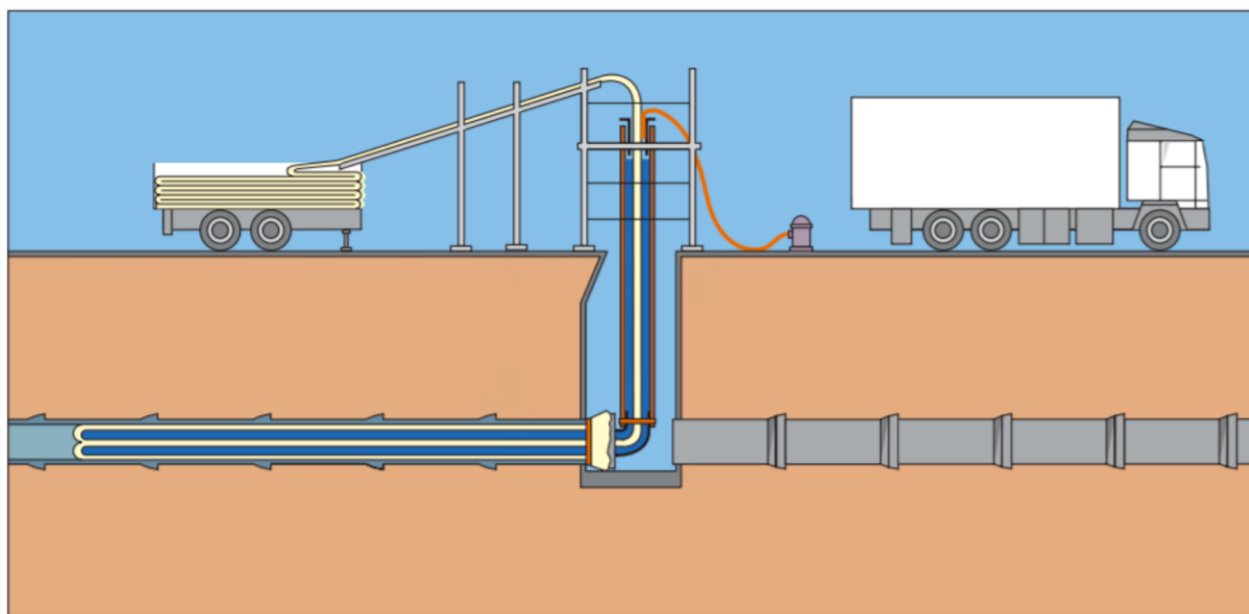
1.4 Projekts avgränsningar (urval)

Projektet är begränsat till att behandla cirkulära självfallsledningar och i första hand de ledningar som ägs utav kommunala VA-organisationer.

2 Platshärdade flexibla foder – litteraturstudie

Platshärdade flexibla foder är en schaktfri renoveringsteknik av befintliga ledningar som baseras på att en hartsimpregnerad textil- eller glasfiberväv (så kallad strumpa) förs in i det befintliga röret (Figur 2.1). Det kan ske genom att strumpan vrängs in med hjälp av luft- eller vattentryck eller vinschas in. Väl på plats expanderas den hartsimpregnerade väven med hjälp av luft- eller vattentryck så att den ansluter till värdrörets form. Därefter härdas fodret till en permanent struktur för att skapa ett nytt rör i det gamla värdröret. Härdningen aktiveras vanligtvis termiskt med varmt vatten, ånga, eller med ultraviolett ljus, vilket får de reaktiva komponenterna i det flytande hartset att reagera och binda ihop till en fast struktur.

Processen att renovera en existerande ledning med en härdplast har många namn som delvis varierar beroende på bransch och var i världen man befinner sig. Platshärdade flexibla foder är ett namn men andra namn som förekommer är bland annat relining, rörinfodring med in-situ metod, strumpinfodring och cured-in-place pipes (CIPP-liner).



2.1 Utveckling av flexibla foder

Det första flexibla fodret tillverkades och applicerades för 50 år sedan, då Eric Wood 1971 installerade ett styrenbaserat polyesterfoder av filt i London, Storbritannien. Den första installationen gjordes genom att det flexibla fodret drogs in och blåstes upp i en 70-meter lång äggformat avlopp av tegel. Som en följd grundades företaget Insituform Pipes and Structures, vilket höll ett flertal viktiga patent på tekniken och därmed blev synonymt med installation av flexibla foder under 70-, 80- och tidigt 90-tal. (Downey, 2010) Genom användning av licenser till andra företag spreds tekniken till europeiska kontinenten, Nordamerika och Australien redan 1976 och har där blivit en väl etablerad teknik för renovering av ledningsnät. I samband med att patentet för inverterad strumpinstallation släppte 1994 så utvecklades en marknad med ett stort antal nya

Figur 2.1

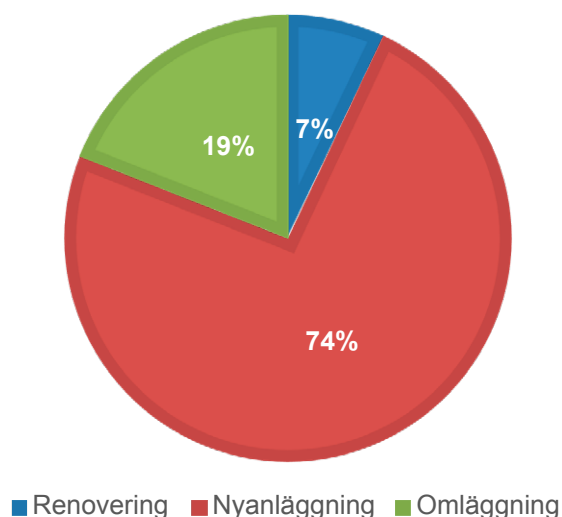
Införande av ett flexibelt foder genom vrängning med hjälp av vatten. Efter att det flexibla fodret vrängts in i hela röret startas härdprocessen. (Scandinavian Society for Trenchless Technology, 2020)

producenter av flexibla foder och installatörer (Moore, 2011). I samma veva började det utvecklas och användas foder förstärkta med glasfiberväv. Glasfiberväven blev mer utbredd i Europa medan i Nordamerika behölls de klassiska inverterade filtfodren i större utsträckning. Med glasfiberfodren följde även utvecklingen av UV-härdade foder och breddade därmed teknikbasen från varmvatten och ånghårdning som dominerat tidigare (Allouche, et al., 2012).

Idag installeras flexibla foder i självfallsledningar generellt i diametrar från 100 – 3000 mm, men dimensionerna och kompositupbyggnaden varierar mellan producenter och installatörer. Materialvalen varierar beroende på tillämpning men kan anpassas för trycksatta ledningar, självfallsledningar och kemiskt tuffare miljöer i till exempel industrin. Beroende på tillämpning kan styrenbaserade polyestrar, vinylestrar, styrenfria polyestrar och vinylestrar användas. För väldigt tuffa miljöer kan även epoxiplaster användas. Bärarmaterialet har utvecklats från att historiskt vara enbart filtbaserat till att på de senaste två-tre decennierna kompletterats med användning av glasfiberförstärkta och hybrid filt/glasfiber-kompositer, vilket möjliggör en högre mekanisk styrka i förhållande till tjocklek. Reducerad tjocklek kan vara viktigt när ledningens framtida flödeskapacitet är av stor vikt.

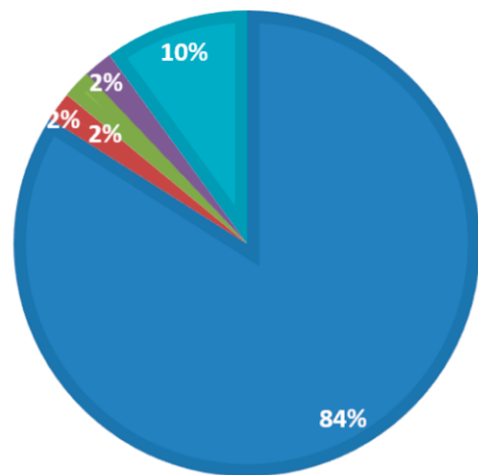
2008 utgjorde flexibla foder 1 % i det kommunala spillvattenförande ledningsnätet. (Malm, et al., 2011). Enligt 2016 års VASS-rapport (Svenskt Vatten, 2018) utgör renovering av befintliga ledningar på spillnätet bara 9 % av total nyanläggning (nya ledningar), omläggning (uppschaktning av gammal ledning för att lägga en ny) och renovering (Figur 2.2). Omläggning och renovering av ledningar betecknas som ledningsförnyelse.

Att ha en hög nivå av ledningsförnyelse är viktigt då Sveriges ledningsnät börjar blir ålderstiget. När det gäller förnyelse av ledningar i antal meter är omläggning i Sverige cirka 50% större än renovering. Flexibla foder 84% av den totala renoveringen, både med avseende på spillvattennätet (Figur 2.3) och dagvattenledningar. Det är således den viktigaste renoveringstekniken i Sverige även om själva renoveringsdelen både kan och behöver utökas kraftigt. (Svenskt Vatten AB, 2017)



Figur 2.2

Fördelningen mellan nyanläggning, omläggning och renovering av kommunala spillvattenledningar enligt VASS-rapporten 2016. (Svenskt Vatten AB, 2018)



Figur 2.3

Fördelning mellan de olika renoveringstekniker som används för spillvattenledningar. (Svenskt Vatten AB, 2018)

Flexibla foder är idag en mogen teknik med en marknad som både har utvecklats och effektiviserats. Tack vare att flexibla foder är schaktfri har tekniken flera tunga fördelar, så som lägre koldioxidutsläpp, mindre påverkan på omkringliggande samhällsstruktur med efterföljande indirekta kostnader, och en arbetsmetod som ger ett väldigt snabbt installationsförfarande där ett par hundra meter av foder kan installeras på en enda dag. Flexibla foder blir även billigt med avseende på renoverad sträcka per meter tack vare snabbt och relativt enkelt installationsförlopp och att ingen schaktning behöver göras. (Kaushal, 2019) (Lauesen, 2016)

2.2 Uppbyggnad av platshärdade flexibla foder

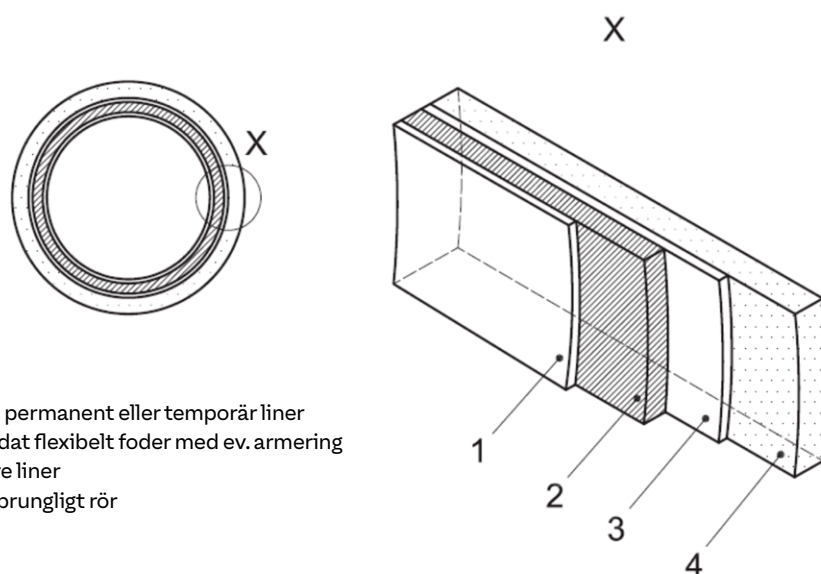
Uppbyggnaden av ett flexibelt foder skiljer sig åt mellan tillverkare och för vilket användningsområde det är designat för. Men ett flexibelt foder ska enligt EN ISO 11296-4 åtminstone bestå av:

1. Härdsystem – plasten i materialet som väljs beroende på förväntad miljö och installationskrav.
2. Bärarmaterial – vanligtvis en polyesterfilt (så kallad filt) eller glasfiber, och i vissa undantagsfall kolfiber. Bärarmaterialets funktion är att transportera och stabilisera den ohärdade plasten, men i fallet med glas- och kolfiber även för att ge mekanisk styvhet och styrka till det härdade röret.

Utöver det brukar flexibla foder bestå av:

3. Yttre/inre liner – för att hålla hartset på plats och ibland som extra skydd för nötning, vanligen en termoplast (tex. polypropen). Den inre linern kan antingen finnas kvar som ett permanent lager eller tas bort efter installation
4. Pre-liner – en extra strumpa eller tub som förs in i värdröret innan det platshärdade fodret för att förenkla införandet och skydda strumpan vid indragning. En icke-permeabel liner ger även ett ytterligare tätskikt mot grundvatten.

Ett tvärsnitt av ett flexibelt foder där de olika skikten som bygger upp strukturen kan ses i Figur 2.4.



Figur 2.4

Tvärsnitt av ett installerat flexibelt foder.
(Från EN ISO 11296-4)

2.3 Harts

De harts (eng. resin) som huvudsakligen används i flexibla foder ämnade för kommunalt avloppsvatten är omättad polyester (UP, eng. unsaturated polyester). I samband med krävande miljöer i fråga om kemisk beständighet, till exempel i samband med industrier, kan även vinylestrar (VE) och epoxiplaster (EP) användas. Vilken typ av harts som väljs bör styras av den förväntade temperaturen och kemiska miljön som röret kommer utsättas för, och installationstypen.

Även inom UP finns det varianter med olika kemisk beständighet, vilket beror på vilka monomerer som bygger upp den. Den omättade polyestern är uppbyggd av en polyesterkedja som består av upprepade enheter av en polyol (alkohol med flera OH-grupper) och en mättad och en omättad anhydrid. (AOC Resins, 2020) När dessa monomer har polymeriserats till en polyester löses de i en reaktiv monomer, vanligtvis styren, men även andra monomerer, så som vinyltoluen och akrylater används. (EN 13121-1, 2003) Styrenet är en viktig ingrediens då det både fungerar som ett lösningsmedel för polyestern samt att det vid härdning reagerar med polyestern för att bilda kedjor mellan de olika molekyler. På det sättet bildas ett permanent tvärbundet nätverk. Det slutgiltiga systemet med kovalenta bindningar av reagerad styren mellan olika polyesterar utgör den härdade härdplasten. Egenskaperna hos härdplasten påverkas av hur väl uthärdat det är, det vill säga hur stor andel av de möjliga antalet tvärbindingarna (av tillsatt styren) som reagerat och tvärbundit. Vanligtvis tillsätts 30-50 vikt% styren.

Beroende på vilken kombination av alkohol och karboxylsyra som används får den slutgiltiga polyestern olika beständighet mot hydrolys. Exempel på ingående monomer som är vanliga i omättade polyesterhartser kan ses i Tabell 2.1

Karboxylsyra som bildar en anhydrid	Alkohol (polyol)
Isoftalsyra (Isophthalic)	Neopentylglykol (NPG)
Ortoftalsyra (Orthophthalic)	Dipropylen glykol
Tereftalsyra (Terephthalic)	Monopropylene glykol
Maleinsyra (Maleate)	Monoethylene glykol
Fumarsyra (Fumarates)	

Tabell 2.1

Exempel på monomerer som används i omättade polyesterhartser.

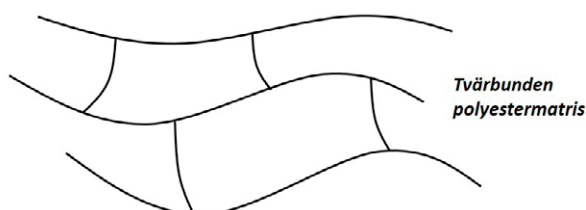
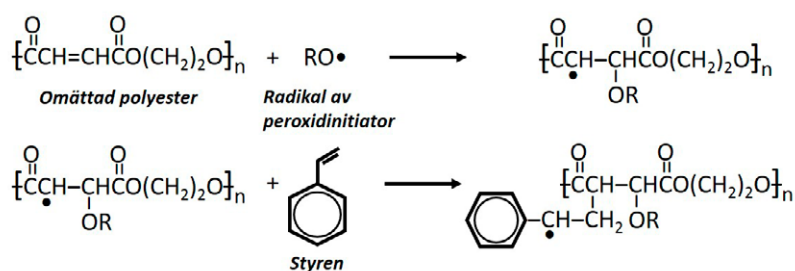
Generellt har polyesterar baserade på maleinsyra och fumarsyra högre hydrolyshastighet och mer benägna att absorbera vatten än iso- och ortoftalsyra och således en sämre beständighet i en blöt miljö. Isoftalsyra är samtidigt mer beständigt mot hydrolys än

ortoftalsyra. (Richaud & Verdu, 2019) Omättade polyestrar som namnges isoftalsyra är baserad på en kombination av omättad syra (tex maleinsyra) och isoftalsyra (mättad) och en alkohol. Isoftalsyra baserade hartser utgjorde 2011 drygt 80 % av världsmarknaden för flexibla foder. (Allouche, et al., 2012) Isoftalsyra har en lagom reaktivitet är mekaniskt stark och har bra beständighet för att vara en omättad polyester. De tillhör ofta en mer kemiskt beständig grupp av hartser än till exempel orthoftalsyrabaserade hartser, där den senare inte används i USA då den anses vara ett lågkvalitéalternativ och har för dålig kemisk beständighet i enlighet med ASTM F1216 (se stycket nedan). (Allouche, et al., 2012) (EN 13121-2, 2004)

Vilka komponenter som används i den omättade polyestern definieras inte i EN ISO 11296-4 utan det kan vara bra att vara medveten om att man inte är garanterad någon särskild kvalitet på hartset. Det finns två provningar på den kemiska beständigheten mot svag svavelsyra (0.5 M H₂SO₄) i EN ISO 11296-4, avsnitt 8.7, Tabell 7. Antingen kan det göras genom motståndskraft mot inre kemiska angrepp i böjda rör enligt ISO 10952 eller genom trepunktsböj simultant som exponerad i syran. Ett 50-årsvärde för böjstyrkan ska deklarerar, dock utan krav på vilken nivå det ska ligga eller hur mycket det får skilja från korttidsvärden. Här kan lyftas fram att i de olika ASTM-standarderna sätts andra krav. I ASTM F1743-17 Standard Practice for Rehabilitation of Existing Pipelines and Conduits by Pulled-in-Place Installation of Cured-in-Place Thermosetting Resin Pipe (CIPP) krävs att en kemiskt resistent isoftalsyra-baserad harts används. I ASTM F2019-20 står det att en kemisk resistent polyester ska användas. I alla tre listade ASTM-standarder (F1743-17, F2019-20, F1216-16) ska ett laminat efter ett års exponering i ett antal olika syror, oljor och ytaktiva ämnen ha en böjmodul som är minst 80 % av referensvärdet. I Tyskland har DIBt (Tyska Institutet för Byggnadsteknik) ett kemiskt beständighetskrav där fodret ska klara en exponering i 28 dagar mot 10% svavelsyra, 1 % NaOH (lut) och 5 % peroxidlösning. DIBt tillåter en maximal förändring på 2% i massa, 10 % dragstyrka, 20% dragtjuning och 10% slagstyrka jämfört med icke-exponerade. Några dylika krav ställs inte i Sverige, men eftersom de stora leverantörerna även är aktiva på tyska marknaden så uppnår troligen många av deras produkter dessa nivåer.

2.4 Härdning

För att härda hartset krävs någon form av metod för att aktivera härdningen. I en generell härdprocess aktiveras härdningen genom att en initiator (t.ex. en peroxid) delar sig i radikaler. Beroende på design aktiveras initiatoren av värme eller UV-ljus. Radikalerna skapar tillsammans med tillsatta accelerators en kedjereaktion som får styrenet att binda till andra styrenmolekyler och omkringliggande polyester. Den process som startats är själva härdningen av hartset och det som leder till att ett tvärbundet nätverk av polymerkedjor bildats. För flexibla foder är det vanligast att härdning görs med antingen UV-ljus (LED-lampor med UV-våglängd för mindre dimensioner, 100 - 300 mm) eller termiskt (varmt vatten eller ånga).



Figur 2.5

En generell beskrivning av en polymerisationsreaktion av omättad polyesterharts med styren, där initeringen sker genom att peroxider skapar radikaler.

De olika härdmetoderna har alla samma roll, att se till att hartset når den specificerade uthärdningsgraden. Sen har de olika härdmetoderna olika för- och nackdelar i samband med installation och hantering vilket gör att olika metoder används i olika installationer (se Kap 2.8 Tillverkningsaspekter).

2.5 Bärarmaterial och armering av foder

Då de härdplaster som används vid renovering med flexibla foder är viskösa (trögflytande) vätskor och innan härdprocessen slutförts behövs ett bärarmaterial för att transportera in härdplasten i det gamla röret och för att säkerställa att härdplasten hamnar på rätt plats. Bärarmaterialet är vanligen någon form av fiberväv eller fibermatta som påverkar de slutliga mekaniska egenskaperna. Till vilken grad egenskaperna förändras beror på typen av fiber. Om mekaniska egenskaperna så som exempelvis styvhet och hållfasthet markant ökar vid inblandning av fibern talar man om ett armerat foder medan om egenskaperna är mindre påverkade talar man om ett oarmerat. Det finns dock ingen vedertagen definition i Norden för vad som anses som armerat, det vill säga en specificerad styvhet eller styrka. I Nordamerika definieras armerade foder enligt ASTM F2019-19 med böjmodul på minst 5000 MPa och böjstyrka minst 103 MPa.

Det är vanligt att härdplaster förstärks med någon form av armering, t.ex. glasfiber, för att öka den mekaniska hållfastheten. Ett material bestående av två olika material som båda bidrar med olika egenskaper kallas för ett kompositmaterial. I fallet med glasfiberarmerad härdplast bidrar de styva och starka glasfibrerna med bland annat att höja materialets hållfasthet medan härdplasten ger bland annat formstabilitet, tät-het, och kemikalieresistens. Således bidrar en hög glasfiberhalt till en hög mekanisk styrka per ytenhet. På grund av den mekaniska styrkan hos glasfibrerna har glasfiber-förstärkta foder en högre modul och styrka än filtfoder och kan således göras tunnare. Ringstyvheten, som anses som den viktigaste parametern, kan dock vara densamma oavsett om fodrets bedöms som armerat eller ej.

I foder som baseras på en polyesterfilt kommer den mekaniska styrkan primärt från det härdade hartset samt fyllmedel.

I Sverige används det i huvudsak två olika typer av bärarmaterial för flexibla foder; glasfiber ordnade i en specifik riktning för att höja de mekaniska egenskaperna, samt filtfoder (med polyesterfilt). Olika namn som de olika produkterna ges ses i Tabell 2.2.

Glasfiberförstärkta foder	Polyesterfiltbaserade foder
Vävfoder	Filtfoder
Armerat foder	Oarmerat foder
GRP-liner	Homogent foder
FRP-liner	Needle felt liner

Tabell 2.2

Vanligt förekommande namn för respektive foder-typ.

Några av de polymera fibrer som får användas som bärarmaterial enligt EN ISO 11296-4 är PA, PAN, PEN, PET, PP, PPTA och med avseende på glasfibrer ska de antingen vara av typen E, C, R eller ECR, där glasfibrerna ska uppnå villkoren i ISO 10467.

E-glas, eller elektriskt glas, har generellt en lägre kemisk beständighet mot syror. C-glas, kemiskt glas, är ett glas med hög kemisk resistens mot kemikalier och syror men innehåller bor. ECR-glas är en variant av E-glas utan bor men med hög kemisk beständighet mot syror och kemikalier. Det är ett idag populärt glas som används i stor utsträckning, både inom kemisk industri och för flexibla foder. I ASTM F2019-19 är kravet att ECR eller en ekvivalent glasfiber med avseende på kemisk beständighet används.

På samma sätt som hartset måste fibrerna vara lämpliga för den miljö de ska användas i. Fibrer i hårdplaster är ytbehandlade (eng. sizing) för att bl.a. öka vidhäftningen till hartset. Ytbehandlingarna är ofta specifikt utvecklade för att fungera bäst med en viss typ av harts, t.ex. ett polyesterharts. En fiber som fungerar väl i ett harts behöver inte fungera lika bra i nästa, det är därmed viktigt att materialdata för varje harts/fiberkombination tas i beaktning vid dimensionering. (Thomason, 2012)

För beräkningar på hur bland annat tjockleken hos flexibla foder skiljer sig åt mellan armerade och oarmerade se kapitel 2.11.2.1.

2.5.1 Bärarmaterialets effekt på egenskaperna

Det som framför allt skiljer oarmerade och armerade foder är den mekaniska styrkan, med betydligt högre värden för både böjmodul och böjstyrka hos det armerade fodret. I det armerade fodret kan en böjmodul över 15 000 MPa erhållas. För filtfoder ligger böjmodulen normalt runt 2500-4000 MPa. Den höga modulen hos armerade foder innebär att de kan göras med tunnare gods men ändå ge en god ringstyvhet. Det som har störst inverkan på ringstyvheten är dock rörets diameter samt vägg tjocklek, och inte styvheten på materialet.

Foder armerade med glasfiber uppvisar mindre kryp än filtfoder, det vill säga de påverkas i mindre utsträckning av belastning över tiden. Det beror på att det huvudsakligen är glasfibrerna som tar upp belastningen och de är mycket mindre viskoelastiska än polymererna i ett filtfoder, vilket påverkar dimensioneringen om krav ställs på långtidsstyvhet.

Filtfoder har å sin sida fördelar vad gäller designmöjlighet, speciallösningar som stora dimensionsförändringar, serviser och långa installationer. Designmöjligheten innebär till exempel att antalet schakter ofta kan minimeras genom utnyttjande av unika och schaktfria tekniska lösningar i ett projekt.

En annan effekt av den höga styvheten hos glasfiber är att de motverkar kemiskt och termiskt krymp i samband med härdning. Ett mindre härdkrymp leder till att förändringen av fodrets dimensioner inte förändras lika påtagligt, vilket resulterar i att en mindre spalt kan erhållas för foder med glasfiberväv. Samma effekt erhålls inte för filtfoder. De foder som har undersökts, och erfarenheter som delats inom projektet, tyder dock på att foder av bägge typer generellt sett sluter väl an till värdröret. En kompetent installation är sannolikt viktigare för spaltbildningen än valet av material. Detta behöver undersökas vidare, men utförandet är komplicerat eftersom det är svårt att utföra uppmätning av spalter i fält.

2.5.2 Övriga membran

Övriga membran som är vanligt förekommande är pre-liner, ytterliner och innerliner. Där den senare kan vara antingen permanent eller temporär.

Pre-linern är ett externt membran som förs in innan fodret inverteras eller dras på plats. Pre-linern ger ett extra skydd mellan värdröret och fodret och skyddar även fodret vid indragning. En pre-liner kan användas för att öka tätheten och kemiska resistensen hos den slutgiltiga installationen.

Innerliner används som barriär för att hålla hartset på plats vid tillverkning och införande i värdröret innan härdning. Den bör således vara ogenomsläpplig för styren. För vissa foder, oftast glasfiberförstärkta, så är innerlinern temporär och det slutgiltiga ytskiktet utgörs istället av ett hartsrikt lager. För permanenta innerliners så används olika typer av termoplaster (t.ex. polypropen, polyuretan).

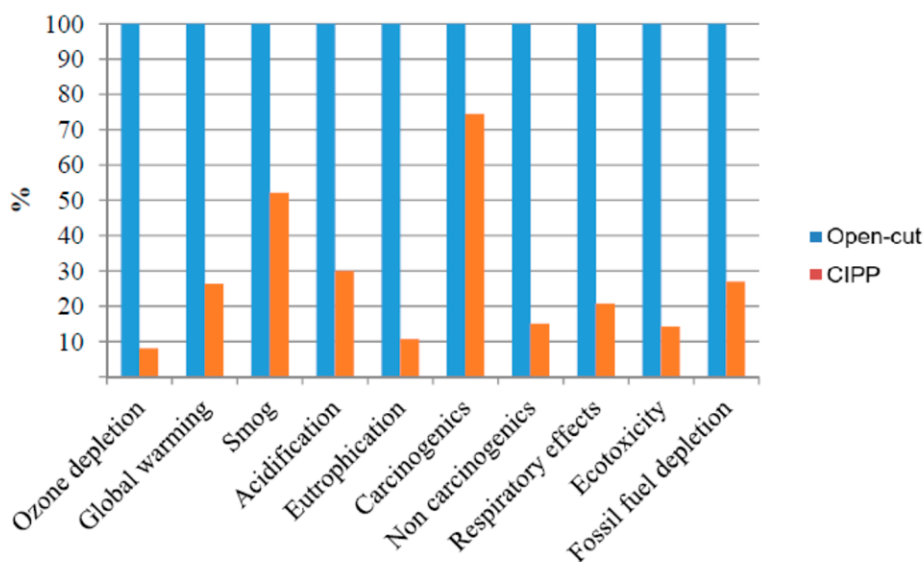
I en del filt-foder används även en tejp för täcka den inre sömmen under tillverkningen men som saknar funktion när fodret väl är härdat. Det har rapporterats om att tejpén släppt från fodret och fastnat i nedströms pumpstationer, från installationer utförda runt millennieskiftet. (Winnfors Wannberg, 2016). Enligt entreprenörerna har denna typ av tejp och material ej använts på många år.

2.6 Miljömässiga aspekter

Att renovera en ledning schaktfritt ger flera stora fördelar, framför allt i stadsmiljö och markområden som är svåråtkomliga eller svårschaktade. Det kan handla om att vägar och trottoarer inte behöver grävas upp med efterföljande påverkan på trafik och människor, mindre buller när inte stora grävmaskiner behöver användas, säkrare arbetsmiljö, tillgängligheten till affärsverksamheter och minskade luftföroreningar. Utöver det går en schaktfri installation snabbare än en schaktad och har överlag lägre totalkostnad per meter renoverad ledning. (Kaushal, 2019) (Lueke & Ariaratnam, 2001)

Mycket av de miljömässiga fördelarna hos flexibla foder kommer således från dess smidighet och snabbhet vid installation. Ett antal olika rapporter och artiklar har berört det ämnet. (Lu, et al., 2020) (Lauesen, 2016) Lu et al. genomförde en studie för att jämföra energiåtgången samt koldioxidavtrycket mellan schaktning och ett antal schaktfria tekniker för nyläggning, renovering och ersättning av befintliga rör. Energiåtgången bedömdes på tillverkning, transport och installationsförfarandet och koldioxidavtrycket baserades på energiåtgången för hela processen. Författarna kom fram till att installation med flexibla foder jämfört med schaktning innebar en minskning med mellan 73-98% av energiåtgången och koldioxidavtrycket. Där siffrorna varierade beroende på längder, dimensioner och djup för renoveringen. Mest fördelaktigt vid installationer av flexibla foder var det vid större läggningsdjup och längre installationer. Av de undersökta schaktfria teknikerna hade flexibla foder minst koldioxidavtryck. Ingen hänsyn togs i artikeln till eventuell återvinning av rörmaterialen.

I en studie av Kaushal et al. (Kaushal & Najafi, 2020) gjordes en miljökonsekvensbedömning mellan schaktad läggning av PVC-rör och renovering med värmehärdade flexibla foder, se Figur 2.6. Studien gjordes genom att jämföra ett antal faktiska ledningar som renoverats schaktfritt (35,5 km) eller bytts ut (1220 m), där de olika metodernas utfall med avseende på miljökonsekvenser jämfördes. Ledningarnas diameter var 8, 10 och 12 tum (200-300 mm) på ett djup mellan 2.1-4.9 m. I analysen av renoveringsarbetet/omläggningen bedömdes råmaterial, processer och tillverkning för att göra utvärdering av utsläpp och ekologisk påverkan (ozonförtunning, global uppvärmning, smog, försurning, övergödning, cancerogena, icke-cancerogena, respiratoriska effekter, ekotoxicitet, fossil bränsleförbrukning). I resultatet, som erhöles enligt ISO 14040 och med hjälp av mjukvaran SimaPro, så framkom det att flexibla foder hade 68% mindre miljöpåverkan, 75% mindre påverkan på människors hälsa samt 62% mindre resursanvändning än schaktad omläggning med PVC-rör.



Figur 2.6

Jämförande medelvärde av olika ekologiska aspekter mellan schaktning (open-cut) med PVC-rör och renovering med flexibla foder (CIPP) på mindre avloppsrör (203-305 mm). (Kaushal & Najafi, 2020)

Method: TRACI 2.1 V1.03 / Canada 2005 / Characterization

I en annan studie av Tavakoli et al. (Tavakoli, et al., 2017) jämfördes koldioxidavtrycket mellan schaktning och schaktfria metoder genom beräkningar på en drygt 40 km lång sträcka i Texas. De kom fram till att en schaktfri metod släpper ut 887 ton koldioxid jämfört med 5379 ton koldioxid när motsvarande sträcka schaktades.

Styren och dess miljö- och hälsoaspekter är ett ofta diskuterat ämne angående flexibla foder. Arbetet angående dessa aspekter har i projektet utförts av Goodpoint AB och rapporterats i "Utvärdering för kemiska risker och miljöstörande ämnen i flexibla foder". Sammanfattningen av rapporten följer nedan i kursivt. (Good Point AB, Finnveden och von Stedingk, 2020)

Goodpoint har inom ramen för projektet Platshärdade flexibla foder, som leds av RISE, fått i uppdrag att utvärdera kemiska risker och risk för spridning av potentiellt miljöstörande ämnen som förekommer i flexibla foder.

För att genomföra en riskbedömning för kemiska risker och spridning av potentiellt miljöstörande ämnen har innehållet i olika typer av infodringsmaterial sammanställts. Sammanställningen har utgått från information som lämnats från olika leverantörer (säkerhetsdatablad, produktfaktablad, byggvarudeklarationer och samtal). Kompletterande information om innehåll och risker har eftersökts i publicerade vetenskapliga artiklar och myndighetsrapporter. Hälso- och miljöaspekter har utgått från information som finns tillgänglig hos Europeiska kemikaliemyndigheten (ECHA).

De platshärdade flexibla fodren som diskuteras i denna rapport delas in i två grupper: omättade polyesterhartser och epoxihartser. De omättade polyesterhartserna består av en kortkedjig polyester som är löst i en vinylmonomer (till exempel styren). Medan epoxihartserna vanligen är baserade på bisfenol A och epiklorhydrin. Båda dessa typer av foder består av ett foder (polyesterfilt eller glasfiber) som dränks i ett hart som sedan förs in och härdas på plats i det gamla röret som ska renoveras. I röret bildar den härdade hartsen ett nytt rör.

Dessa hartser härdas med olika metoder oftast via värme (ånga eller varmvatten) eller UV-ljus. Vidare tillsätts olika komponenter som initiatorer, katalysatorer, accelerators och inhibitorer.

De ingående komponenterna i de platshärdade flexibla fodren är ofta klassificerade som hälso- och/eller miljöskadliga och det är därför viktigt att ställa krav på utförare så att dessa kemikalieblandningar hanteras på rätt sätt.

Det finns idag kunskapsluckor i vad de färdighärdade flexibla fodren innehåller (nedbrytningsprodukter och rest-monomerer) samt vilka kemiska ämnen som frigörs till omgivande miljö vid härdningen. En del av de ingående komponenterna bryts ned

vid härdning (till exempel initiatorer), men dessa nedbrytningsprodukter har inte blivit fullt karakteriserade.

Rapporten presenterar kända risker med ingående komponenter i de platshärdade flexibla fodren och avslutas med rekommendationer på vad beställare ska tänka på vid upphandling av platshärdade flexibla foder. (Good Point AB, Finnveden och von Stedingk, 2020).

2.7 Mekaniska egenskaper

Inom branschen för flexibla foder används normalt E-modul som ett mått för att jämföra foders styvhet. Detta är emellertid ett felaktigt benämning eftersom det normalt är fodrets böjmodul som avses. E-modul beskriver ett materials motståndsförmåga att töja sig i kraftens riktning i enaxlig dragbelastning. Böjmodul beskriver materialets motståndsförmåga att töja sig vid böjbelastning, vilket inte är samma sak som E-modul, speciellt inte om materialet är heterogent och anisotropt. Därför används i rapporten begreppet böjmodul, (jämför engelskans "Flexural modulus" och "Elastic modulus/Young's modulus"). En tendens finns att dessa begrepp blandas ihop. De mekaniska egenskaperna beskrivs utförligt i 6.

2.7.1 Ringstyvhet

Ringstyvhet (eller rörstyvhet, enligt P101 (Svenskt Vatten AB, 2010)) definieras enklast som ett rörs förmåga att motstå deformationer från yttre belastning, och anses således vara ett viktigt mått vid dimensionering av flexibla rör. Ett rörs ringstyvhet klassificeras med ett SN-värde, t.ex. SN2, där sifferbeteckningen anger rörets korttidsstyvhet i kN/m². Ringstyvheten mäts genom att ett helt rörsegment belastas enligt ISO 7685 (Figur 2.7). Ringstyvheten kan sägas ge ett mekaniskt värde som representerar styvhetsegenskaperna runt hela omkretsen av röret, och ger därför en bra indikation på hur väl röret presterar mekaniskt i marken. Från ringstyvheten kan man räkna ut en s.k. skenbar böjmodul för att möjliggöra en jämförelse med värden som mäts med hjälp av trepunktsböjprovning enligt EN ISO 11296-4 (Figur 2.8).



Figur 2.7

Ringstyvhetsprovning enligt ISO 7685.



Figur 2.8

Provning av böjmodul enligt EN ISO 11296-4, Annex B).

För att få fram långtidsvärden på ringstyvheten så mäts nedböjningen vid olika tider upp till 10 000 timmar under konstant belastning. Resultatet i form av ringstyvhet som funktion av tid kan då plottas på logaritmisk tidsaxel. Om resultatet blir en linjär trend kan 50- och 100-årsvärdet extrapoleras fram. Denna metodik bör ge en någorlunda korrekt bestämning av långtidssstyvheten förutsatt att spänningarna är relativt låga (inom det linjärt viskoelastiska området) samt att miljön i provet motsvarar den förväntade miljön i det verkliga röret. Om exempelvis den förväntade temperaturen i röret av någon anledning är högre än rumstemperatur (23 °C) måste långtidsvärdet också justeras nedåt, alternativt att säkerhetsfaktorn justeras uppåt.

2.7.2 Böjmodul från trepunktsböj

När provning av ringstyvheten inte är praktiskt tillämpbart kan istället ett böjprov på ett segment av fodret utföras. Böjmodulen mäts då genom trepunktsböj enligt EN ISO 11296-4 Annex B och ger information om materialegenskaperna hos den provade biten, vilket t.ex. kan användas för att räkna ut en skenbar ringstyvhet. Böjmodulen för laminerade kompositer är en materialstrukturegenskap som till exempel kan användas för att räkna ut vilken tjocklek som behövs för att få en produktgenskap (skenbar rörstyvhet).

Vid en provning med trepunktsböj så mäts styrkan från spänningen ofb med motsvarande töjning efb och avser den första distinkta avvikelser från linjäritet i spännings/töjningskurvan. Detta är normalt associerat med matrisbrott/interlaminärt brott och följs vid ytterligare belastning av en progressiv skadeutveckling innan slutbrott. Böjmodulen bestäms av lutningen på den linjära delen av spännings/töjningskurvan.

Värden för skenbar ringstyvhet och uppmät ringstyvhet brukar skilja sig åt. Det kan bero på att provbiten för trepunktsböj plockas ut från en cirkelbåge och tas på de jämnaste delarna av röret, tjockleken är mer enhetlig över den mindre provbiten samt att eventuella defekter som finns i andra delar av omkretsen inte fångas upp vid mätning på en mindre provbit. Dessutom är randvillkoren i de två olika testmetoderna inte helt lika. Man bör därför alltid vara tydlig om man har en uppmätt böjmodul enligt EN ISO 11296-4 eller en uträknad skenbar böjmodul från ISO 7685.

2.7.3 Dimensionering av rör

För ett självbärande nedgrävt flexibelt foder (belastningsfall B i Svenskt Vattens publikation P101) spelar materialegenskaper, kriterier för återfyllnad och belastningsförhållanden viktiga roller för rörets prestanda. Med självbärande avses ett foder som inte enbart är till för tätning av läckage utan även för att motstå de laster som ett rör utsätts för under sin livstid. Dimensioneringen beaktar böjning, buckling, yttre tryck och de förskjutningar och spänningar som uppkommer för olika tillstånd. För ej standardiserade rörprodukter, och rör som formas eller härddas på plats i ledningen blir indata till dimensioneringen produktspecifika. För sådana rör är det viktigt att korrekta indata kan lämnas och garanteras av tillverkaren. (Svenskt Vatten AB, 2010) Det är rörets egenskaper och de yttre lasternas storlek som kommer att avgöra i vilken utsträckning röret kommer att uppfylla ställda krav under den tänkta tidsperioden.

I EN ISO 11296-4 skrivs korttidsringstyvheten som SO , d.v.s. ringstyvheten vid tidpunkten noll vilket är den tidpunkt då fodret installeras. För att säkerhetsställa att det flexibla fodret har mekaniska egenskaper som bibehålls på nog höga nivåer under lång tid finns ett antal olika långtidsprovningar. Exempelvis s.k. kryppprovning, där en konstant last appliceras under en lång tid (se Kapitel 2.11.1). Enligt EN ISO 11296-4 – 8.5.2 kan detta göras antingen genom ringstyvhetsprovning eller mätning av böjmodul, i torr miljö, vatten eller i surt vatten i 10 000 h. Från 10 000 h kan en extrapolering, enligt ISO 10468, göras för att erhålla antingen en 50-års krypfaktor (α_{50}) eller 50-års krypmodul (E_{50}). Dock förväntas enligt standarden att endast en metod av dessa tillämpas och att långtidsvärdet från den metoden deklarerar. Vilken metod som väljs avgörs enligt ”nationella riktlinjer” men sådana riktlinjer finns inte i Sverige.

Det är således viktigt att vara tydlig som entreprenör eller producent och definiera hur långtidsvärdet har erhållits samt om det gäller en torr, våt eller sur miljö. En mätning i vatten eller sur miljö kan förväntas påverka materialet i större utsträckning och ge en annan (högre) krypfaktor. Tester i en våt miljö förväntas vara mer snarlika verklig drift än en torr miljö och rekommenderas därför. Detta är en rekommendation utifrån teoretiska kunskaper om kompositmaterial och hårdplaster i allmänhet och hur de beter sig i en våt miljö.

Om mätningen görs via trepunktsböj för att få långtidsstyvhet måste rörets styvhetstal omräknas genom att i beräkningsformler sätta in det värde på rörmaterialets ”E-modul” som svarar mot aktuell belastningstid, temperatur och spänningsnivå.

För olika kompositmaterial är den tidsberoende modulen olika stor beroende på matrismaterial, miljö, belastning, fiberorientering och fiberhalt. Detta gör att rör av olika material med samma SN-värde sannolikt har olika långtidsstyvhet.

2.7.3.1 Belastningsfall

Enligt Svenskt Vattens Publikation P101 beskrivs två olika belastningsfall för flexibla foder:

Belastningsfall A: Det flexibla fodret skall dimensioneras för att klara grundvattentryck, och bör ha minst styvhet SN1.

Belastningsfall B: Det flexibla fodret dimensioneras så att det kan uppta jord- och trafiklast och grundvattentryck, och bör ha minst styvhet SN2.

Ytterligare måste beaktas att olika flexibla foder med samma korttidsstyvhet, SN-klass, kan ha markant olika långtidsegenskaper, enligt diskussionen ovan, och även olika bucklingsegenskaper. I USA har en liknande debatt pågått och föranlett förändringar i ASTM F1216. Där har man en liknande uppdelning för de två dimensionerande fallen, dock utan att dela upp i styvhetsklasser. Termerna "partially deteriorated" och "fully deteriorated" används med hänvisning till dimensioneringsfall A respektive B. Diskussionen i USA har främst handlat om "fully deteriorated" ens kan existera. Ett konventionellt nedgrävt rör är strukturellt utformat för att bära eller överföra alla belastningar under drift, vilket inkluderar vikten av återfyllnadsmaterial placerat ovanför, det hydrostatiska trycket samt belastningar som uppkommer vid markytan (erfarenheten visar dock att ett flexibelt rör som har otillräcklig styvhet för att stödja den vertikala belastningen på egen hand, icke desto mindre fungerat bra under jord eftersom det deformeras och utvecklar ett passivt stöd i sidled). Med tillkomsten av nya tekniker som använder plaströr, fortsatte det rådande tänket och i brist på annan tillgänglig dimensioneringsmetodik antogs således att i det mest konservativa fallet med "fully deteriorated" kommer det nya systemet behöva ta över den ursprungliga vertikala belastningen på samma sätt som för ett konventionellt flexibelt rör. Enligt debatten har då detta i sin tur lett till överkonservatism i beräkningen av vägg tjocklekar då det är uppenbart att ingen liner skulle kunna installeras i ett rör som är helt degraderat/nedbrutet och har kollapsat.

Förändringarna i ASTM F1216 handlar främst om hur "ovalitetsfaktorn" beräknas för ett CIPP-rör, vilket då oftast leder till en mindre konservativ dimensionering jämfört med den gamla versionen av standarden. Användning av den nya standarden möjliggör potentiella kostnadsbesparingar vid installation, men en del kritiska röster har höjts mot att ta ett steg bort från en robust beprövad dimensionering och det kan uppstå problem att bedöma olika koncept vid upphandlingar ifall olika versioner av standarden har använts. (Doherty & Eng, 2008)

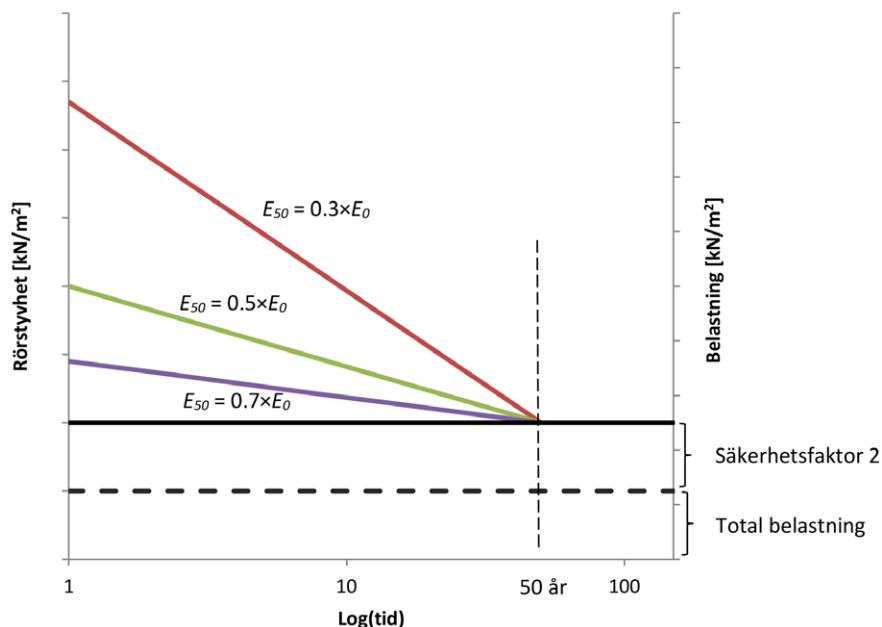
I Norge används en konservativ tillämpning, där fodret ska ha ett SN-tal på 5 i korttidsringstyvhet och 2 kN/m² i långtidsstyvhet på 50 år. Där utgår man från att det installerade fodret ska ha samma hållfasthet som det ursprungliga värdröret oavsett skick på röret. (VA/Miljø-blad, 2009, reviderat 2018)

2.7.3.2 Dimensioneringsprincipen

Vid dimensionering av ett flexibelt foder krävs en mängd indata. Principen bakom förfarandet beskrivs nedan men för en än mer detaljerad beskrivning rekommenderas exempelvis P101 eller ASTM F1216-16.

Det man vill åstadkomma är att beräkna vilken belastning det infodrade röret kommer utsättas för, applicera en säkerhetsfaktor på den belastningen (vanligen 2), och ur detta beräknar man den rörstyvhet som det flexibla fodret måste ha.

Då målet är att uppnå säker drift under hela den önskade livslängden, bör de krafter som antas verka på fodret under lång tid identifieras och ligga till grund för att rörets långtidsstyvhet klarar den belastningen med en säkerhetsfaktor på 2, se Figur 2.9. Säkerhetsfaktorn är det som rekommenderas av Svenskt Vatten P101.



Figur 2.9

Principiell illustration över hur en beräkning av långtidsrörstyvhet och korttidsrörstyvhet (SN-klass) kan gå till. Här har belastningarna antagits vara konstanta över hela tidsperioden vilket är en förenkling.

Det första man måste bestämma sig vid dimensioneringen är vilka krafter man behöver ta hänsyn till. Är grundvatten, trafiklast, och jordlast alla relevanta? Kommer det befintliga röret kunna bära någon last?

De krafter som förekommer under lång tid summerar man under "total belastning". För att bygga in säkerhet i systemet applicerar man normalt då alltså en säkerhetsfaktor på 2 till denna belastning. Om höga belastningar uppstår i samband med installationen skulle även dessa kunna vara de dimensionerande belastningarna. Beroende på typ av flexibelt foder och vilka krypegenskaper fodret har fås de olika linjerna i Figur 2.9, vilket visar att korttidsvärdet hos olika flexibla foder varierar när de ska uppfylla samma långtidsvärde. Man räknar även normalt sett med att grundvattnet är i nivå med markytan, vilket får anses som ett konservativt antagande vilket bygger in extra säkerhet i dimensioneringen.

Den belastning som det flexibla fodret utsätts för vid 50 år sätts till det flexibla fodrets bucklingslast och den nödvändiga långtidsrörstyvheten kan sedan beräknas. Vilken rörstyvhet som krävs för att uppnå den bucklingslasten beror till stor del på markförhållanden, installationskvalitet och ovalitet hos originalledningen. Beräkningar för de olika fallen finns alla beskrivna i detalj i P101. Exempelvis så påverkar jordtypen som omger röret. Om man dimensionerar baserat på antagandet att det flexibla fodret ska ta upp alla framtida laster blir den nödvändiga rörstyvheten starkt påverkad av den omgivande jordens karaktär, se Tabell 2.3

Omgivande förhållande	Bucklingslast [kN/m ²]	Ekv. i P101
Fri buckling (inget stöd)	24	B12.2
Fast lera	179	B15.1
Opackat friktionsmaterial (2m)	246	B15.1
Packat friktionsmaterial (2m)	329	B15.1

Tabell 2.3

Bucklingslast för ett rör med rörstyvhet 1 kN/m² under olika förhållanden, röret antas vara utan ovalitet.

Kraven på det flexibla fodret blir således i slutändan starkt beroende på vilka förhållanden man antar vid dimensioneringen. Tabell 2.3 visar på vikten av att känna till installationsförhållandena, ett exempel på en typ av allvarligt fel vore att räkna på att man har packat friktionsmaterial när man egentligen har delar av det flexibla fodret som går igenom fast lera. Som vi ser minskar då fodrets bucklingslast från 329 till 179 kN/m² en faktor på $329/179 = 1,84$ vilket nästan motsvarar säkerhetsfaktorn. Kännedom kring installationsförhållanden, materialdata, och installationskvalitet är således alla av stor vikt.

2.8 Tillverkningsaspekter

Tid, tryck och temperatur är de viktigaste processparametrarna för tillverkning av hårdplastbaserade kompositer. Hartsets kemiska krympning samt den genererade exoterma härdningsenergin, är två viktiga egenskaper för hartset under härdningen. De traditionella hårdplasterna (epoxi, vinylester, polyester) kan tillverkas med lågtryckstillverkningsmetoder förutsatt att det har varit en god impregnering av fibrerna innan och att luftinneslutningar har minimerats. Vissa system kan härddas vid relativt låga temperaturer och ändå erhålla en relativt hög glasomvandlingstemperatur (T_g), beroende på harts samt blandningsförhållande. T_g utgörs av ett temperaturområde där en ökad molekylrörelse uppstår i amorfa plaster såsom hårdplaster. Över T_g mjuknar dessa, och för en hårdplast innebär det generellt sämre mekaniska egenskaper och T_g är likställt med den absolut övre användningstemperaturen. Användande av låga härdningstemperaturer är gynnsamt för att reducera de inre spänningarna från tillverkningen, dels på lokal nivå (fibernivå), samt på global nivå (komponentnivå) eftersom dessa spänningar i huvudsak uppstår p.g.a. temperaturlasten, d.v.s. skillnaden mellan temperatur vid härdning och drifttemperatur. Systemets maximala T_g erhålls när matrisen är fullt uthärdad. En delvis uthärdad komposit kan efterhärddas (värmebehandlas) vilket då skulle kunna ge en ökning av T_g .

Hartsblandningens volymetriska förändring p.g.a. en ändrad molekylär struktur under härdning, kallas kemisk krympning. Densiteten ökar under härdningen genom omvandling från monomerer till en härdad nätverksstruktur med tvärbindingar. De traditionella hårdplasterna har olika total kemisk krympning. Den kemiska krympningen för polyester kan vara upp till 10 % och för epoxi vanligtvis runt 3-5 % volymetriskt.

2.8.1 Värme

Låg härdningstemperatur kan vara fördelaktigt då det reducerad uppbyggnaden av inre spänningar som uppstår på grund av skillnader i temperatur mellan härdtemperatur och drifttemperatur. Men en högre härdningstemperatur kan behövas för att driva igenom härdningen för en fullt uthärdad matris med maximalt T_g . En ökad risk för spalt mellan värdrör och installerat foder finns då termisk härdning används jämfört med UV-härdning. Orsaken är att termisk härdning normalt sett sker vid högre temperatur och att fodret då krympt mer efter att härdecykeln avslutats och röret svalnat. När glasfiberväv används i fodret kan det, tack vare sin styvhet, motverka dimensionsförändringar i samband med krymp. Det resulterar i att glappet mellan foder och värdrör teoretiskt sett kan nå lägre värden, men störst inverkan på eventuell spalt har sannolikt utförandet av installationen och hur väl fodret är anpassat till värdröret.

Användning av varmt vatten är den äldsta metoden för härdning av flexibla foder. En fördel med varmvattenhärdning är att värmekapaciteten är hög hos vatten vilket möjliggör stabil temperatur och minskad känslighet mot kalla områden på grund av extern kylning. Vatten kan också användas för att få en långsam avsvälning vilket ger möjligheten att minska interna spänningar i laminatet. (Scandinavian Society for Trenchless Technology, 2020) Härdning med vatten kan användas på stora diametrar och betydligt längre sträckor än vad UV-ljus och ånga kan. (Svenskt Vatten AB, 2010) Härdningsvattnet riskerar att kontamineras av styren och andra kemikalier som läcker ut från fodret innan full uthärdning. Det är därför viktigt att hantera installationsvattnet korrekt med avseende om de miljömässiga riskerna.

Ånga är en metod som används sedan 1990-talet. Fördelen som framförs är framförallt att det är en snabb process. Riskerna med ånghärdning är dock att det kan vara svårt att kontrollera temperaturen vid härdning vilket kan leda till hartset har en för hög temperatur, att kylning går för snabbt med efterföljande interna spänningar, att uthärdningsgraden riskerar att bli låg vid områden med stor kylande effekt från grundvatten samt att kondens kan ansamlas i botten och svackor av fodret. (Scandinavian Society for Trenchless Technology, 2020) Ånghärdning leder även till en ökad risk att styren och andra kemikalier (volatile organic chemicals - VOC) sprids i omgivande luft. (Ra, et al., 2018) Detta kan vara problematiskt framför allt i tätbefolkade områden där styrendofoten kan väcka obehag. Det finns strikta arbetsmiljögränsvärden för styren som enligt lag måste följas. Mer om styren och kemikalieinnehåll kan läsas i Goodpoints rapport. (Good Point AB, Finnveden och von Stedingk, 2020)

2.8.2 UV

Liners som är impregnerade med polyester, epoxi eller vinylesterhartser för härdning genom UV-ljus innehåller fotoinitatorer som reagerar på vissa våglängder av UV-ljus (detta inkluderar LED-härdning, vilket gäller samma våglängder men mindre värmeutveckling och högre effekt än klassiska UV-lampor). När ljuset träffar dessa fotoinitatorer bildas reaktiva fria radikaler, vilka initierar den molekylära tvärbinding som resulterar i härdning. UV-härdande liners kan armeras med glasfiber eftersom de genomskinliga glasfibrerna medger ljustransmission genom fodrets tjocklek. Vid mindre godstjocklekar når ljuset genom hela godset och härdningen kan starta samtidigt genom hela väggstjockleken. Vid större godstjocklekar kan peroxider behöva tillsättas för att utnyttja reaktionsvärmen och säkerställa full uthärdning. Foder ämnade för UV-härdning kräver ingen värme (eller kylning för att förhindra för tidig tvärbinding) så fabriksimpregnerade foder behöver bara förpackas och tätas för att förhindra exponering för solljus innan installation. UV-härdning förenklar installationen med avseende på att inget vatten använts och sedermera ej behöver omhändertas. Normalt sett så ger UV-härdning en låg temperaturhöjning för tunna gods. Avseende inre spänningar så motsvarar det då ett mellanting av konventionell rumstemperaturhärdning och härdning med ånga. UV-liners är dock begränsade i tjocklek då kraften från ljuskällan reduceras med avståndet. Begränsningen för UV-liners har rapporterats vara högst ca 13 mm i tjocklek (Tena, et al., 2012), dock med reservation för att teknikutvecklingen sedan 2012 möjliggör tjockare gods. För tjockare gods kan UV-härdningen göras i två steg, men den interlaminära styrkan i gränsskiktet som uppstår mellan de två härdningstillfällena blir svagare. (Tena, et al., 2012)

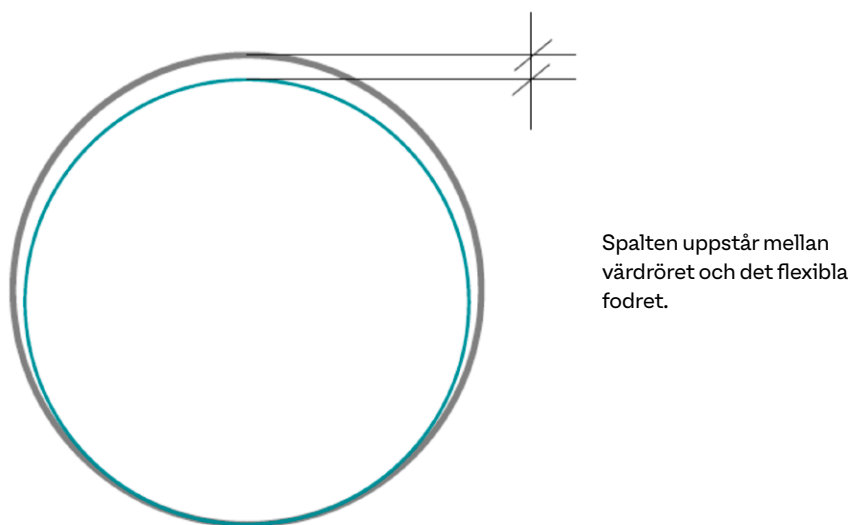
Att härda med UV-ljus har fördelar som att själva strumpan i vissa fall kan förvaras upp till 6 månader innan installation utan att en spontan härdprocess påbörjas (Allouche, et al., 2012), det eftersom initieringen aktiveras av ljus av vissa våglängder och är stabil i övrigt, plus att tekniken möjliggör en snabb installation och härdning.

Oavsett vilken härdningsmetod som används vid installationen så utgör härdningen en exoterm reaktion vilket innebär att energi frisläpps. Det är viktigt att härdprocessen inte går för snabbt så att hartset termiskt degraderar eller expanderar för kraftigt.

Generellt är risken större för en stor exoterm vid ett tjockt gods, det eftersom mer energi kan frigöras samt att det är svårare för värmen att avgå på grund av materialets låga termiska ledningsförmåga. Här utgör själva installationen ett hantverk där det gäller att veta hur mycket energi (värme eller effekten UV-ljus) som behövs för att driva igång processen och att hålla den igång utan att den blir obalanserad. Det är således viktigt att installatören har bra koll på sitt material och installationsutförande.

2.9 Spalt

Spalten är framför allt viktigt med avseende på bucklingslast. Huruvida det uppstår en spalt beror på hur väl fodret är designat efter värdröret, hur stor den kemiska krympningen är och hur väl installationsprocessen genomförs. I enlighet med P101, Avsnitt 8.2 är spalten viktig att ta hänsyn till vid dimensionering av det flexibla fodret som ska installeras.



I beräkningstabeller i P101 är den minsta nivån på spalten 0.5% av ledningens diameter. Det är en spaltbredd som kan uppnås med både termisk härdning av filtfoder och med UV-härdning av glasfiberfoder. Teoretiskt sett får foder med högt glasinnehåll en mindre spalt än foder med lågt glasinnehåll, eftersom glaset bättre motstår formförändringar. UV-härdade foder har generellt sett en lägre härdtemperatur än värmehärdade foder vilket innebär ett mindre termiskt krymp efter tillverkning. Hur stor spalten blir efter en färdig installation beror sannolikt mer på installationsutförande och dimensionering än valet av foder och härdningsmetod. Erfarenheter och provbitar vi har erhållit i projektet har visat att både UV- och värmehärdade foder kan ansluta väl till värdröret.

En liten spalt, ner mot 0.1 % minskar, men hindrar inte, infiltration av vatten. För att undvika infiltration vid brunnar behövs tätningsfilm eller fog appliceras mellan värdrör och flexibelt foder. För att uppnå bättre täthet i samband med servisanslutningar behöver anslutningsfoder eller likvärdig produkt användas. Hur stor spalten är kan mätas med bladmått i anslutande brunnar, vilket förstås inte kan göras om en tätande film eller fog har installerats längst ut i foderkanten.

Spaltens effekt på den hydrauliska kapaciteten är dess effekt på dimensionsminskning av innerdiametern för röret. Den totala minskningen av diametern är godstjockleken plus spalten. Är det viktigt att bibehålla största möjliga area bör man således välja UV-härdande foder med tunt gods och liten krympning, men för den totala hydrauliska kapaciteten utgör inte spalten en avgörande roll.

2.10 Kvalitetskontroll vid och efter installation

Kvalitetskontroll av flexibla foder är av högsta vikt och något som hanteras olika av både beställare och installationsföretag. Det finns riktlinjer för provning av flexibla foder både nationellt och internationellt. Nedan följer ett antal föreslagna kvalitetskontroller av installerade flexibla foder.

Enligt Svenskt Vatten Publikation P101 ska två provbitar tas ut på varje infodringssträcka, antingen i brunnsgenomgång eller i infodringens ändpunkter. Det kan göras genom att två delbara stålrör med samma mått som det installerade fodret installeras vid dessa punkter och sedan kapas ut efter fullständig härdning.

Enligt EN ISO 11296-4 (8.8 Sampling) ska en provbit föredragsvis tas ut ur en mellanbrun genom att installera en struktur som begränsar den installerade fodrets expansion i brunnen till samma som värdröret. Om inte mellanbrun fungerar kan ett prov plockas ut ur slut- eller startbrunn. Ovanstående metod bedöms praktiskt tillämplbart för cirkulära rör upp till 600 mm. Andra metoder för uttag kan vid undantag göras om ovanstående bedöms praktiskt olämpligt. Ingen specificerad provning på det utplockade materialet uppmanas. Enligt EN ISO 11296-1 anslås visuell eller CCTV-inspektion.

Vid skrivandet av denna rapport pågår standardisering gällande kvalitetssäkring för flexibla foder, (Assessment of conformity). Det dokument projektgruppen har tillgång till benämns "Assessment of conformity of plastics piping systems for the rehabilitation of existing pipelines — Part 2: Resin-fibre composite (RFC) material", Draft ISO/DTS 23818-2:2020. Det är viktigt att understryka att detta är ett utkast och ändringar kan implementeras utan notifikation och att det ej får refereras till som en internationell standard. I dokumentet så beskrivs det vilka parametrar som bör mätas och dokumenteras under en installation, så kallat PVT-I (Process Verification Test during Installation), se Tabell 2.4.

UV-härdning	Värmehärdning:
Infodringshastighet	Infodringshastighet
Längsgående kraft	Längsgående kraft
Installationstryck	Installationstryck
Temperaturer*	Temperaturer*
Att Installationsmanualen har efterföljts	Att Installationsmanualen har efterföljts
Strålningsintensitet för lamporna	
På och Av-status för individuella lampor	
Hastighet på ljuståg	

*Notera att vilka temperaturmätningar som är lämpliga att utföra kan skilja sig mellan UV-härdade och värmehärdade foder och den specifika ledningens utmaningar, (exempelvis svackor, grundvatten, eller risk för stora flöden).

För kvalitetssäkring efter installation finns begreppet CPVT (CIPP Product Verification Test), där det finns förslag på frekvensen på provuttag samt förslag på vilka provningar som kan utföras. Enligt tabell A.5 i Draft ISO/DTS 23818-2:2020 så skall det genomföras CPVT för ett foder om ett foder installeras, två foder om 2-10 foder installeras och 20 % av antalet foder om antalet installerade foder överstiger 10, (avrundat uppåt). Som minimikrav rekommenderas att utföra analyser av godstjocklek, böjmodul och böjstyrka (maximal böjspänning vid brott).

Provbit ska tas på ett härdat rör i antingen mellanbrun eller slutbrun med hjälp av en struktur som begränsar expansion av fodret till samma mått som värdröret. Alternativa uttagande av provbit kan tas ut under vissa förutsättningar (ASTM F1216-16, F1743-17). Nedan, i Tabell 2.5, följer prover som rekommenderas för icke trycksatta installationer.

Tabell 2.4

Installationsparametrar som bör mätas och dokumenteras under en installation med UV respektive värmehärdning.

Dokument	Provning	Standard	Krav
P101	Spalt, mellan stålrör och foder		
P101	Ytterdiameter och vägg-tjocklek i 8 punkter	EN 13566:4	Medelgodstjockleken ska överstiga av entreprenören/tillverkar- aren garanterat värde, Uppmätt godstjocklek ska minst 3 mm och aldrig mindre än 80% av uppmätta medelvärdet
P101	Korttidsringstyvhets	EN 1228	Värdet ska vara minst lika med den specificerade rörstyvhetsen för fodret
ASTM F1216-16, ASTM F1743-17	Böjmodul, böjstyrka	ASTM D790	Minimum 3 provstavar, böjmodul > 1724 MPa, böjstyrka > 31 MPa
ASTM F2019-19, ASTM F1216-16	Tjockleksmätning (8 punkter)	ASTM D5813	Medelgodstjockleken ska vara lika eller större än specificerad. Inte vid någon punkt får tjockleken understiga 87.5 % av specifi- cerad tjocklek.
ASTM F2019-19, ASTM F1216-16	Tjocklek med ultraljud	ASTM E797	Om överenskommet
ASTM F2019-19, ASTM F1216-16	Delamineringstest	ASTM D903	Om överenskommet
ASTM F2019-19, ASTM F1216-16	Läcktest		Om överenskommet
ASTM F2019-19	Böjmodul, böjstyrka	ASTM D790	5 provstavar, >85 % av specificerade värdet är godkänd nivå, minimum böjmodul 5000 MPa och böjstyrka minimum 103 MPa.
ASTM F2019-19	Tjockleksmätning (8 punkter)	ASTM D5813	Medelgodstjockleken ska vara lika eller större än specificerad. Inte vid någon punkt får tjockleken understiga 80 % av specifice- rad tjocklek.
Miljöblad #91 (Norge)	Böjmodul	ISO 178/EN EN ISO 11296-4	I varje projekt bör böjmodulen testas för att se att den över- stämmer med specifikationerna.
DWA M143-3 (Tyskland)	Böjmodul, böj- styrka, godstjocklek, vattentäthet		Överensstämmelse med designvärden och inget läckage vid täthetsprovning.
Draft ISO/DTS 23818-2:2020	Böjmodul, böjstyrka, godstjocklek,	EN ISO 11296-4	Överensstämmelse med designvärden

I 3 Omvärldsanalys lyfts ett antal olika kvalitetskontroller i andra länder fram, bland annat i Tyskland som har ett väl utvecklat och fungerande system för kvalitetskontroll av installerade flexibla foder. (Cigler, et al., 2014)

Tabell 2.5

Kvalitetskontroll efter installation enligt ett antal dokument.

2.11 Livstid hos flexibla foder

2.11.1 Kryp

Metalliska konstruktionsmaterial uppför sig elastiskt under belastning upp till sträckgränsen. Det betyder att om en konstant mekanisk spänning läggs på materialet så uppkommer en deformation som inte förändrar sig med tiden. Polymera material är däremot alltid mer eller mindre viskoelastiska, d.v.s. de uppvisar en tidsberoende deformation för en konstant spänning (kryp). Man kan även uttrycka det som att de har en tidsberoende styvhets (elasticitetsmodul, E-modul). Förklaringen till detta tidsberoende finns i polymerernas amorfa molekyelstruktur och kedjornas förmåga att vrida sig och relaxera spänningar, och detta förstärks vid höga temperaturer och fuktig miljö, d.v.s. modulen är också miljöberoende.

Fiberförstärkta polymera kompositer med huvudsaklig belastning i fiberriktningen uppvisar normalt ett mycket begränsat viskoelastiskt beteende. Glasfiberförstärkta kompositer kan dock uppvisa viskoelastiska effekter vid långvarig belastning i fiberriktningen, speciellt vid höga laster. För alla typer av fiberförstärkta polymera kompositer gäller att

vid en belastning i någon annan riktning än fiberriktningen bestäms kompositens egenskaper framför allt av vilka egenskaper matrisen har. För kompositer där armeringen består av huggna, diskontinuerliga korta fibrer kan man även förvänta sig en större kryptendens jämfört med om fibrerna hade varit långa och kontinuerliga.

P.g.a. viskoelastiska effekter är ett flexibelt foders modul tidsberoende, vilket leder till lägre dimensionerande ringstyvhet och därmed lägre hållfasthet mot yttre belastningar. Problemet är välkänt och det är därför man genom provning försöker förutspå långtidsmodulen, ofta 50 och 100 års-värdet. I Nordamerika förekommer en generell tumregel om att använda sig av en "50 års-krypfaktor" på 0.5. (Riahi, 2015) D.v.s., om långtidsmodulen är okänd så antas den då vara hälften av korttidsmodulen. Seriösa aktörer använder dock uppmätta data för olika foder.

2.11.2 Inverkan av åldring, fukt och temperatur

Det är allmänt känt att hårdplastmatriser, t.ex. epoxi, absorberar fukt och att fukten reducerar Tg. (Zhou & Lucas, 1999) Beroende på dess polaritet, tvärbindningsgrad, relativ fukthalt och temperatur kommer matrisen att absorbera olika mängd fukt och Tg sänkas därefter. Zafar et al. (Zafar, et al., 2012) rapporterade en reduktion i Tg på drygt 20 °C för ca 2 % fukthalt i en epoxi. Normalt sett vill man ha så högt Tg som möjligt för att försäkra sig om att den strukturella integriteten påverkas så lite som möjligt av eventuella temperaturhöjningar under drift. Detta är särskilt viktigt i en fuktig miljö. En generell tumregel säger att maximal långtidsanvändning inte bör överstiga "våt Tg" (Tg-värdet som man får om man mäter en fuktmättad plast) inklusive en lämplig säkerhetsmarginal på 10-30 °C. De egenskaper som framför allt påverkas negativt av temperatur och fukt är de matrisdominerade egenskaperna, d.v.s. transversell styvhet och styrka, skjuvstyvhet och skjuvstyrka samt kompressionsegenskaper. I glasområdet reduceras dessa egenskaper ungefär linjärt med ökningen av temperaturen. (White & Hahn, 1992; De Kok & Meijer, 1999) Egenskaperna i fiberriktningen kan anses vara relativt opåverkade, både för temperatur och fukt. (Selzer & Friedrich, 1997) En tillfällig temperaturhöjning strax över Tg kommer inte ha någon direkt inverkan på kompositens egenskaper så länge strukturen är obelastad.

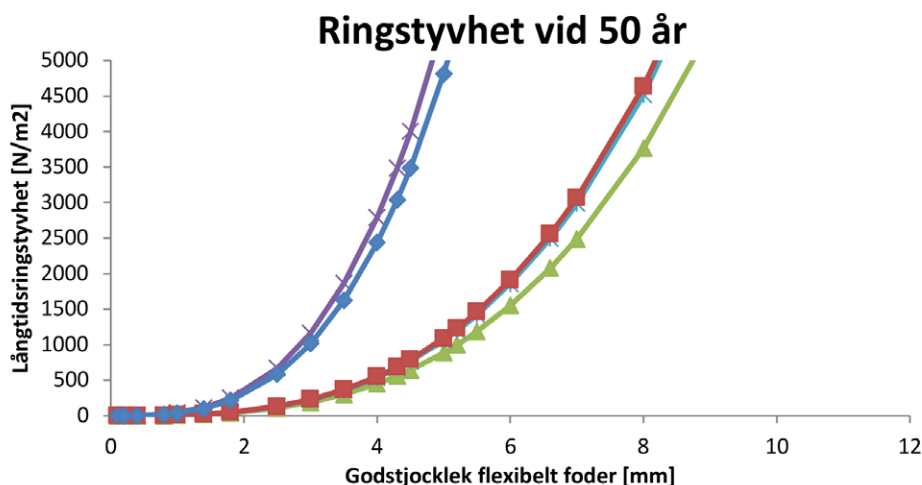
Åldring kan ge antingen en höjning eller en sänkning av Tg. Exempelvis fysikalisk åldring ger med tiden högre Tg. I denna process har kompositens värmehistorik en avgörande betydelse. (Odegard & Bandyopadhyay, 2011) Vatten har som tidigare nämnts en plasticerande effekt på matrisen, vilket sänker Tg, men inverkan av vatten, och speciellt i samband med en högre temperatur, kan också leda till hydrolysning av matrisen. Denna nedbrytning av polymerkedjan kan potentiellt leda till en sänkning av Tg, men även en höjning ifall effekten är ytterligare polymerisation och/eller bildande av starka sekundära bindningar. (Sharma, et al., 2008) Oberoende av inverkan på Tg är åldring i form av hydrolysning associerad med en kraftig degradering i form av successivt bildande av mikrosprickor, vilket kan leda till makrosprickor och delamineringar samt viktförlust i form av emission av partiklar på nano-mikronivå.

2.11.2.1 Teoretisk jämförelse av väggtjocklek

Följande data är baserade på ett antal testinstallationer som gjordes för Baerum kommun och rapporterades 2016. (Hansen & Hamre, 2016) Se Kapitel 3.4 för mer information. För jämförelse mellan de flexibla fodren med avseende på väggtjocklek har långtidsringstyvheten vid 50 år beräknats, Figur 2.10. Parametrarna som använts är baserat på indata från leverantörerna som deltog i det norska projektet. Beräkningen gjordes enligt ekvationen nedan (DN250 ansatt):

$$SN = \frac{E}{12} \left(\frac{t}{d_m} \right)^3 \quad (1)$$

Där SN är ringstyvheten (N/mm²), E är böjmodulen (MPa), t väggtjocklek (mm) och d_m fodrets medeldiameter (d_y+d_i)/2.



Figur 2.10

Ringstyvhetsen vid 50 år som funktion av tjockleken på de flexibla fodren (DN 250 ansatt). De två flexibla fodren med glasfiberarmering (blå och lila) har på grund av högre ursprunglig styvhets vid samma godstjocklek, samt lägre krypvärden, en högre långtidsringstyvhets vid samma tjocklek.

Skillnaden i tjockleken mellan armerade och oarmerade flexibla foder med samma krav på mekanisk hållfasthet är alltså tydlig. Om ett tjockare material spelar någon roll beror på hur situationen för flödeskapaciteten ser ut för ledningen och om det är viktigt för ledningsägaren ur ett långtidsperspektiv. Rörets tvärsnittsarea kommer förändras, som exempel ringstyvhets 2 kN/m² vid 50 år (se Figur 2.10) ger:

Armerat:

Godstjocklek ca 3,7 mm

Ursprunglig area DN250 = 49 000 mm²

Ny area DN250 + armerat foder = 46 200 mm²

Minskning: ca 6 %

Oarmerat:

Godstjocklek ca 6 mm

Ursprunglig area DN250 = 49 000 mm²

Ny area DN250 + oarmerat foder = 44 500 mm²

Minskning: ca 9 %

Flödeskapaciteten beror givetvis på fler parametrar (exempelvis, veck, bulor och antal ”brytningar” för installationen) än tvärsnittsarean men beräkningen ovan ger en indikation på hur olika installationer påverkar rördimensionerna. Oavsett graden av armering så ökas flödeskapaciteten med hjälp av ett flexibelt foder, på grund av den kraftigt minskade ytråheten i jämförelse med det gamla röret.

3 Omvärldsanalys

3.1 Tyskland

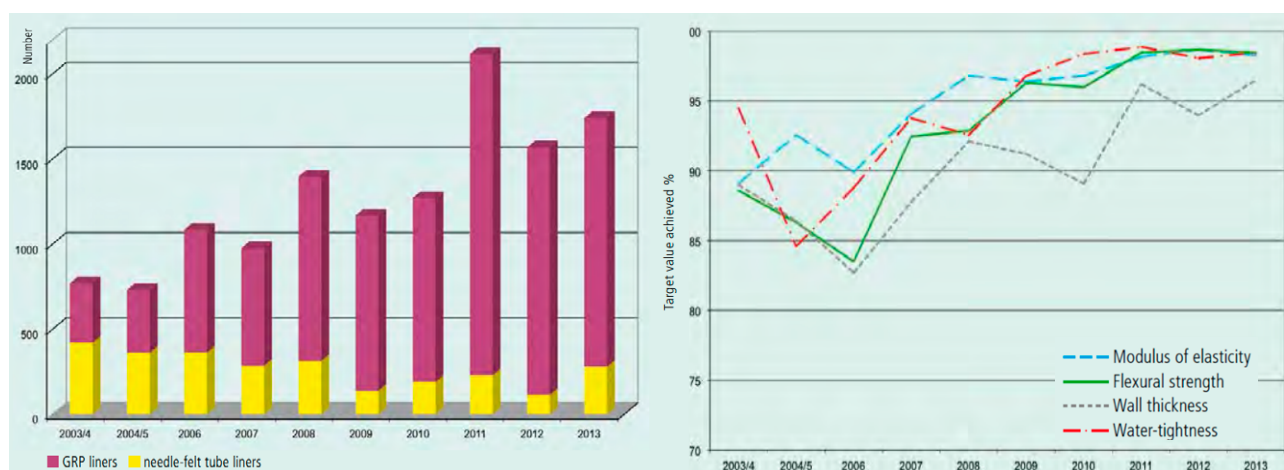
I Tyskland finns det en allmänt accepterad inställning att kvalitetskontroller av installerade foder görs av en 3:e-partskontroll. Det görs genom förstörande provning av provbitar utsågade från det installerade fodret. Två institut som genomför provning i väldigt stor skala är IKT (Institute for Underground Infrastructure) och Siebert+Knipschild. En beskrivning om IKT:s arbete och roll följer nedan.

IKT grundades 1994 och är ett icke-vinstdrivande och oberoende institut som ägs av ett större antal kommuner. Dess fokus ligger på att lösa praktiska och verksamhetsproblem för användning och installation av bland annat vatten- och avloppsrör med tillhörande komponenter. Institutet har en nära koppling med verksamheten och arbetar med ledningsägarnas perspektiv. Institutet är vedertaget enligt DIBt (Deutsches Institute für Bautechnik) och ackrediterat av DAkks (Deutsche Akkreditierungsstelle GmbH).

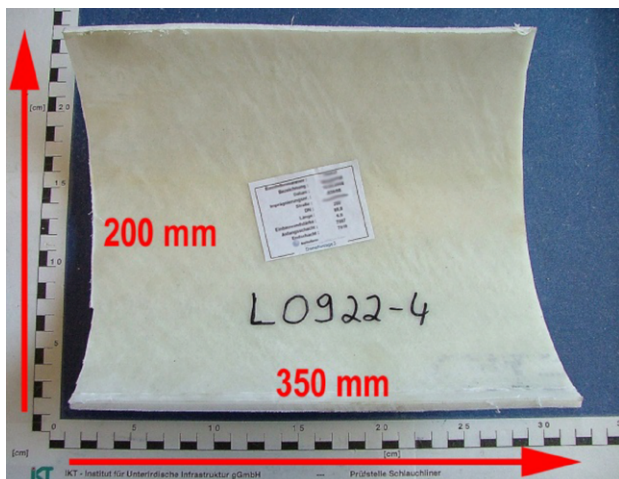
IKT har sedan 2004 bedrivit en verksamhet som syftar till att öka transparensen och kvalitén på den tyska marknaden för installationer av flexibla foder efter påtryckning från tyska kommuner. Det görs genom att ledningsägare och entreprenör skickar provbitar av sina installerade foder till IKT, som genomför ett antal analyser för att se om det installerade fodret uppfyller de förväntade designvärdena. Syftet med IKTs analyser blir således att undersöka om designvärden som specificerats av företagen i DIBt-godkännande även nås upp vid installationer i fält. (IKT, 2014) Då IKT har ambitionen att höja kvalitén för installationer av flexibla foder görs en sammanställning av testresultaten offentliga och sammanställs till en årlig rapport, LinerReport (IKT, 2020). Rapporten betygsätter hur väl entreprenörer och producenter når upp till designvärdena för produkterna. IKTs roll på den tyska marknaden har blivit så erkänd, att även om insändningen av provbitar till IKT är frivillig så är det i praktiken obligatoriskt eftersom IKTs betyg väger väldigt tungt. På detta sätt driver IKTs arbete entreprenören till ett återkommande gott hantverk med hög kvalitet, vilket ger en generell ökad kvalitet på den tyska marknaden för installationer av flexibla foder. Hur kvaliteten har höjts sedan starten presenteras i LinerReport 2013, vilket är en 10-årig sammanfattning av de publicerade testerna. Trenden är att både fler installationer utvärderas samt att kvalitén stiger på den installerade fodren (Figur 3.1).

Figur 3.1

Diagrammet visar hur antalet tester som genomförts har utvecklats per år för armerade (GRP liners) och oarmerade flexibla (needle felt tube liners) foder från 2004 till 2013. Figur 2 visar hur stor del av de installerade foder som når upp till de designparametrar som har deklarerats i byggardeklARATIONEN. (IKT, 2014)



Tack vare transparensen har ledningsägare objektiva siffror på både hur bra specifika flexibla foder fungerar samt hur väl installationerna presterar från specifika entreprenörer. De behöver således inte bara förlita sig på företagets egna siffror. Även entreprenörer utanför Tyskland har börjat använda sig av IKT för att visa att de levererar bra installationer med förväntad kvalitet. I den senaste rapporten (2019) inkluderades företag från Tyskland, Storbritannien, Nederländerna, Schweiz, Frankrike, Belgien och Tjeckien. För att bli inkluderad i LinerReport ska ett företag skicka in ett minimum på 25 bitar med måtten 200×300 mm² av samma fodertyp, från minst 5 olika installationer, se Figur 3.2.



Figur 3.2

Provbit för att genomföra tester. (IKT, 2014)

De analyser som LinerReport baseras på är alla inkluderade i den tyska standarden DWA-M 144-3 (men finns även i andra standarder) kan ses i Tabell 3.1.

Provning	Standard	Kommentar
Trepunktsböj - Böjmodul	EN ISO 11296-4	
Trepunktsböj - Böjstyrka	EN ISO 11296-4	
Tjocklek	EN ISO 11296-4	
Täthet		0.5 bars undertryck på utsidan, inget vatten ska tränga igenom fodret inom 30 min

Tabell 3.1

Standardtesterna som rapporteras i Liner Report.

Utöver standarttesterna kan även ökad testning genomföras på begäran från beställare eller installatör, se Tabell 3.2.

Provning	Standard	Kommentar
Ringstyvhet	EN 1228	S ₀
24 kryptest	EN ISO 899-2, DIN EN761	
Reststyren	DIN 53394 part 2	Uthärtningsgrad
DSC	DIN 53765	Bestämning av T _{g1} och T _{g2}
FT-IR		Verifiering av harts
Avbränning	EN ISO 1172	Bestämning av fyll- och glashalt

Tabell 3.2

Tester som kan utföras vid ökad beställning från beställaren.

Fullskaliga tester uppfyller regleringen i DWA M144-3 and DWA A143-3, där DWA är German Association for water management.

Det finns i Tyskland inget myndighetskrav på att den som genomför installationen är certifierad. Däremot kräver ofta tillverkaren av de flexibla fodren att deras kunder, d.v.s.

entreprenören, genomgår en utbildning hos dem för att kunna garantera att produkten installeras på ett korrekt sätt med förväntad kvalitet. Eftersom dessa installerade system bedöms och publiceras i LinerReport är tillverkarna mycket måna om att installationerna utförs korrekt. I Tyskland är man av uppfattningen att just installationen är det kritiska momentet för att få en produkt som ger förväntad livslängd, så om en installation lever upp till sina designvärden förväntas de långtidsvärden som angivits i byggvarudeklarationen (DIBt) att gälla. Av den anledningen låter man därför bli att testa långtidsvärden i standardtesterna på IKT. (Naismith, 2018)

3.2 Nederländerna

I Nederländerna finns inget officiellt system för kvalitetskontroll av installerade foder, dock har en ökad andel av installationerna skickats på tredjepartskontroll i Nederländerna. IKT bedriver även sin verksamhet i Nederländerna, både med avseende på tredjepartskontroll av installationer och rådgivning till beställare.

3.3 Danmark

I Danmark finns Kontrolordning for ledningsrenovering som en del av en dotterorganisation till Dansk Byggeri. Kontrolordning for ledningsrenovering skapades 1997 från No Dig Gruppen efter påtryckningar från flertalet stora kommuner i Danmark. No Dig gruppen är en sidogren till Kabel och Rørsektionen i Danmarks Konstruktionsforening. Ett kontrollschemat med antal olika punkter har arbetats fram för att säkerställa att entreprenörerna levererar de produkterna som deklarerats vid försäljning. För att få använda sig av ett "godkänt"-märke från Kontrolordning behöver entreprenören dels klara mer omfattande inträdeskrav samt de krav som ställs på kontinuerlig basis, vilket bland annat innebär en regelbunden kontroll av installerade foder genom provning i testlaboratorium. För att få en produkt godkänd från Kontrolordningen ska entreprenören uppfylla ett antal krav, vilket bland annat blir att rapportera egenskaper (se Figur 3.3) för materialsystem samt tester på ett antal provbitar från 5 olika installationer. Utöver det görs även ett antal inspektioner på entreprenörens kontor samt installationsplats för bedömning av hur företagen lever upp till de kvalitetskrav som förväntas. (Dansk Byggeri, 2017)

Egenskab for harpikssystem	Deklareret værdi	Prøvningsmetode
Handelsbetegnelse		-
Type		-
Materiale		-
Trækstyrke		EN ISO 527-2
Træk E-modul		EN ISO 527-2
Trækbrudtøjning		EN ISO 527-2
Bøjstyrke		EN ISO 178
Bøje E-modul		EN ISO 178
Bøjebrudtøjning		EN ISO 178
Blødgøringsstemperatur (HDT)		ISO 75-3
Vandabsorption		ISO 62

Egenskab for posesystem	Fibermateriale	Inderfolie	Yderfolie
Handelsbetegnelse			
Type			
Materiale			

Figur 3.3

Tabellerna från Tekniske bestemmelser for Kontrolordning for Ledningsrenoveringden visar de materialegenskaper som ska deklarerars. (Dansk Byggeri, 2017)

Egenskab	Karakteristisk værdi (MPa)	Prøvningsmetode	Resultater fra prøvning * (antal)
Kortids E-modul, middelværdi		EN 1228	
Kortids E-modul, 5 % fraktil værdi		EN 1228	
Kortids bøj E-modul, middelværdi***		ISO 178	
Kortids bøj E-modul, 5 % fraktil værdi***		ISO 178	
50 års E-modul, middelværdi		EN 761	
50 års E-modul, 5 % fraktil værdi		EN 761	
** 100 års E-modul, middelværdi		EN 761	
** 100 års E-modul, 5 % fraktil værdi		EN 761	
* Heraf __ fra akkrediteret prøvning			
** Deklaration af 100 års værdier er frivillig			
*** Deklaration af bøj E-modul er kun nødvendigt, såfremt virksomheden ønsker at benytte kortids bøj E-modul til proceskontrol for foringer med dim. >ø400			

Egenskab	Deklareret værdi	Prøvningsmetode	Resultater fra prøvning (antal)
Minimumsgodstykkelse	mm	-	-
Deformationsegenskaber, minimum		Bilag 5.6.4	
Reststyrenindhold, maksimum	%	ISO 4901	
Vægopbygning og fiberindhold, min.	%	ISO 1172	

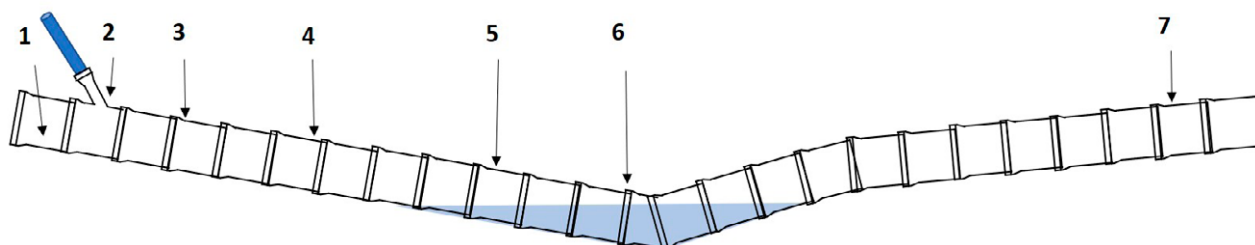
Figur 3.4

Tabellerna från Tekniske bestemmelser for Kontrolordning for Ledningsrenoveringen visar den materialdata som deklarerats för de installerade fodren. (Dansk Byggeri, 2017)

3.4 Norge

I Norge finns inget kontrollorgan för bedömning av installationer eller entreprenörer av flexibla foder. Ett sammanfattande och beskrivande dokument som används i Norge är Miljöblad 91, 2018 (VA/Miljø-blad, 2009, reviderat 2018). Det dokumentet beskriver begränsningar, funktionskrav och lösningar på ett tillgängligt och föredömligt sätt.

I Norge genomfördes det i Bærum kommun tester (Hansen & Hamre, 2016) där ett rör med olika defekter i en testrigg skulle repareras med flexibla foder. Fem entreprenörer bjöds in att genomföra installationer med sina foder i testriggen för att sedan bli utvärderade hur väl de olika defekterna påverkade installationerna. Uppdraget var att infodra två betongrör DN250 och utföra dimensionering enligt standardpraxis för ett sådant rör. Sex olika typer av defekter var introducerade under rörsträckan. Målet var att utvärdera hur robusta och toleranta mot fel installationerna var, se Figur 3.5 och Tabell 3.3.



Figur 3.5

Testriggen som användes i Bærum. (Hansen & Hamre, 2016)

Nr	Typ av defekt/segment	Nr	Typ av defekt/segment
1	Grus i rör	5	Vattenfylld segment
2	Grenrör med kontinuerlig vattentillförsel	6	Vattenfylld rörböj 22,5°
3	Deformerat rör (5-7 %)	7	Övergång till normalt DN300
4	Ingen påverkan – normalt DN250 rör		

Leverantörerna ombads att dimensionera sina system som om de infodrade en ”normal” ledning. I Norge används enligt rapporten då ”VA/Miljøblad nr. 91” som anger korttidsringstyvhet 5000 N/m² och långtid (50 år) 2000 N/m² vid ”normala” förhållanden. De system som användes finns summerade i Tabell 3.4.

Tabell 3.3

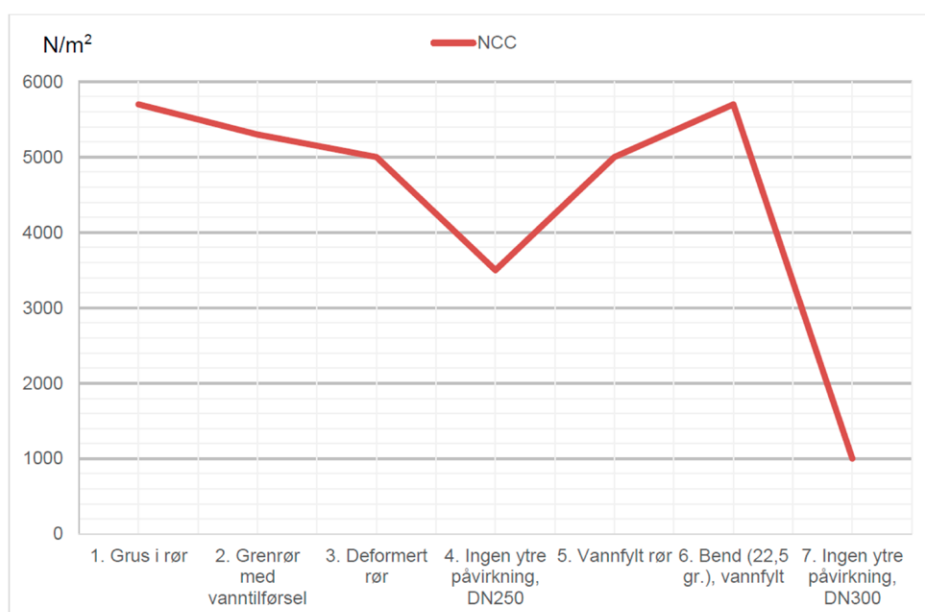
Förteckning över defekterna i Bærum kommunes studie.

	E-modul Kort (MPa)	E-modul Lång (MPa)	Min. tjocklek efter härdning (mm)	Coating/slitskikt + ytterfolie (mm)	Beräknad ringstyvhets kort (N/m ²)	Beräknad ringstyvhets lång (N/m ²)
Entreprenör 1	2800	1250	8	1	8429	3763
Entreprenör 2	11000	7800	4,3	0,4	5000	2830
Entreprenör 3	3080	1540	6,6	0,5	5117	2559
Entreprenör 4	10000	6800	5,2	0,8	8066	5485
Entreprenör 5	3800	1500	6,2	0,5	5208	2056

Som ses i tabellen så dimensionerades inte alla system enligt specifikationen korttidsringstyvhets 5000 N/m² vilket bland annat berodde på att de flexibla fodren enligt leverantörerna finns i distinkta tjocklekar. På grund utav skillnaden i ursprunglig dimensionering kan man enligt författarna inte direkt jämföra värdena för uppnådda ringstyvhetsvärden mellan produkter. Man kan istället titta på trenderna för en produkt och hur defekterna påverkade denna. Ett exempel för ett oarmerat material och ett för ett armerat ses i Figur 3.6 och Figur 3.7. I dessa Figurer presenteras de uppmätta ringstyvhetsvärden från de specificerade punkterna i provsträckan.

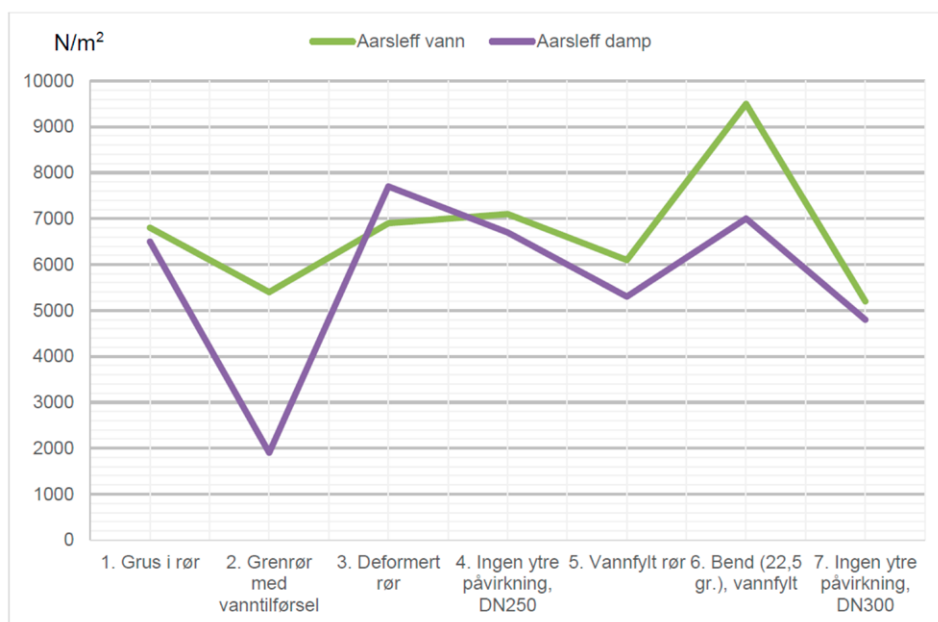
Tabell 3.4

Specifikationer på de flexibla fodren enligt leverantörerna.



Figur 3.6

Resultatet av entreprenör 2:s infodring med glasfiberarmering och UV-härdning där de olika felen i ledningen ses på x-axeln och ringstyvhetsvärdet på y-axeln.



Figur 3.7

Resultatet av Entreprenör 3:s infodringar med oarmerat filtleder, hårdat med vatten respektive ånga, där de olika felen i ledningen ses på x-axeln och ringstyvheten på y-axeln.

Förklaringen till de lägre värdena vid punkt 4 och 7 i entreprenör 2:s fall beror enligt entreprenören på att det flexibla fodret fyller ut hela tvärsnittet och därmed förtunnas vid dessa punkter. I punkt 4 fanns det enligt uppgift en spalt mellan DN250-rörhalvorna som det flexibla fodret fyllde ut. I övrigt uppnåddes de specificerade värdena trots olika defekter.

Förklaringen till de lägre värdena vid punkt 2 i entreprenör 3:s fall beror enligt uppgift på att rörpåsticket gör att fodret "buktar ut" i denna punkt och att det vid provning då uppstår felaktiga belastningar. En annan möjlig förklaring skulle kunna vara att hårdningen med ånga inte klarar av att värma tillräckligt (godset kyls ner av vattentillförseln) för att uppnå önskad uthärdning. Att vatten klarar av uppvärmningen bättre skulle då kunna förklara skillnaden i den punkten.

Generellt visar studien att de flexibla fodren som installerades klarade flertalet defekter bra men att man måste vara extra noga med exempelvis dimensionsförändringar. Undersökningen visade tydligt att noggrant förarbete (defekter/förändringar måste vara kända) är nödvändigt för lyckade installationer.

3.5 Storbritannien

I Storbritannien är marknaden för flexibla foder oreglerad och uppfattas som okontrollerad och utan transparens (Naismith, 2018). Vid upphandling brukar ledningsägare göra sina upphandlingar baserade på krav från ENISO-11296-4, detta kräver dock att ledningsägarna har god teknisk kunskap om rehabiliteringssystemen. Det är även vanligt vid upphandling att entreprenören ska presentera hur installatören har utbildats, detta bedöms som ett effektivt sätt att sortera bort mindre noggranna entreprenörer. Till hjälp för ledningsägare har WRc (Water Research Centre), som är ett oberoende forskningsinstitut, utvecklat konceptet Sewerage Risk Management för att assistera vid förnyelse och hantering av avloppsnätet. Utöver det har WRc under 25 års tid gett ut (i flera upplagor) manualer (Sewerage Rehabilitation Manual) för att underlätta och förtydliga bland annat renoveringsarbete med flexibla foder av självfallsledning. WRc även tagit fram provningsprotokoll för långtidstester och andra parametrar av flexibla foder. (WRc, 2020)

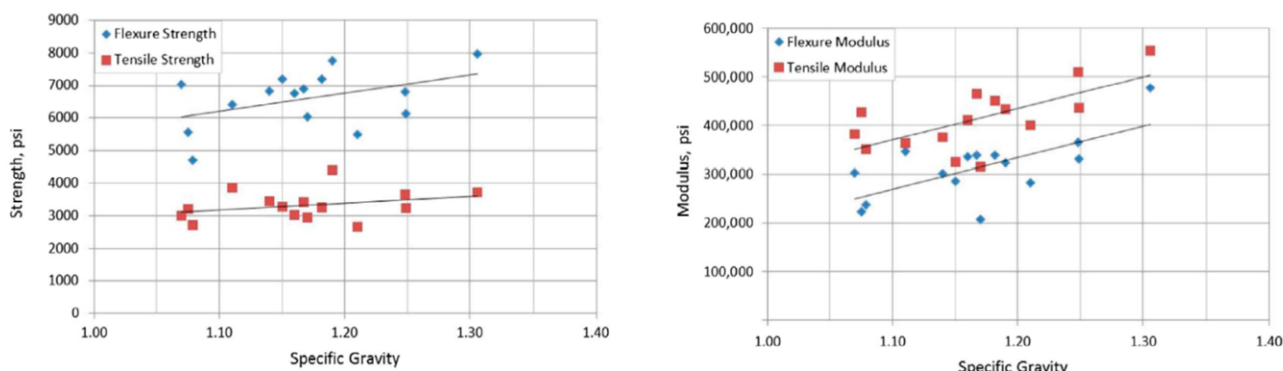
Av ett 50-tal entreprenörer i Storbritannien som gör renoveringsarbete med flexibla foder skickar ett antal av dem sina prover till IKT för kvalitetskontroll.

3.6 Irland

Irland har sedan några år tillbaka ett system som följer det tyska systemet. En provbit plockas ut i samband med varje installation och jämförs sedan med deklarerade värden för det installerade fodret. Ett nationellt laboratorium används huvudsakligen för att genomföra proverna.

3.7 Forskningsstudier på driftsatta system

Under åren 2009-2013 genomförde U.S. Environmental Protection Agency (EPA) en studie på driftsatta flexibla foder installerade i självfallsledning (Allouche, et al., 2012). Totalt plockades det upp prover från 18 olika installationer, som var mellan 5-34 år gamla, från 11 olika städer i Nordamerika. På dessa prover genomfördes det ett stort antal analysmetoder för möjligheten att kvalitetssäkra (QA/QC) och korrelera olika mätmetoder mot varandra. Utvärderingen på driftsatta foder kom till efter påtryckning från ledningsägare på grund av bristen på kunskap om driftsatta foders tillstånd och livslängd, samt att de tidiga foder som installerades i Nordamerika nu började närma sig sin förväntade livslängd. (Allouche, et al., 2012) Studien var omfattande och inkluderade både mätningar i fält på både rör och omgivning, så som visuell inspektion, spaltbredd och pH på avloppsvattnet och omkringliggande jordmassa. Övriga analyser som gjordes var: tjocklek, ovalitet, densitet, porositet, böjhållfasthet, böjmodul och flera andra mekaniska och fysikaliska tester. I ett försök att korrelera olika förstörande och icke-förstörande prover hittades en potentiell korrelation mellan densitet och mekaniska egenskaper (Alam, et al., 2018) där en ökad densitet korrelerade mot en ökad mekanisk styrka och modul (Figur 3.8). Detta beror på det inorganiska fyllnadsmedel som finns i materialet eftersom tillsatsen ökar hartsets mekaniska egenskaper men även dess densitet.



Till sist rekommenderar författarna ändå att visuell inspektion (CCTV), böjhållfastheten och böjmodulen som de viktigaste parametrarna för att utvärdera flexibla foder som har varit i drift. Även godstjockleken bör undersökas vid installation då många av de undersökta fodren avvek kraftigt från designvärdena. Generellt visade utvärderingen av de driftsatta flexibla fodren att endast en begränsad minskning av kritiska egenskaper kunde ses och att alla rören med stor sannolikhet skulle uppnå sin förväntade livslängd på 50 år, och mer där till. (Alam, et al., 2018) (Allouche, et al., 2012). De defekter som upptäcktes bedömdes som tillkomna vid installationen, vilket då även gällde den förväntade godstjockleken.

EPA-studien har resulterat i en databas för ledningsägare i Nordamerika där de kan registrera och undersöka prestandan hos driftsatta rör som blivit utvärderade. Databasen drivs av Trenchless Technology Center (TTC) vid Louisiana Tech University. (Allouche, et al., 2014)

Figur 3.8

Diagram 1 (till vänster) visar böj- (flexural) och dragstyrkan (tensile) mot specifika vikten och Diagram 2 (till höger) visar motsvarande korrelation för modulen mot specifika vikten. Den specifika vikten är fodrets densitet i förhållande till vattnets densitet och är enhetslöst. (Alam, et al., 2018)

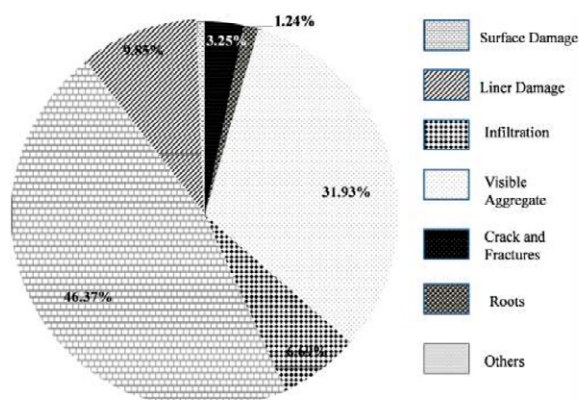
I en studie genomförd av Bakry et al. (Bakry, et al., 2016) på driftsatta flexibla foder i Quebec, Kanada, appliceras en beräkningsmodell för statusbedömning av installerade flexibla foder baserad på data från CCTV-analyser. Totalt analyserades 5310 m uppdelat på 30 olika rör, vilket i sin tur gav 81 olika rörsegment. Skadebedömningen delades in i 6 olika kategorier: sprickor, rotinträngning, aggregerat material, infiltration, ytskador på insidan och rörskador, vilket tillsammans med beskrivning av respektive skadetyper kan ses i Tabell 3.5.

Serial number	Defect Category	Description
1	Cracks and fractures	Circular or longitudinal cracks in the body of the liner
2	Roots	Tree roots, mostly near manholes
3	Visible aggregates	Coarse aggregates of the pipe's structure
4	Infiltration	Visible infiltration
5	Surface damage	Parts of the inner side of the pipe surface have deformations
6	Liner damage	Visible damage in the liner body

Tabell 3.5

Beskrivning av definitionerna för kategorisering av skador i flexibla foder enligt Bakry et al. (Bakry, et al., 2016)

Baserat på CCTV-analysen, och uppdelat i meter, bedömdes nära 20 % av de analyserade sträckorna vara defekta, där ytdefekter utgjorde 46 %, aggregering 32 %, rörskador 10 %, infiltration 7 %, sprickor 3 % och rotinträngningar ca 1 % av defekterna (Figur 3.9).



Figur 3.9

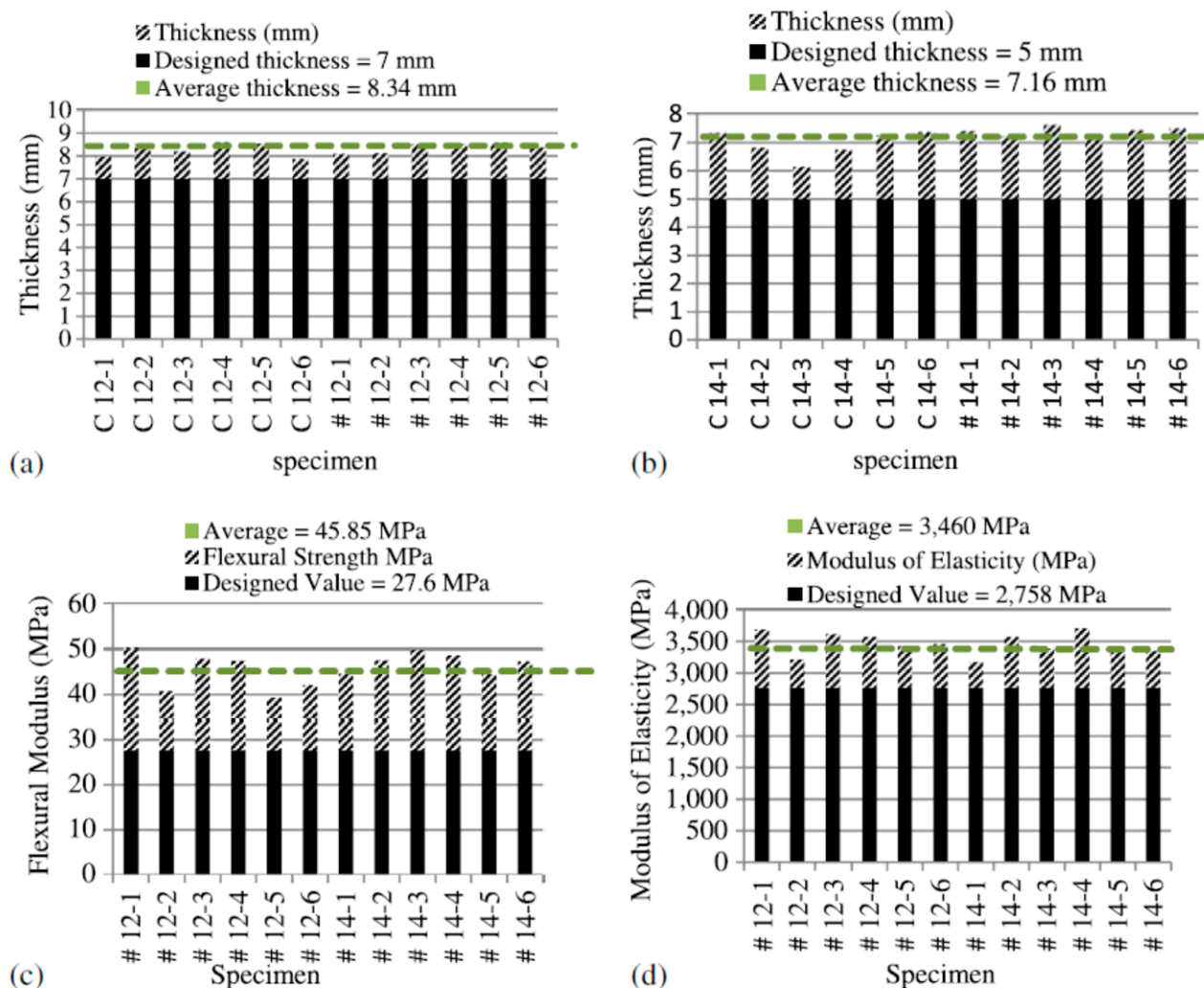
Cirkeldiagram över detekterade skador i CCTV-inspekterade foder. (Bakry, et al., 2016)

Från CCTV-analyserna (samt i enlighet med The Pipeline Assessment and Certification Program-standarder) rankades varje rörsegment enligt två kategorier, en för strukturell status (structural) och en för driftstatus (operational) där den första är defekter som till exempelvis sprickor, hål, ytskador, och den senare relaterar till bland annat rotinträngning, hinder och avlagringar. I respektive kategori blev segmentet statusbedömda från en skala 1-5 där 1 är utmärkt status med bara mindre eller obefintliga defekter, och 5 är bedömningen att det behövs omedelbar hantering. Baserat på denna bedömning gjordes en regressionsanalys för att förutsäga hur 8 olika parametrar (bland annat trafiklast, djup, diameter) påverkade det flexibla fodrets livslängd. Genom detta förfarande kunde de ta fram data på hur de olika parametrarna ska beaktas vid planering av renoveringsarbete och förnyelse. Resultat från regressionsanalysen påvisade att den lägsta klassificering som ett flexibelt foder kan få under 50 års livstid ligger mellan 3-3,5, vilket kan bedömas som en god indikation på att det utgör en pålitlig renoveringsmetod. Det kunde även ses att trafiklast gör en stor skillnad på hur den strukturella statusen för fodret utvecklas, medan effekten av läggningsdjupet inte skiljde sig mellan 1,5 och 4,5 meter.

Alzraiee et al. (Alzraiee, et al., 2015) rapporterade 2015 om förstörande provning på uppgrävda flexibla foder som installerats i avloppsnätet i Quebec 10 år tidigare. Två uppgrävda rörsegment analyserade med avseende på fysiska egenskaper (tjocklek, spaltbredd, ytskikt etc) och mekaniska egenskaper enligt ASTM D790 (böjmodulen) och ASTM D638 (dragprovning). De fysiska egenskaperna bedömdes som mycket goda, med avsaknad av ytskador och minimal spaltbredd. Däremot var tjockleken på båda provbitarna högre än designvärdet; 8,34 mm mot 7 mm (+19%) samt 7,16 mm mot 5 mm (+43%). Den mekaniska provningen visade att de flexibla fodren presterade bättre än de hade dimensionerats för (Figur 3.10) med en böjstyrka och böjmodul som är 66 % respektive 25 % högre, trots ett decennium i drift. Slutsatsen från författarna är att de flexibla fodren är i utmärkt skick utan några synliga defekter och att eventuell nedbrytning fortgår i mycket låg hastighet.

Figur 3.10

Förändring i tjocklek, böjstyrka och böjmodul efter 10 år i drift enligt Alzraiee et al. (Alzraiee, et al., 2015)



Ett antal andra studier har också genomförts på driftsatta rör internationellt. Macey et al. (Macey & Zurek, 2012) (Macey, et al., 2013) utvärderade flexibla foder installerade i självfallsledningar i Winnipeg med en drifttid på över 30 år. Slutsatsen från den studien var att alla utvärderade material uppvisade bra duktilitet, att böjmodulen var högre än specificerat, samt att böjhållfastheten var jämbördig med den initialt specificerade förutom i ett fall där den bedömds som lägre på grund av bristfällig installation. Alla inspekterade foder såg även visuellt mycket bra ut.

4 Råd och exempel vid upphandling av flexibla foder

4.1 Syfte och avgränsningar

Detta kapitel syftar till att ge råd angående hur krav bör ställas vid upphandling med hänsyn till befintlig och i projektet framtagna kunskap.

Det underlag som finns i Bilaga B-D ska bara ses som ett exempel. Om upphandlingsexemplen tillämpas i en riktig upphandling måste materialet anpassas till beställarens villkor. Den kan och ska inte användas i den formen den är. Det är av yttersta vikt att beställaren identifierar vilka funktioner och preferenser som är viktiga för dem och anpassar exemplen till sin egen situation.

Råd och exempel är avgränsade för flexibla foder i dimensionen 100-500 mm, läggningsdjup för befintlig rörhjässa mellan 1.2 - 5 m med omkringliggande friktionsjord och en maximal deformation av befintligt värdrör på 8 %. Dessa ledningar utgör en stor majoritet av de renoveringar som utförs i Sverige. För kommuner där markförhållanden är annorlunda rekommenderas att göra beräkningar enligt Svenskt Vattens publikation P101 och sedan förändra kravet på ringstyvhet i enlighet med dessa.

I samband med råd och exempel antas Belastningsfall B enligt P101 gälla. Belastningsfall A kan användas om infodringen bara belastas av grundvattentryck, till exempel om man har en ny betongledning som är otät. En säkerhetsfaktor på 2 ska alltid användas.

I Bilaga B-D bifogas Exempel på texter till ett RAM-avtal som inkluderar delar av Administrativa Föreskrifter samt Teknisk Beskrivning och Arbets- och materialkostnadslista (A'-prislista). Exemplen är just exempel och det är viktigt att anpassa sina krav till den egna verksamheten där råden kan användas som ett stöd till sitt eget förfrågningsunderlag.

4.2 Funktionsbaserad kravställning

Det finns från leverantörshåll många synpunkter på vilka krav som ska ställas. Från beställarhåll är man i regel intresserad av att handla upp en funktion som ska vara pålitlig över tid. Sedan de första infodringarna, som sågs som temporära åtgärder gjordes, har det hänt mycket materialmässigt. Dock visar de tester som gjorts i projektet att även äldre infodringar håller en bra kvalitet efter en lång tid i drift.

Generellt kan avvägningarna sägas handla om hållfasthet och material mot godstjocklek och flödeskapacitet samt materialval mot miljö. I regel förutsätts ett tätt genomförande och en bra/förbättrad hydraulisk kapacitet efter åtgärden. Möjligheten att utföra en viss typ av åtgärd med en viss produkt behöver också vägas in, eftersom det kan finnas begränsningar för ett material eller installationssätt.

Projektets idé är därför att ta fram en differentierad kravställning baserad på den funktion som eftersträvas med åtgärden. Ofta kan det vara aktuellt med flera funktioner och då får man, förvaltaren av ledningsnätet, plocka ihop en samlad kravställning från de olika funktionskraven. Andra gånger kan det exempelvis vara så att det enda syftet är en tätning mot inläckage och hållfastheten uppnås i de befintliga rören. Det kan också röra sig om en provisorisk åtgärd som bara ska hålla några år innan ledningen byts ut.

I botten ligger baskrav, dessa utgör grunden och på dem adderas sedan kraven som är kopplade till funktion.

Fyra funktionskrav som är viktiga för ledningsnätet lyfts upp: Hållfasthet, Flödeskapacitet, Täthet och Miljö. De krav som formulerats för att ställa krav enligt funktion finns i matrisen i Bilaga A. Där finns även kommentarer med tankegångar kring de specifika kraven och när de kan vara lämpliga.

4.2.1 Funktionskrav Hållfasthet

Huvudsyftet med infodringen är att säkerställa hållfastheten i ett rör som är på väg att kollapsa eller som är i dåligt skick (Belastningsfall B, Svenskt Vatten P101). Det kan också handla om en infodring som görs i rör som ligger ytligt där trafiklasten blir väldigt hög, djupt liggande rör eller i rör som är förlagda i icke friktionsjord, sammanhang där det behövs rör med högre ringstyvhet.

När det gäller de mekaniska egenskaperna anser projektet att ringstyvheten ska vara den primära parametern att sätta krav efter, inte böjmodulen eller böjstyrkan. Önskar man ett starkt och tunt gods behöver man kravställa en hög böjmodul för materialet alternativt specificera godstjocklekskraven. I branschen refereras det normalt till E-modul, detta är lite missvisande eftersom E-modul är ett materials motståndsförmåga att deformeras vid dragbelastning. I projektet refereras istället till böjmodul som är det man egentligen avser och som korrelerar till ringstyvhet.

4.2.2 Funktionskrav Flödeskapacitet

I vissa lägen kan flödeskapaciteten vara huvudskälet till infodringen. Ett hydraulisk mycket rått (hög friktion) rör med påbyggnad, utfällning eller rotinträngning kan orsaka till exempel översvämningar. Det kan också vara viktigt i förhållande till kommande ökad belastning i framtiden av exploatering eller klimatförändring. I regel bibehålls eller förbättras flödeskapaciteten för ett rör när det infodras trots att dimensionen minskar. Det beror på att det installerade flexibla fodret har en betydligt glattare och jämnare yta än värdröret (råheten kan gå från ett värde på ett par mm i värdröret till under 0,2 mm) (Svenskt Vatten, 2016). Fodrets godstjocklek samt undvikande av veck blir här faktorer för att åstadkomma den kapacitet som krävs.

4.2.3 Funktionskrav Täthet

I vissa lägen kan täthet vara huvudorsak till infodringsåtgärden. Dels har vi täthet i själva fodermaterialet men huvudfrågan handlar om utförandet vid anslutningar och övergångar till serviser och brunnar. En spalt kan vara en riskfaktor för inläckage då vatten kan transporteras i spalten utanför och rinna in i övergångar och anslutningar. Spalten påverkas av vilken harts, hårdningsmetod och installationsförfarandet som tillämpas.

4.2.4 Funktionskrav Miljö

Renoveringar av rörledningar med flexibla foder utgör i sig en miljövinst jämfört med utgrävning och ny- eller omläggning av rörledningar, framför allt när det gäller den totala mängden CO₂-utsläpp i samband med installation (Lauesen, 2016). (Kaushal & Najafi, 2020) Det finns dock andra aspekter som bör beaktas när det gäller flexibla foder, till exempel det ohärdade röret och vissa installationsförfarande som kan påverka nedströms miljö och närområdet. Miljöaspekten blir generell mer och mer viktat vid upphandlingar och det är ett tilläggskrav som inte huvudsakligen ger en funktionsskillnad på den installerade slutprodukten, utan snarare ser till att ta extra höjd för att minska eventuella miljömässiga risker under produktion, installation och drift.

För detaljer angående de miljömässiga aspekterna och riskerna av de olika komponenterna som flexibla foder rekommenderas Goodpoints rapport. (Good Point AB, Finnveden och von Stedingk, 2020)

4.2.5 Värdeminskning

Det finns möjlighet att i upphandlingar ställa krav med tillhörande värdeminskningsavdrag. Både storleken på dessa och hur de skall skrivas upphandlingstekniskt har visat sig vara svårt. Därför finns sådana ej med i exemplen för upphandling. Istället får den enskilda beställaren avgöra om värdeminskningsavdrag skall vara aktuellt för upphandlingen. Ett exempel på när värdeminskningsavdrag kan vara aktuellt är när veck och bulor har uppstått.

4.3 Materialperspektiv vid kravställning på typen av flexibla foder

På den svenska marknaden för flexibla foder finns två huvudsakliga grupper av foder baserat på bärarmaterial, glasfiberfoder och filtfoder. De två typerna har egenskaper som skiljer dem åt vilket har skapat en diskussion om hur foder ska krävställas, och om de olika fodren ska delas upp baserat på vilket bärarmaterial som används. En uppdelning skulle då innebära att det existerar två grupper av flexibla foder, ett med glasfiber som anses armerat och ett med filt som anses oarmerat.

Argumentet för att separera mellan olika flexibla foder typer är inte ogrundat och görs bland annat i Nordamerika. Där beskriver standarden ASTM F2019 – 20 vilka material, egenskaper, installationsförfarande och kontroller som gäller för glasfiberförstärkta flexibla foder. För installation av flexibla foder av filttyp används istället ASTM F1216 – 16 samt ASTM F1743 – 17.

Det armerade fodrets stora fördel är dess överlägsna mekaniska egenskaper per areaenhet. Detta sker genom att låta glasfibrerna vara den lastbärande komponenten, inte själva hartset som i fallet för filtfoder. Tack vare den lastbärande glasfibern kan modulen på laminatet utan problem gå över 10000 MPa och då finns förstås möjligheten att göra fodret tunnare och ändå nå upp i nödvändig ringstyvhet. Fördelarna med ett tunnare gods är bland annat att mindre mängd material behövs och att reduktionen av innerdiameter blir mindre. Här begränsas dock tunnheten på godset till 3 mm som är en minsta tjocklek, enligt både EN ISO 11296:4 och ASTM F2019 – 20. Anledningen till 3 mm är bland annat för att erhålla en större marginal för eventuella defekter i det installerade fodret eller värdröret. Även återkommande mekanisk rengöring (knivar och kedjor) av fasta påbyggnader inuti fodret kan vara en anledning till ett minimikrav på godstjocklek. Beroende på ledningens framtida funktion, styrka och underhållsbehov kan därför krav ställas på både mindre och större godstjocklek hos fodret än vad standarden anger.

Några egenskaper som sticker ut för UV-härdade glasfiberfoder som man också kan krävställa mot är:

1. En hög böjmodul vilket möjliggör tunnare gods. Det finns foder med böjmoduler från 7000 och över 17000 MPa som marknadsförs som armerade, spridningen även inom typen av foder är alltså stor.
2. Låga krypvärden då glasfibern har mycket lägre krypvärde än hårdplast. Det betyder att den initiala ringstyvheten ej behöver vara lika hög för att erhålla samma långtidsringstyvhet.
3. En mindre spalt på grund av lägre krymp då den termiska utvidgningen är begränsad vid UV-härdning. Detta är en egenskap som är starkt kopplad till installationsförfarandet, även ett värmehärdat foder kan sluta väl an till värdröret.

De oarmerade fodren har å sin sida fördelar vad gäller designmöjlighet till många speciallösningar som stora dimensionsförändringar, serviser och långa installationer. Designmöjligheten innebär till exempel att antalet schakter ofta kan minimeras genom

utnyttjande av unika och schaktfria tekniska lösningar i ett projekt. Längre installationer innebär också färre skarvar och bättre flödesegenskaper genom brunnar.

Att det finns positiva egenskaper hos armerade foder är tydligt, men frågan är om armering påverkar funktionaliteten så pass mycket att det finns ett behov av att separera de olika typerna i undergrupper? Resultaten i projektet, och att det ej är uppdelat i produktstandarden, P101 eller AMA har inneburit att fodren ej har delats in i två typer i denna rapport. Faktum är att den mest relevanta egenskapen för ett foder, det vill säga den efterfrågade ringstyvheten, går att uppnå med både ett filtfoder och ett glasfiberarmerat foder.

En uppdelning är fullt möjlig att göra, men projektgruppen anser då att det krävs en tydlig efterfrågan på detta från beställare. Därför är funktionskraven baserade på gällande dokument i Sverige för flexibla foder. För den beställare som har en klar åsikt gällande vilken typ av foder som denne vill ha i sitt ledningsnät är det enkelt att lägga till detta i kravspecifikationen.

5 Kvalitetskontroll av flexibla foder

5.1 Bakgrund

Entreprenören är alltid ansvarig för den produkt som levereras till beställaren. Alla seriösa entreprenörer bedriver egen form av kvalitetssäkring till olika grad, exempelvis genom bra kontakter med sina leverantörer eller uttag utav provobjekt för säkerställande att fodrets mekaniska egenskaper uppfyller de förväntade värdena. Beställaren bör i sin tur ställa krav på entreprenören på kvalitetssäkring till någon nivå. Detta för att beställaren skall känna sig mer trygg med att denne får den produkt som har beställts. Vilken nivå som beställaren önskar på kvalitetssäkring är ett fritt val där kostnader, risker och konsekvenser bör sammanvägas. Syftet med det här kapitlet är att belysa vissa aspekter som är viktiga när det gäller kvalitetssäkring. Det finns flera olika sätt öka sannolikheten att produkten lever upp till de specificerade kraven. Tre exempel på detta kommer att presenteras. Det är viktigt att ha i åtanke att kvalitetssäkringsprocessen börjar med vilka krav beställaren sätter i sin upphandling och att dessa krav är stringent beskrivna.

5.2 Avgränsningar

Kvalitetssäkringsprocesserna beskrivna i detta avsnitt syftar i första hand för att säkerställa att det flexibla fodrets mekaniska egenskaper, godstjocklek och uthärdningsgrad är tillräckliga. Andra komponenter i kvalitén så som miljöaspekter, täthet vid serviser leveranstid och så vidare behandlas ej.

5.3 Litteraturstudie

Litteraturstudien som genomfördes i projektet (se 3) innehåller beskrivningar av rutiner och system för kvalitetssäkring i ett antal olika länder. Nedan följer en kort sammanfattning för länderna med relevant information för detta avsnitt, samt även en beskrivning av hur projektgruppen har uppfattat att det fungerar i Sverige i nuläget.

5.3.1 Tyskland

Efter påtryckning från tyska kommuner har institutet IKT sedan 2004 bedrivit projekt för att öka kvalitén och transparensen för installationer av flexibla foder. Det görs genom att ledningsägare och entreprenör skickar provbitar av sina installerade foder till IKT som genomför ett antal analyser (mekaniska egenskaper, godstjocklek och vattentäthet) för att se om det installerade fodret uppfyller de förväntade designvärdena. Resultaten sammanställs sedan i en offentlig rapport där entreprenörer och producenter betygssätt på hur väl de uppfyller de förväntade designvärdena.

Provbitar skickas även till andra provningsinstitutioner i stor utsträckning, men dessa resultat sammanställs inte till en offentlig rapport. Det är i Tyskland vedertaget att provbitar plockas ut och testas av en tredje part.

5.3.2 Danmark

I Danmark finns Kontrolordning for ledningsrenovering som en del av en dotterorganisation till Dansk Byggeri. Kontrolordning for ledningsrenovering skapades 1997 från No Dig Gruppen efter påtryckningar från flertalet stora kommuner i Danmark.

Ett kontrollschema med ett antal olika punkter har arbetats fram för att säkerhetsställa att entreprenörerna levererar den kvalitén på produkten som deklarerats utav entreprenören vid försäljning. För att få använda sig av ett ”godkänt”-märke från Kontrolordning behöver entreprenören dels klara mer omfattande inträdeskrav samt de krav som ställs på kontinuerlig basis, vilket bland annat innebär en regelbunden kontroll av installerade foder genom provning i testlaboratorium.

5.3.3 Storbritannien

I Storbritannien är marknaden för flexibla foder oreglerad utan transparens och uppfattas som okontrollerad. Vid upphandling brukar ledningsägare göra sina upphandlingar baserade på krav från EN ISO-11296-4, detta kräver dock att ledningsägarna har god teknisk kunskap om rehabiliteringssystemen. Det är även vanligt vid upphandling att entreprenören ska presentera hur installatören har utbildats, detta bedöms som ett effektivt sätt att sortera bort mindre noggranna entreprenörer.

5.3.4 Norge

I Norge finns inget kontrollorgan för bedömning av installationer eller entreprenörer av flexibla foder. Ett sammanfattande och beskrivande dokument som används i Norge är Miljöblad 91, 2018. Det dokumentet beskriver begränsningar, funktionskrav och lösningar på ett tillgängligt och föredömligt sätt.

5.3.5 Sverige

I Sverige finns i nuläget inget strukturerat helhetsgrepp på hur kvalitetssäkringsarbetet av flexibla foder skall bedrivas. Det är upp till beställare att besluta om vilka krav som skall gälla för kommunens projekt. En del kommuner har en viss form av kvalitetssäkring, medan andra litar helt på entreprenören och dennes kunnande. Det finns riktlinjer för kvalitetssäkring och provbitsuttag beskrivna i Svenskt Vattens publikation P101, utgiven 2010. Dock så förefaller det som få kommuner har tagit till sig dessa rekommendationer om att sända in provbitar för kontroll på regelbunden basis. I vissa fall utför entreprenören prov i egna laboratorium på provbitar uttagna från projekt i svenska kommuner. Den stora anledningen till avsaknaden av en mer strukturerat tillvägagångssätt är sannolikt att det finns en viss brist på kunskap om hur kraven skall ställas för att kvalitetssäkringen skall kunna utföras.

5.4 Framtiden för kvalitetssäkring av flexibla foder

Kvalitetssäkring är en känslig fråga, men som är viktig i synnerhet för så långlivade produkter som VA-produkter. Det är viktigt att poängtera att huvudsyftet med kvalitetssäkring från beställarna inte är att misstänkliggöra entreprenörer och tillverkare. Om en beställare önskar utökad kvalitetssäkring är det utifrån en långtidskalkyl där denna beräknat kostnader och risker med framtida haverier kontra kostnaderna för kvalitetssäkring. Kommunernas långtidskalkyler (avskrivningstider) sträcker sig ofta till en livslängd om 50-100 år, alltså vida överstigande de garantitider som finns. Därför är de extra måna om att kvaliteten på de installerande fodren är jämn och hög.

Från det nuvarande läget på den svenska marknaden finns det tre vägar att gå, minskad, ökad eller oförändrad nivå av kvalitetssäkring, beskrivet schematiskt i Figur 5.1. Ett av argumenten för en minskad kvalitetssäkring är att de flesta entreprenörerna som verkar på den svenska marknaden är erfarna och yrkesmässigt skickliga. Ett annat är att det har gått bra hittills, de foder som har installerats under de senaste decennierna har inte levererat mängder med problem i de kommunala näten. Dock så har mikroskopibilder i detta projekt tydligt visat att vissa av de installerade fodren inte hade den kvalitet som beställaren kan förvänta, men det är svårt att spekulera i hur det påverkar

livslängden. En minskad kvalitetssäkring skulle också leda till en mindre totalkostnad för en entreprenad.



Figur 5.1

Schematisk beskrivning av framtidsscenario.

Alternativ nummer två är att kvalitetssäkringen på installerade flexibla foder till största delen sköts av entreprenörerna själva. Samma argument som för alternativ 1 gäller här, "det har ju gått bra hittills". Nackdelen är dock att det är upp till varje entreprenör att bestämma på vilken nivå kvalitetssäkringen skall göras. Det innebär att det blir en konkurrenssituation där en entreprenör kan erbjuda en billigare produkt om denne utför en billigare och eventuellt mindre gedigen kvalitetskontroll.

Scenario 3 är att beställare skriver in krav i sina upphandlingar att en tredje part skall vara en del i kvalitetssäkringen. Den uppenbara fördelen är att en oberoende part gör bedömningen på fodrens kvalitet. Man säkerställer då att alla entreprenörer behandlas rättvist och även kommuner med mindre kompetens på flexibla foder får en enkel möjlighet att kvalitetssäkra den levererade produkten. Det tillkommer förstås kostnader och administration när det blandas in ytterligare en part. Därför är det vitalt att det finns välbeskrivna regler och procedurer för att kvalitetssäkringen skall fungera så smidigt och ändamålsenligt som möjligt. Exempel på möjliga system på kvalitetssäkring följer i nästa avsnitt.

5.5 Exempel på olika system för kvalitetssäkring av tredje part

Utifrån de lärdomar vi har dragit i projektet från andra länder samt diskussioner med entreprenörer och beställare presenteras i detta avsnitt tre exempel på system av ökad kvalitetssäkring av flexibla foder. I varje avsnitt finns en väldigt grov kostnadsuppskattning på vad de ingående komponenterna i systemen kostar. Oavsett hur faktureringsordningen är så är det viktigt att ha i åtanke att kostnaderna i slutändan kommer att betalas av beställaren, antingen i form av direkt kvalitetssäkring eller indirekt genom fakturorna till entreprenörer. Beställarens övervakande roll är också viktig i sammanhanget och att denne följer upp de krav som ställs i upphandlingarna.

5.5.1 Produktionsprov

Under det senaste decenniet har svenska kommuner i allt större utsträckning börjat kräva procedurprov på polyetensvetsar som utförs i kommunens VA-projekt. På samma sätt finns det möjlighet att antingen kommunen själv insänder provbitar till ackrediterat provningslaboratorium eller att beordra entreprenören att göra detsamma.

Den enda skillnaden mot procedurprovning av PE-svetsar är att provbitarna behöver ha referensinformation i form av dimensionerande godstjocklek och ringstyvhet, eftersom minimi-nivåerna för dessa egenskaper är projektberoende.

Själva provuttaget är viktigt att göra så att provbiten är representativt för fodret som helhet. Draghastighet på ljuståg, diameter, temperaturer och härdningstider måste förstås vara desamma som för övriga delar av fodret. Även diameter och godstjocklek på provbitar bör vara likvärdiga det installerade fodret, för att förenkla jämförelse med dimensioneringsvärden. Rekommendationer för hur provuttaget skall göras finns bland annat i EN ISO 11296-4, avsnitt 8.8.

Eftersom produktionsproven är tidskritiska och kanske kräver godkända resultat för att entreprenören skall få tillstånd att fortsätta med nästa ledningssträcka är det ej lämpligt att utföra några långtidsprovningar. De genomförda provningarna rapporteras tillsammans med jämförelse mot beställarens kravställning samt standardens krav. Provningsresultaten är uppdragsgivarens egendom.

Förslagsvis så kan följande provningar utföras utav ett ackrediterat provningslaboratorium:

Godstjocklek

Uppmätning av godstjocklek utförs enligt EN ISO 11296-4:2018, avsnitt B.4.1. I korthet innebär det uppmätning av godstjocklek på sex ekvidistanta punkter runt omkretsen, samt uppmätning av minsta godstjocklek. Medelvärde och minimivärde jämförs sedan med krav föreskrivna i EN ISO 11296-4, avsnitt 8.4.3 samt den dimensionerande godstjockleken. När man jämför uppmätta godstjocklekar med krav är det viktigt att ha i åtanke att tjocklekar på interna/externa lager kan behöva subtraheras från den uppmätta tjockleken. Information om dessa lagers tjocklek behöver då tillhandahållas provningslaboratoriet av entreprenör, tillverkare eller kommun.

Ringstyvhet eller böjstyvhet

För mindre foder upp till och med 600 mm är det lämpligt att utföra ett ringstyvhetstest. För större dimensioner kan det vara omöjligt att utföra en provtagning av en hel ring och då kan en böjstyvhetstest istället utföras. Böjstyvhetstest kan också vara aktuellt när det av andra anledningar inte går att ta ut en hel ring. Testerna utförs enligt föreskrivna metoder i EN ISO 11296-4, dvs ISO 7685 för ringstyvheten och Annex B för böjstyvheten. De uppmätta styvheter jämförs sedan med de dimensionerande styvheter som beställaren förväntas tillhandahålla provningslaboratoriet. Om krav ställs på fodrets långtidsstyvhet behöver beställaren även tillhandahålla provningsrapport eller annan data som beskriver fodrets långtidsegenskaper. Det är viktigt att ha i åtanke att om en böjstyvhet uppmäts genom en böjprovning så erhålls genom beräkning en skenbar ringstyvhet. Detta beror på att endast en delmängd av fodret provas och ringstyvhet går endast med säkerhet fastställa genom att prova en hel ring. På samma sätt gäller det omvända, det vill säga om ringstyvhetsprovning utförs så kan endast en skenbar böjmodul beräknas.

Reststyren

I synnerhet känsliga områden där all miljöpåverkan bör minimeras kan det vara lämpligt att utföra en analys av reststyren i fodret enligt ISO 4901. Se ytterligare resonemang angående reststyren i Goodpoints rapport. (Good Point AB, Finnveden och von Stedingk, 2020)

5.5.1.1 Kostnadsuppskattning

Provbitspreparering, uppmätning av godstjocklekar och rapportering ingår i prisuppskattningarna nedan. vid provning av större foder med böjprovning erhålls kanske inte en hel ring och uppmätning av godstjocklekar görs då enbart på de levererade provbitarna. Priserna i Tabell 5.1 är grova uppskattningar och beror även på fodrets dimension samt efterfrågad leveranstid. Kostnaderna för entreprenörens arbete med att ta ut provbitar är ej inkluderade.

Egenskap	Kostnadsuppskattning [SEK]
Ringstyvhet	7 000
Böjstyvhet	10 000
Reststyren	7 000

Tabell 5.1

Kostnadsuppskattning, produktionsprovning.

5.5.2 Produktionsprov med årlig offentlig sammanställning

För beställare och entreprenörer innebär detta kvalitetssäkringssystem i princip samma rutiner som för produktionsprovsvarianten. Skillnaden blir att institutet får tillåtelse att använda resultaten från genomförd produktionsprovning för att sammanställa en rapport där olika entreprenörer och foder utvärderas på hur väl de uppfyller de dimensionerade egenskaperna. För att kunna göra jämförelser på hur utvecklingen på installationerna är i Sverige jämfört med Tyskland kan det vara lämpligt att i den offentliga sammanställningen inkludera samma egenskaper som IKT gör i sin årliga rapport. Dessa egenskaper är Godstjocklek, Böjmodul, Brottspänning och Vattentäthet. Även i detta system är det viktigt att vara stringent när det gäller vilka värden som jämförs, se mer om detta i avsnitt 5.6. För att få vara en del av den offentliga sammanställningen krävs det att ett visst antal provobjekt har skickats in för provning under året.

Fördelen med detta mer offentliga alternativ är att även små kommuner eller kommuner som ej har installerat foder förut kan få en uppfattning om det finns entreprenörer och foder som med större sannolikhet uppfyller de dimensionerade kraven än andra. För en oerfaren VA-ingenjör är det viktigt att ha en opartisk källa vid genomförande av upphandling. I upphandlingsfasen kan då krav ställas på att entreprenören i fråga skall ha deltagit i den offentliga rapporten och ha uppnått de dimensionerande egenskaperna i exempelvis 90% av fallen.

5.5.2.1 Kostnadsuppskattning

I Tabell 5.2 finns grova kostnadsuppskattningar för de provningar som har föreslagits i avsnittet. Sedan tillkommer kostnad för sammanställning av rapport och upprätthållande av regelverk för hur resultat skall hanteras. Denna kostnad är svår att uppskatta, men det är sannolikt mellan 100 000 och 400 000 om året. Eventuellt skulle denna del i systemet kunna bekostas utav bransch eller beställar-organisationer, såsom SSTT eller Svenskt Vatten, alternativt med ett påslag på provningskostnaden.

Egenskap	Kostnadsuppskattning [SEK]
Godstjocklek	800
Böjmodul + Brottspänning	12 000
Vattentäthet	5 000

Tabell 5.2

Kostnadsuppskattning, offentlig produktionsprovning.

5.5.3 Certifiering med kontroll av rutiner och process

De flesta entreprenörer och tillverkare på den svenska marknaden är certifierade enligt ISO 9001 och ISO 14001 som är standarder för kvalitet och miljöledningssystem. Syftet med ytterligare en certifiering är att fokusera på produktkvalitet och de processer och rutiner som finns för att säkerställa denna. På motsvarande sätt finns certifieringar på många andra byggprodukter i vårt samhälle, så som betong, fönster eller plaströr. Detta system kan med fördel kombineras med någon av produktionsprovsvarianterna. Certifiering och kontroll av rutiner och process har under det senaste decenniet blivit allmänt rådande när det gäller relining inom fastighet, mer om dessa regelverk finns att läsa på Branschföreningen för Relining i Fastighet (BRiF) och RISE:s hemsidor.

För att en certifiering skall kunna utföras krävs certifieringsregler som ställer krav på entreprenören och i vilken omfattning dessa krav skall kontrolleras. Certifieringsprocessen påbörjas med ett inledande besök hos entreprenören och om inga avvikelser uppdagas så kan ett certifikat utföras. Sedan följer vanligtvis årliga kontroller av att rutiner och processer följs och uppdateras. Ett inledande besök skulle exempelvis kunna innehålla revision av dokumentation och rutiner för följande element:

- Projektprocess
- Leverans och kvalitetskontroll hos fodertillverkare
- Mottagningskontroll
- Utförande av infodring
- Filmning och anslutning till serviser
- Uttag av provbitar
- Hantering av kundklagomål och reklamationer
- Arbetsmiljö
- Slutdokumentation

En årlig inspektion i fält vid en installation av flexibla foder kan sedan i korthet innehålla följande punkter:

- Ackrediterat institut för inspektion frågar entreprenör om kommande projekt
- Representant från institutet gör oanmält besök på arbetsplatsen
- Kontroll av att de föreskrivna rutinerna följs.
- Eventuellt provuttag för provning enligt föreskrivna regler på ackrediterat laboratorium.

Hur certifieringen går till och i vilken omfattning de olika punkterna ovan skall utföras behöver beskrivas utförligt i en så kallad certifieringsregel. Framtagandet och förvaltandet av en certifieringsregel är omfattande och därmed kostsamt. Ett projekt som samfinansieras av branschorganisationer och forskningsinstitut behövs sannolikt för att starta en certifiering. Förvaltandet kan sedan förhoppningsvis finansieras av årsavgifter för certifikatsinnehavare.

5.5.3.2 Kostnadsuppskattning

I Tabell 5.3 finns grova kostnadsuppskattningar på vad aktiviteterna kostar årligen. Det finns också ett stort arbete att utföra med att skapa en certifieringsregel för i vilken omfattning inspektioner och eventuella provuttag skall utföras. En tydlig certifieringsregel är oerhört viktig för att en rättvis behandling av entreprenörer och transparens i certifieringssystemet.

Aktivitet	Kostnadsuppskattning [SEK/år]
Inledande besök/Fältinspektion	20 000
Kostnader för ansökan och upprätthållande av certifikat	10 000
Efterföljande provning	Beror helt på certifieringsregeln

Tabell 5.3

Kostnadsuppskattning, Certifiering av rutiner och process.

5.6 Vikten av terminologi i datablad och beställningar

I många utav de datablad och annan dokumentation vi har tagit del av inom projektet har det uppgetts ett värde på väggdjocklek och ett värde på E-modul, samt ibland en del andra värden som vi inte väljer att fokusera på här. Exempelvis så kan det stå i ett certifikat att diameter och väggdjocklek är 225/4 mm eller godstjocklek 7,1 mm. Det står ibland inget om den angivna väggdjockleken är nominell, en uppmätt medelgodstjocklek eller kanske en minsta godstjocklek. För kommuner eller provningsinstitut kan det då bli svårt att göra bedömningen om fodret uppfyller de krav som har ställts.

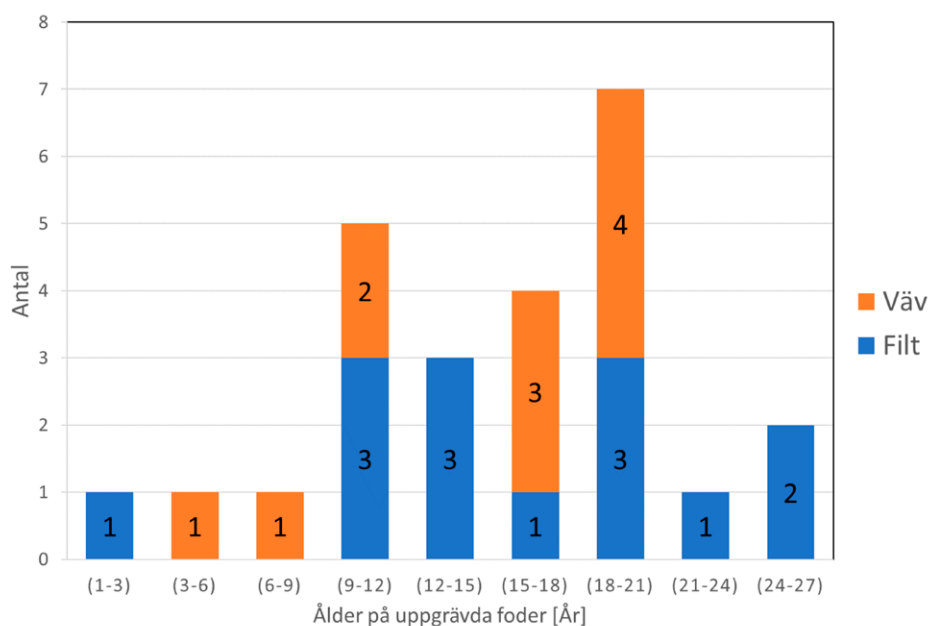
På liknande sätt anges ofta en så kallad E-modul, utan referenser till provningsstandard eller hur provningen är utförd. Det uppstår också en begreppsförvirring när författaren till certifikatet använder begreppet E-modul, när det antagligen är böjmodulen som avses, jämför engelskans "Tensile modulus" (drag-modul) och "Flexural modulus" (böjmodul). Vid efterfrågningar till entreprenörer har det till och med visat sig att en del av de angivna E-modulerna är framräknade utifrån en ringstyvhetsprovning på en hel ring. Vi i projektgruppen ställer oss i dessa fall frågande till varför inte ringstyvheten istället anges, eftersom denna ger ett bättre värde på fodret som helhet. Böjmodulen varierar sannolikt runt fodrets omkrets, beroende på väggdjocklek, uthärdningsgrad och lokala variationer i fiberhalt och orientering, medan ringstyvheten representerar hela rör-tvärsnittet. I bilaga E finns ett förslag på provbitsunderlag som beställare kan använda för att förenkla kommunikationen med entreprenör och provningslaboratorium. Underlaget har inspirerats av IKT:s "APS Sample data sheet".

6 Provning och utvärdering av driftsatta flexibla foder

6.1 Introduktion

Ledningsreovering med flexibla foder är en metod som har använts i ett halvt sekel. Majoriteten av de svenska installationerna har dock gjorts de senaste 30 åren. 30 år var just den livstid som förväntades i samband med installationen, vilket innebär att många reoveringar med flexibla foder börjar nå slutet på sin förväntade livslängd. Det finns dock bara begränsade studier på hur flexibla foder faktiskt åldras i det kommunala ledningsnätet och om den ursprungliga förväntade livslängden är korrekt, överskattad eller underskattad. På nya installationer är den förväntade livslängden minst 50 år, men det finns önskemål från ledningsägarhåll att kunna gå mot 100 års förväntad livslängd. Det är i dessa förutsättningar som projektet har tagit sin utgångspunkt med ambitionen att generera data hur flexibla foder i drift åldras och förändras. Dock måste vi förhålla oss till vilken slags jämförande data som finns tillgänglig i de prover vi kan finna, d.v.s. att det finns provmaterial där vi har dels protokoll kvar från installationen och där kommunen är beredd att ta upp provmaterialet ur marken. Därför är det också viktigt att det finns referensmaterial, alternativt tillgängliga provdata på representativt material från installationstillfället, materialdatablad och noggrann dokumentation av själva installationen samt dokumentation om vilken miljö (djup, jordlast, grundvattentryck, vad för avloppsvatten etc) röret har varit exponerat för. Utan sådan information är det omöjligt att göra trovärdiga beräkningar på den förväntade livslängden. Tyvärr har det också visat sig vara svårt att få tillräcklig information om material och installationsdata för att göra en sådan bedömning i projektet. Däremot har projektet kunnat bidra till ny kunskap om fodrens mekaniska prestanda, installationskvalité och generella status genom olika analyser som diskuteras i denna rapport.

Under projektets gång plockades totalt 25 stycken flexibla foder från det befintliga ledningsnätet i Sverige upp. Det äldsta var installerat 1994 och det yngsta installerat så sent som 2019. Ambitionen var att få upp foder som varit i drift minst 5 år, men även de två foder som var yngre än detta togs med för utvärdering. Åldersfördelningen för de upptagna flexibla fodren kan ses i Figur 6.1. De flesta fodren var mellan 10 och 20 år gamla i samband med att de togs upp.



Figur 6.1

Åldersfördelning på de upptagna flexibla fodren, uppdelat på foder som klassades som väv respektive filt foder.

Relevant för projektet var cirkulära självfallsledningar för avlopp eller dagvatten. Av de 25 st flexibla fodren var ett installerat i stålrör, resterande var installerade i betongrör. De togs upp som hela rörbitar tillsammans med värdröret i samband med ett planerat rörarbete, eller som ett dedikerat upptag för projektets skull, alternativt som två halvor från fodret i anknytning till en nedstigningsbrunn. I det senare fallet var värdröret kvar på plats efter upptaget. Totalt plockades 16 flexibla foder upp som halvor och 9 som hela rör. Upptaget har gjorts i 7 kommuner i Götaland och Svealand och totalt finns foder från tre olika leverantörer med i undersökningen. I samband med upptaget av fodren fylldes en blankett i med information om exempelvis material på värdrör, spaltbredd (om möjligt), läggningsdjup, osv. Antalet foder av respektive glasfiberarmerat och filt kan ses i Tabell 6.1.

Typ av foder	Antal	Härdningsmetod	Antal
Glasfiberväv (armerad)	11	UV-ljus	6
		Termiskt	5
Filtfoder (oarmerad)	14	Termisk	14

Tabell 6.1

Typ av flexibelt foder samt härdmetod.

Av de upplockade fodren var 19 termiskt härdade och av dessa var med säkerhet 6 st ånghärdade, eventuellt var det fler men det har tyvärr inte framgått av de datablad som samlats in i samband med upptagen av de flexibla fodren. Sex av fodren med glasfiberväv har härdats med UV-ljus.

6.2 Statuskontroll och analysmetoder

6.2.1 Visuellt kontroll och mätning av fysikaliska egenskaper

När rörbitarna anlant till RISE gjordes först en grovrengöring samt visuell inspektion och fotografering. Följande analysmetoder har använts för bedömning av fysikaliska egenskaper och kvalitetskontroll:

- DSC (differentiell svepkalorimetri) är en termisk analysmetod som bland annat kan användas för att mäta glasomvandlingstemperatur och uthärdningsgrad på polymerer. Det görs genom att mäta entalpiförändringar av provet där en avvikelse från ett linjärt beteende visar på en kemisk eller fysisk förändring i materialet. I projektet har DSC-analyserna använts för att mäta uthärdningsgrad för de flexibla fodren.

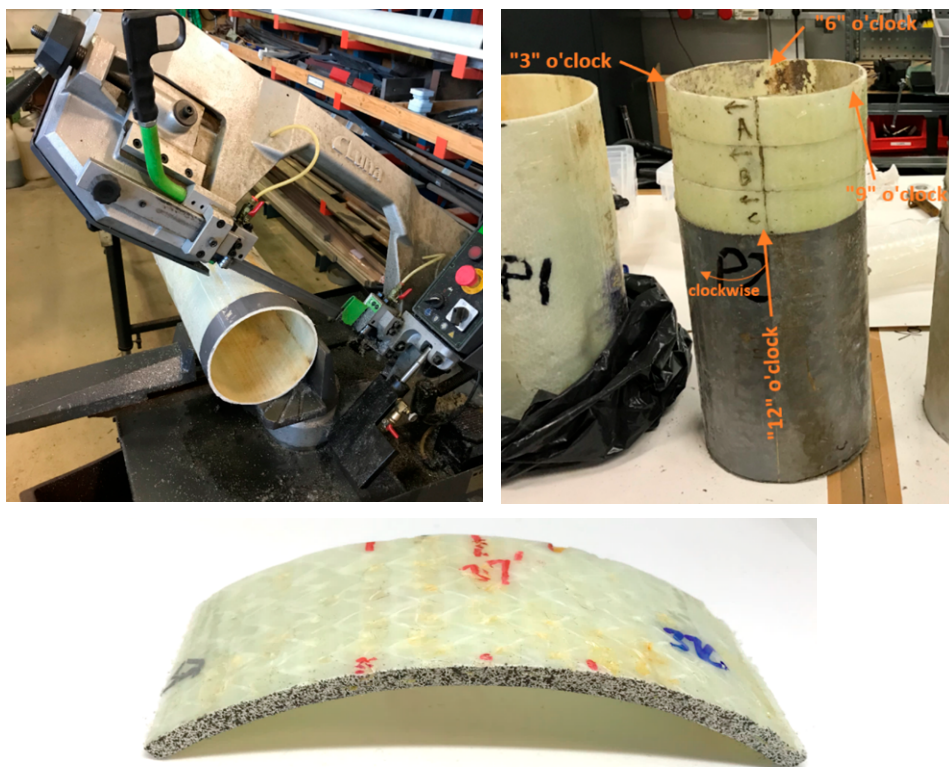
Försöken har gjorts med en DSC 3, Mettler Toledo, enligt ISO 11357. Analyserna utfördes med ett kvävgasflöde i tre segment mellan 25 – 230 °C, 230 – 25 °C och 25 – 230 °C, där upphettningen utfördes med en temperaturgradient om 20 K/min och nedkylningen 80 K/min.

- FTIR (infraröd spektroskopi) är en analysmetod som möjliggör identifiering av kemiska bindningar i organiska material. I projektet användes en Spotlight 200 från Perkin Elmer och mätningar gjordes mellan vågtalen 4000 - 500 cm⁻¹ med hjälp av en ATR-kristall med 8 mätningar per prov.
- Reststyren mättes genom GC-MS (gaskromatografi – masspektromi) analys enligt ISO 4901:2011. Provmaterial skrapas bort från mitten av tvärsnittet av provet och extraheras med diklormetan. Extraktet analyseras med GC-MS med interstandard. Halten styren bestämdes med extern standardkurva.
- Mikroskopering gjordes på polerade tvärsnittsytor med ett Zeiss Axiom ljusoptiskt mikroskop.
- Densitetsmätningar utfördes enligt EN ISO 1183-1:2019, Metod A. Metoden bygger på nedsänkning i vätska med känd densitet simultant med vägning och beräkningar enligt arkimedes princip.

6.2.2 3-punkts böjprov

6.2.2.1 Provberedning

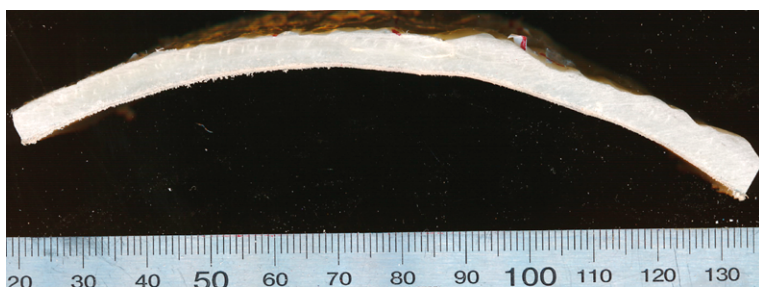
Ringar kapades ut från rör i de fall RISE fick hela rörbitar att arbeta med. Provföremålen togs sedan från dessa ringar genom kapning med vattenkyld såg. För att undersöka eventuella skillnader i prestanda mellan olika områden i rören märktes proverna med "klockslag" enligt Figur 6.2. Klockan 12 är alltid uppåt på röret så som det låg i marken. Observera att de flesta rör redan var kapade i halvor när de mottogs vid RISE och att vissa saknade märkning för hur de var positionerade i marken. Kanterna på provstavar grovpolerades för att jämnna ut eventuella defekter efter kapning samt för att minska effekten av artificiella ytsprickor vid provningen. En del provföremål sprayades också med ett speckel-mönster för att kunna analyseras genom DIC (Digital Image Correlation). DIC är en optisk mätmetod som mäter de relativa förskjutningarna av speckelmönstret under belastning och kan därmed ge information om töjningsfältet i ett större område av provstaven.



Figur 6.2

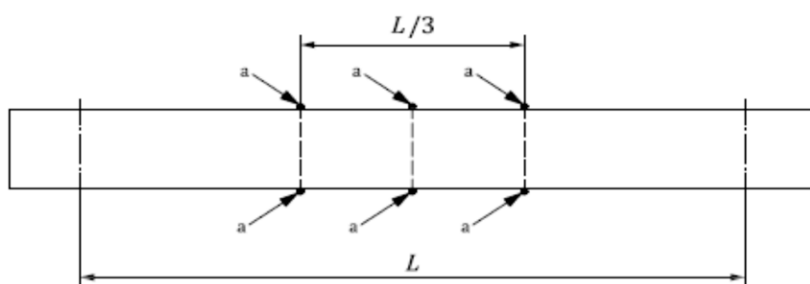
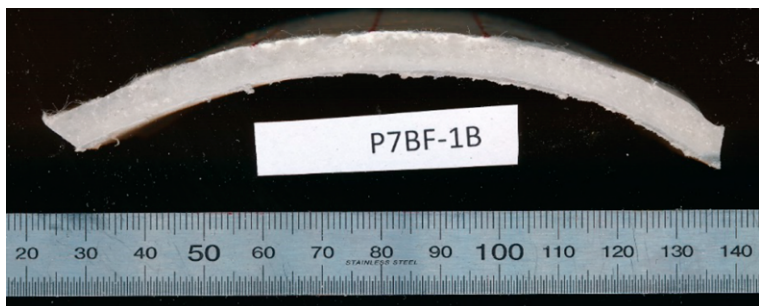
Kapning och provberedning av böjprovstavar från hela rör.

Dimensionerna på provstavarna valdes enligt standarden EN ISO 11296-4: 2018, Annex B. Bredden var därför 50 mm för samtliga provstavar. Krökningsradien för proverna bestämdes genom bildanalys då krökningen kan skilja sig från rörets radie efter kapning. Flertalet rör levererades också i halvor. För bildanalysmätningen skannades provkanten med en plattscanner och bildanalysprogramvaran ImageJ användes för att mäta krökningen. Bilderna från skannern kunde också användas för att bedöma tjockleksvariationen i provföremålen. Även om de jämnaste bitarna valdes ut för provning kunde det konstateras att tjockleken i vissa fall avviker från medelvärdet med mer än 10% (den tillåtna maximala avvikelsen enligt standarden är 10%). Sedan kan det vara stor variation mellan mätpunkter inom samma provstav, även om medeltjockleken inte varierar avsevärt mellan provstavar från samma rör. Ett exempel på ett provföremål med stor tjockleksvariation visas i Figur 6.3. I detta fall är tjockleksvariationerna resultatet av bulor på provstavens yttre yta medan insidan är jämn. Ett exempel på provföremål med liten tjockleksvariation kan ses i Figur 6.3. Se Figur 6.4 för definition av mätpunkter för tjocklek och bredd enligt EN ISO 11296-4.



Figur 6.3

Exempel på provföremål med ojämn respektive jämn tjocklek.

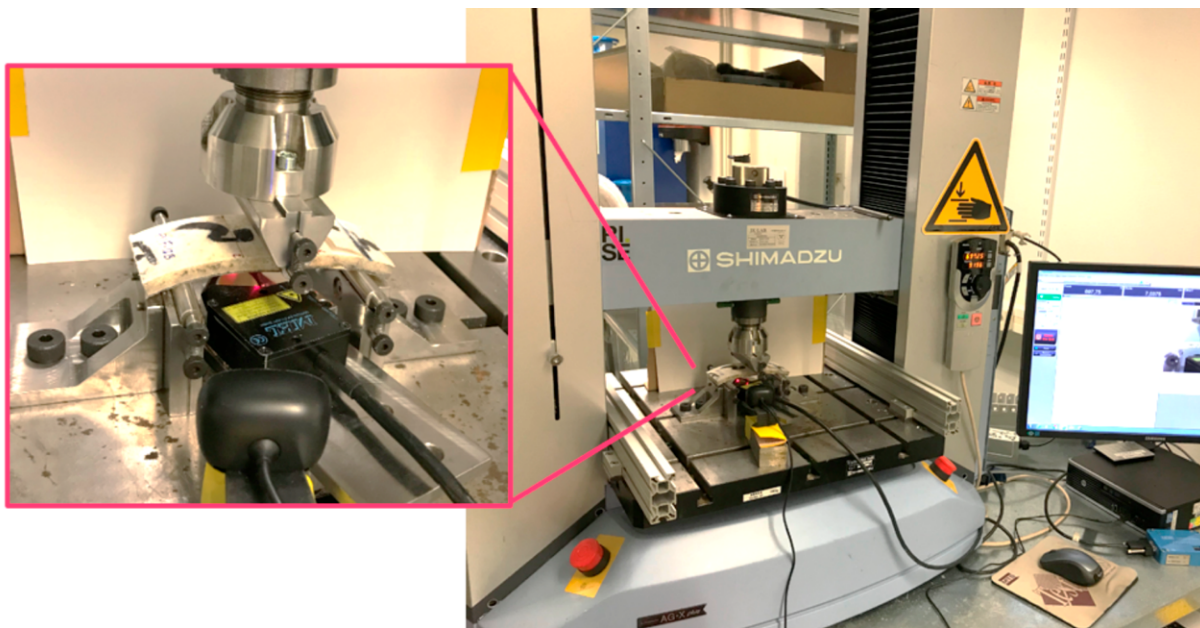


Figur 6.4

Mätpunkter för bredd och tjockleksmätning enligt Figur B.3 i EN ISO 11296-4.

6.2.2.3 Provning

Testerna utfördes på en Shimadzu testmaskin utrustad med en 50 kN lastcell, kalibrerad även för låga laster under 100 N. Provuppställningen kan ses i Figur 6.5. Avståndet mellan stöden i böjfixturen var 10-20 gånger provens tjocklek enligt rekommendationerna i Tabell 3 i standarden EN ISO 14125 beroende på om det var filtfoder eller glasfiberarmerat, d.v.s. oftast 90-100 mm mellan stöden i dessa tester. Radien för stålstöden på fixturen var 5 mm. En konstant maskinförskjutning av 5 mm/min applicerades till brott.



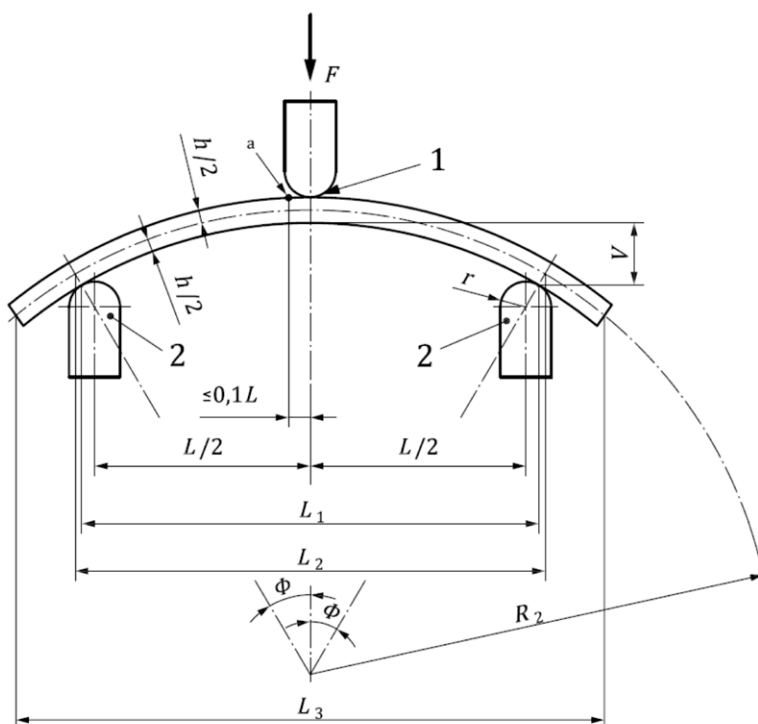
Figur 6.5

Provuppställning för
3-punkts-böjprov enligt EN
ISO 11296-4.

Nedbøjningen i mitten rakt under lastinföringen mättes indirekt med en lasermätare genom en spegel lutande 45° placerad under provet. Lasermätområdet är dock begränsat till en deformation på 10 mm. För prover som hade större nedbøjningar användes en linjär anpassning av laseravläsningen mellan 810 mm för att extrapolera nedbøjningen över 10 mm. Alla tester filmades med en GO-5000M-USB-kamera för att övervaka den totala deformationen fram till brott. Filmerna synkroniserades med belastningskurvorna. För vissa prov utfördes ytterligare digitala bildkorrelationsmätningar (DIC) där deformationen av speckelmönstret registrerades. Efterbehandlingen av DIC utfördes i GOM Correlate 2018, där motsvarande tøjningsfält beräknades.

6.2.2.4 Databehandling

Efterbehandlingen av rådata för kraft och deformation följer teststandarden EN ISO 11296-4:2018. Spänning och tøjning i de krökta böjprovstavarna beräknades från kraft, nedbøjning, provstavsgometri och lastgeometri enligt Ekvation B.5 och B.6 i teststandarden. Böjstyvheten bestämdes från en linjär regression av spänning-tøjningskurvan i tøjningsintervallet 0,25-0,5%. I några få tester då detta område inte var linjärt försköts detta mätintervall något till närmsta linjära område i spänning-tøjningskurvan. En principskiss av provuppställningen samt definitioner av geometriska parametrar ges i Figur 6.6.



Figur 6.6

Principskiss av 3-punkts böjprov samt definitioner av parametrar enligt EN ISO 11296-4.

Korrigeringsfaktorer beräknades från den krökta provgeometrin för att uppskatta de ekvivalenta "plana" egenskaperna, dvs för att kunna översätta provresultat på krökta provstavar till om testerna hade utförts på motsvarande plana provföremål (index c = "curved" och f = "flat" i EN ISO 11296-4, Annex B) enligt Ekvation 2 och 3 nedan (referens: Ekvation B.9 och B.11 i standarden).

$$C_E = \frac{(L_2/d_n)^3 \cos^2 \phi}{1.5 \left(\phi - \frac{L_2}{d_m} \right) \cos \phi} \quad (2)$$

$$C_\sigma = \frac{1 + \frac{e_{c,m}}{3d_m}}{\cos \phi} \quad (3)$$

$$C_\varepsilon = \frac{C_\sigma}{C_E} \quad (\text{ej i teststandard}) \quad (4)$$

Böjspänningen för ett ekvivalent plant prov anges som σ och böjstyvheten som E samt böjtöjningen som ε . Beräkningen av korrigeringsfaktorer anges i standarden för böjspänningen och böjstyvheten men inte för böjtöjning (Ekvation 4).

6.2.3 Ringstyvhet

ProduktstandardEN ISO 11296-4:2018 föreskriver att ringstyvhetsprovning skall utföras enligt metodstandardEN ISO 7685:1998. Det har dock utkommit en ny utgåva under 2019 med mindre förändringar. Den nya utgåvan kommer sannolikt att refereras till i kommande produktstandarder, därför åsyftar denna beskrivning till den senaste utgåvan.

Kravet på ringstyvhet är enligt produktstandardEN det deklarerade värdet för produkten men ej mindre än 0,25 kPa (0,25 kN/m²). ProduktstandardEN föreskriver också 2 stycken provbitar och att dess längd skall vara fodrets nominella diameter men maximalt 300 mm.

Efter provberedning av provbitar uppmäts fodrets medelgodstjocklek, medeldiameter och provbitens medellängd. Sex längsgående referenslinjer ritas med 60° intervall runt omkretsen. Uppmätningen av godstjocklek utförs sedan i båggeändrar av provbiten

vid dessa linjer, en medelgodstjocklek kan sedan beräknas. Medellängden på provbiten utförs också genom uppmätning av längden vid de sex referenslinjerna. Beräkningen av medeldiameter utförs vanligtvis efter uppmätning av medelytterdiametern med en cirkometer.

Nästa steg är själva ringstyvhetsprovningen där en provbit placeras i en tryckprovningssmaskin mellan två plana plattor. En förlast beroende på nominell diameter på fodret appliceras för att säkerställa kontakt mellan foder och plattor. I ISO 7685 finns två metoder beskrivna för uppmätningen av ringstyvhet. Metod A föreskriver en konstant last och metod B föreskriver en konstant deformation. I detta projekt har vi använt metod B. Provbiten trycks samman med en konstant hastighet till en deformation på 3 % av fodrets medeldiameter, denna sammantryckning skall ske på en minut. Deformationen hålls sedan konstant i två minuter. Under dessa två minuter kommer den uppmätta kraften att minska något på grund av fodrets relaxation. När två minuter har passerat noteras kraften och beräkning av ringstyvhet kan sedan göras enligt följande formel:

$$S_0 = \frac{f \times F}{L \times y} \quad (5)$$

Där S_0 är den uppmätta ringstyvheten, [N/m²].

f är en faktor för deformationen som vid en deformation på 3 % är 0,01935, [dimensionslös]

F är den uppmätta kraften två minuter efter 3 % deformation har uppnåtts, [N]

L är provobjektets medellängd, [m]

y är deformationen i meter, [m].

Proceduren upprepas för varje par av referenslinjer på provbiten och sedan kan provbitens medelringstyvhet beräknas. Med hjälp av den uppmätta ringstyvheten och fodrets geometri kan sedan en skenbar böjmodul beräknas enligt följande:

$$E = \frac{S \times d_m^3}{I} \quad \text{där } I = \frac{e^3}{12} \quad (6)$$

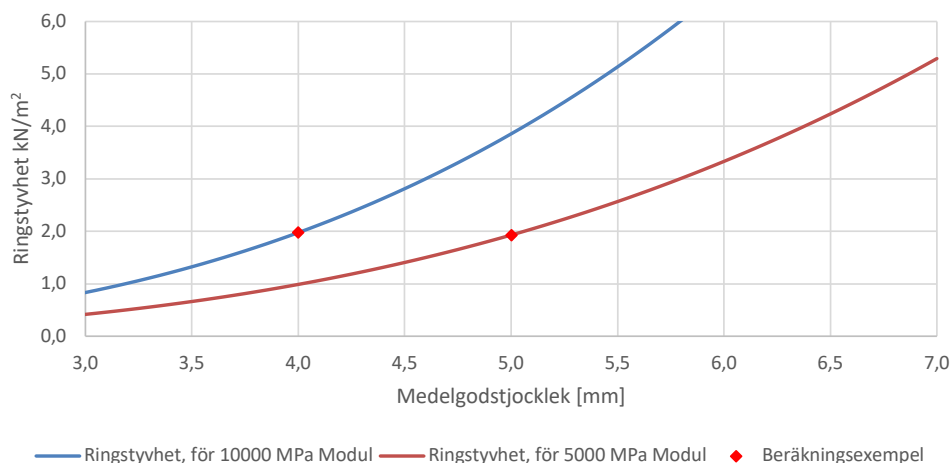
Där S är medelringstyvheten, [N/m²].

E är fodrets böjmodul i omkretsriktning [N/m²]

d_m är fodret medeldiameter [m]

e är fodrets medeltjocklek, [m]

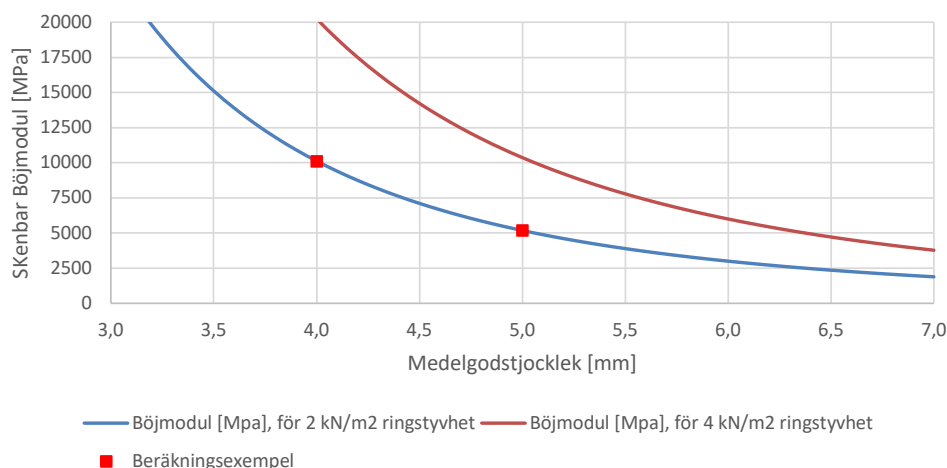
I är fodrets så kallade tröghetsmoment i längdriktningen per meter längd. Godstjockleken har alltså en kubisk inverkan på förhållandet mellan ringstyvhet och böjmodul, d.v.s. en mycket stor inverkan på fodrets ringstyvhet. För att exemplifiera detta har ringstyvheten plottats mot godstjockleken för ett foder med medeldiameter 300 mm och böjmodul 5000 MPa samt 10000 MPa, se Figur 6.7. Ett beräkningsexempel har inkluderats med 2 punkter för 2 kN/m². Där kan utläsas att det krävs 5 mm istället för 4 mm medelgodstjocklek för att uppnå ungefär samma ringstyvhet för ett 5000 MPa-foder jämfört med ett 10000 MPa-foder.



Figur 6.7

Ringstyvheten beroende på godstjockleken. Plottat för ett foder med medeldiameter 300 mm och böjmodul 10000 MPa respektive 5000 MPa.

På liknande sätt får den uppmätta medelgodstjockleken stor inverkan på beräkningen av skenbar böjmodul när man utfört en ringstyvhetsprovning. I Figur 6.8 har den skenbara böjmodulen plottats mot godstjockleken, detta har utförts för två stycken ringstyvheter. Även här har två punkter inkluderats som beräkningsexempel i linjen för ringstyvhet 2 kN/m². Dessa punkter visar att den skenbara böjmodulen måste vara ungefär dubbelt så stor för ett SN2-foder när godstjockleken är 4 mm jämfört med 5 mm, vilket var förväntat i enlighet med det föregående exemplet.



Figur 6.8

Den skenbara böjmodulen beroende på godstjockleken. Plottat för ett foder med medeldiameter 300 mm och ringstyvhet 2 respektive 4 kN/m².

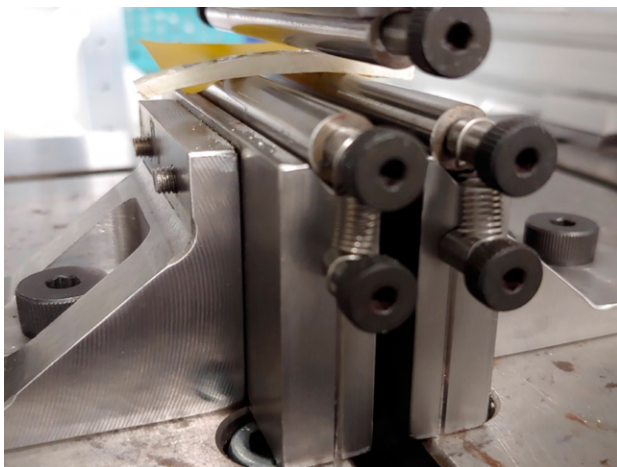
6.2.4 Jämförande prov av driftsatt material

I samband med en installation av glasfiberarmerat foder 1998 på Öckerö togs ett antal provbitar ut efter installation och sparades i arkiv hos Öckerö kommun. Installationerna genomfördes i betongrör med foder som dimensionerats enligt belastningsfall B, läggningsdjup på 2 m och ett grundvattentryck på 1 mvp. Enligt beställning från Öckerö dimensionerades fodren med en ringstyvhet på SN1.25 och var antingen 200 eller 225 mm i diameter. Någon provning på de uttagna provbitarna gjordes inte utan den jämförbara data som finns tillgänglig är det som rapporterats för produkten i dåtidens datablad.

Av de driftsatta foder som plockades upp från Öckerö fanns det referensprov som sparats på hyllan till fyra installationer (Öckerö #4, 7, 8 och 10 i denna rapport). Alla installationer gjordes av samma installatör, vid samma tidpunkt och samma typ av foder. De foder som plockades upp togs upp som halvor och ej som ringprover.

De jämförande prov som har gjorts för Öckerö #4, 7, 8 och 10 samt referenser består av visuell inspektion, mikroskopianalys, FTIR, reststyrenmätningar och mekanisk provning. När det gäller den mekaniska provningen hade det varit idealt att utföra samma

3-punkts böjprov enligt EN ISO 11296-4 för både referenser och uppgrävda provstavar. Tyvärr hade referensproverna för kort spann i ringled för en sådan jämförande provning. Dragprovning i axiellt led är också problematiskt eftersom provföremålen är krökta. Därför beslutades det att utföra skjuvprovning i form av 3-punktsböjning av korta provstavar enligt ASTM D2344. Standarden gäller endast för en ungefärlig bedömning av skjuvhållfastheten för en laminerad komposit då det inte är ett rent skjuvprov. För ett kort provföremål (enligt ASTM D2344 är längden mellan stöden till tjockleksförhållandet 6:1) i 3punktsböj är målet att minimera böjningen (drag- och tryck) för att maximera den inducerade skjuvspänningen och utan att spänningskoncentrationer från stöden ska påverka allt för mycket. Ett exempel på provuppställningen ses i Figur 6.9. Skjuvhållfastheten efterfrågas normalt inte för dessa material i denna applikation, men eftersom det är en matrisdominerad egenskap (d.v.s. styrs av hartset och egenskaperna för gränssyta fiber/harts) så gjordes bedömningen att det bör kunna användas som indikator på eventuella förändringar i materialet som har varit i drift.



Figur 6.9

Skjuvprovning genom 3-punktsböjning av en kort balk enligt ASTM D2344.

Skjuvhållfastheten ("short-beam strength", i MPa) beräknas enligt Ekvation 7:

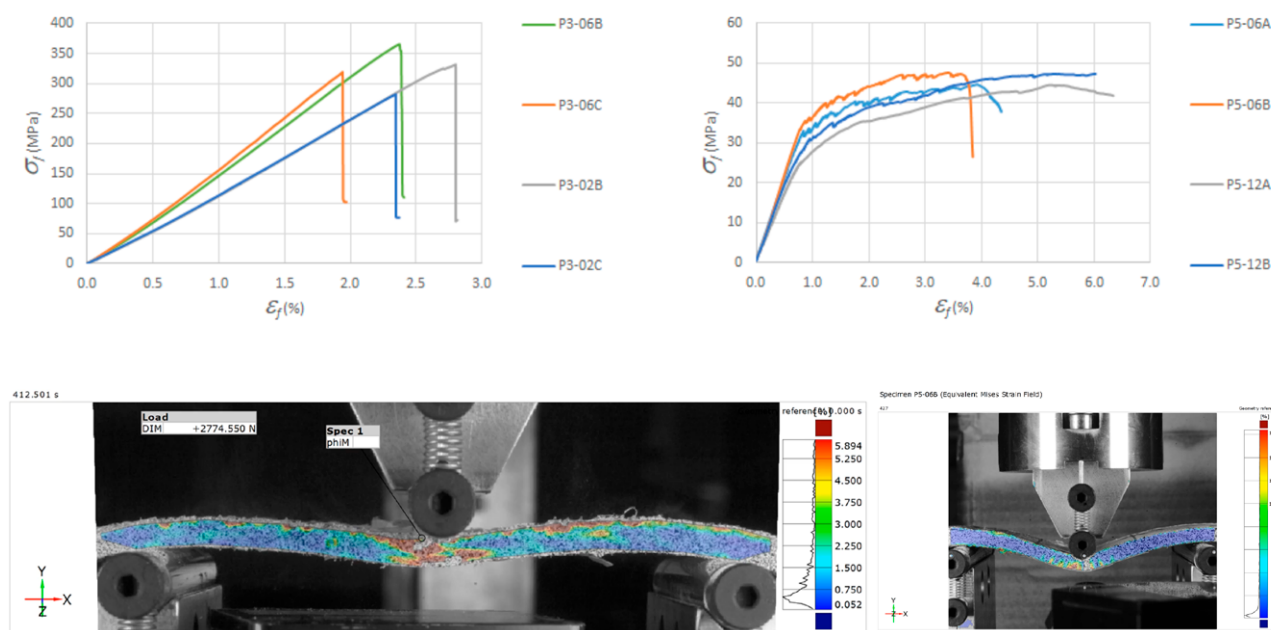
$$F^{sbs} = 0.75 \times \frac{P_m}{b \times h} \quad (7)$$

Där är maxlasten (N) som observeras i testet, är provstavens bredd (mm) och är provstavens tjocklek (mm). Provstavens bredd är 2 gånger godstjockleken. Totalt testades 24 provstavar (3 driftsatta och 3 referensprov från varje rör).

6.3 Resultat och diskussion

6.3.1 3-punkts böjprov

Krökta provstavar av driftsatt material har testats i böjning enligt beskrivningen i tidigare avsnitt. Totalt testades 116 provstavar, varav minst 4 från varje rör. Generella slutsatser är att spridningen i uppmätta mekaniska data är relativt stor, och den är större för glasfiberarmerade foder än för filtfoder. Variationen kan vara stor även om provföremålen tas från samma rör och i närheten av varandra. Armerade foder visar som väntat en betydligt högre modul och styrka än filtfoder. Figur 6.10 visar några exempelkurvor från böjprovningar samt töjningsfältet från DIC vid slutbrott för en provstav för både armerat och oarmerat foder.



Figur 6.10

Exempelkurvor (spänning-töjning) för 3-punktsböjning och tillhörande DIC-analys för typiskt glasfiberarmerat foder (vänster) och filt (höger).

Ingen säker slutsats kan dras angående provstavarnas egenskaper beroende på vilket klockslag på röret de tagits från. En möjlig tendens kan vara att det är något lägre styrka kl 6 (botten på röret) jämfört med andra positioner, men variationen är stor.

Från Figur 6.10 är det också tydligt att inte bara styrka och styvhet är annorlunda för de olika fodren, men också själva utseendet på kurvorna och töjningen till brott skiljer sig markant. I EN ISO 11296-4 är det definierat att om max spänning och motsvarande töjning föregås av kraftig olinjäritet, eller hack i kurvan p.g.a. skadeutveckling (som i högra bilden i Figur 6.10), ska det också anges när denna olinjäritet eller första brytning i kurvan uppkommer genom och motsvarande töjning.

Tabell 6.2 ger en sammanställning för samtliga uppgrävda flexibla foder som har testats med trepunktsböj enligt ISO 178 och annex B i EN ISO 11296-4. De mest relevanta data har lagts in och den skenbara ringstyvheten (S) har beräknats genom Ekvation 6 med den uppmätta böjmodulen (Ef). Som kan ses i tabellen är det ingen av de testade rören som har lägre skenbar ringstyvhet än 2 kN/m².

	Diam (mm)	Datablad E _t (MPa)	Design- tjocklek (mm)	Tjocklek (mm)*	E _t (MPa)	σ _{fb} (MPa)	σ _{fm} (MPa)	ε _{fb} (%)	ε _{fm} (%)	Beräknad skenbar ringstyvhet (kN/m ²)**
NSVA	150	4401	2.6	5.1 (4%)	2608 (10%)	23 (9%)	36 (11%)	1.3 (28%)	4.0 (27%)	9.3
Tandkulleg. - KoV	225	3300	6	5.1 (14%)	2740 (3%)	29 (19%)	44 (7%)	1.2 (18%)	5.8 (3%)	2.9
Jakobdalsg. - KoV	225	3236	6	5.9 (2%)	2635 (7%)	25 (13%)	38 (5%)	1.0 (7%)	6.9 (6%)	4.2
Kungsladugård- KoV	225	3827	6	5.9 (8%)	2747 (11%)	25 (18%)	40 (11%)	1.0 (10%)	7.6 (27%)	4.5
H-L Gata - KoV	225	-	-	3.4 (12%)	15519 (18%)	181 (34%)	230 (21%)	1.3 (44%)	1.7 (27%)	4.8
Gisselfjällsv. -KoV	225	3626	6	5.8 (7%)	1498 (10%)	15 (6%)	22 (9%)	1.1 (15%)	7.1 (10%)	2.3
Saltholmsg. - KoV	225	3766	7.5	7.6 (2%)	2779 (24%)	24 (20%)	39 (13%)	0.9 (12%)	6.5 (26%)	9.9
Skövde	225	3725	4	5.1 (3%)	2138 (11%)	20 (11%)	28 (5%)	1.0 (3%)	5.6 (9%)	2.2
Bergrådsgränd - SVOA	300	2290	9	8.8 (3%)	3158 (9%)	28 (7%)	51 (10%)	0.9 (4%)	6.4 (14%)	7.3
Båtsmans-kroken - SVOA	300	3300	7.5	8.0 (4%)	2278 (4%)	23 (7%)	35 (5%)	1.1 (9%)	9.2 (14%)	3.9
Sågverksgatan- SVOA	225	3238	6	7.3 (2%)	2191 (12%)	34 (6%)	39 (11%)	1.6 (12%)	2.2 (7%)	6.9
Öckerö 1	225	2710	5.8	5.9 (2%)	4874 (12%)	32 (10%)	50 (10%)	0.7 (15%)	3.8 (30%)	8.1
Öckerö 2	225	2107	6	6.8 (3%)	3716 (9%)	26 (12%)	39 (7%)	0.7 (6%)	5.4 (17%)	9.3
Öckerö 3	225	7000	4.5	4.3 (7%)	10800 (16%)	139 (18%)	143 (15%)	1.3 (12%)	1.4 (9%)	6.7
Öckerö 4	225	10000	3.1	5.4 (13%)	8160 (21%)	83 (31%)	88 (24%)	1.0 (13%)	1.1 (7%)	10.0
Öckerö 5	220	2834	6	5.6 (8%)	3972 (11%)	30 (16%)	46 (4%)	0.8 (5%)	4.7 (26%)	5.9
Öckerö 6	200	7000	4.5	4.2 (1%)	12482 (7%)	115 (23%)	123 (15%)	0.9 (16%)	1.1 (4%)	10.1
Öckerö 7	225	10000	3.1	4.6 (2%)	9145 (8%)	127 (6%)	127 (6%)	1.3 (5%)	1.3 (5%)	7.0
Öckerö 8	200	10000	3.1	3.5 (12%)	6492 (16%)	120 (13%)	123 (13%)	1.9 (13%)	2.0 (15%)	3.1
Öckerö 9	225	2507	6	6.5 (4%)	3069 (23%)	29 (9%)	45 (8%)	1.0 (27%)	4.7 (8%)	6.6
Öckerö 10	225	10000	3.1	4.1 (14%)	10158 (13%)	162 (19%)	162 (19%)	1.5 (6%)	1.5 (6%)	5.2
Halmstad	225	12000	4	4.5 (8%)	13260 (17%)	222 (20%)	222 (20%)	1.6 (9%)	1.6 (9%)	9.6
Bramstorp	225	7000	4	4.9 (7%)	7311 (8%)	129 (17%)	129 (17%)	1.8 (12%)	1.8 (12%)	6.8
Lammhult	225	16800	3	4.6 (2%)	12978 (19%)	325 (11%)	325 (11%)	2.4 (15%)	2.4 (15%)	9.6
Jasminvägen	150	7000	4	5.8 (17%)	7233 (10%)	81 (44%)	81 (44%)	1.2 (31%)	1.2 (31%)	38.6

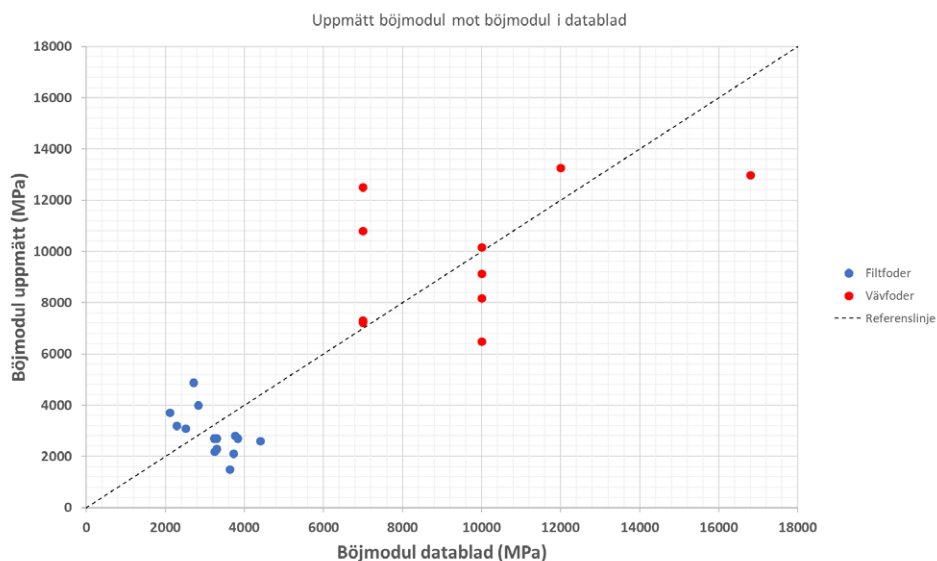
* Avser medelvärde och standardavvikelse mellan medelvärden för minst 4 provstavar uppmätt enligt Figur 6.4. Tjockleksvariationen inom varje provstav kan därför vara högre än angiven siffra för medelvärdet i denna tabell.

** Skenbar ringstyvhet uträknad enligt Ekvation 6. OBS, dessa värden kan inte antas vara direkt jämförbara med ringstyvhet från provning enligt ISO 7685. Se Tabell 6.5.

Tabell 6.2

Sammanställning av 3-punkts-böjprovning enligt Annex B i EN ISO 11296-4 samt uträknad skenbar ringstyvhet (resultaten är inklusive eventuell inre liner). Standardavvikelse inom parentes.

När det gäller proverna från Öckerö (#4, 7, 8 och 10) så beställdes foder med SN1.25. Den beräknade skenbara ringstyvheten för dessa var 10.0, 7.0, 3.1 respektive 5.2 kN/m², d.v.s. till synes överdimensionerade.



Figur 6.11

Uppmätta böjmoduler plottade mot moduler erhållna från datablad. De uppmätta modulerna i detta diagram inkluderar eventuella liners, huruvida liners är inkluderade i databladen framgår ej i dessa.

Den uppmätta böjmodulen var i 13 fall lägre än angivet från databladen och i 11 fall högre än angivet, se Figur 6.11. Armerade foder har högre modul än angivet i 6 fall och lägre modul i 4 fall jämfört med datablad. Här är det viktigt att poängtera att förutom själva urvalsprocessen, d.v.s. att välja så defektfria, jämna och fina provstavar som möjligt och där eventuellt överskottsharts inte finns i lika stor utsträckning (enligt rekommendationerna i EN ISO 11296-4) är det möjligt att resultaten för de armerade fodren inte är exakt representativa för fodret som helhet. För oarmerade foder hade 5 högre och 9 lägre värden jämfört med datablad. Dessa har dock en mjuk inre liner vilket gör att modulen (för hela systemet) dras ner. För att undersöka inverkan av linern på modulen och ringstyvheten gjordes därför nya beräkningar där tjockleken reducerades med motsvarande linertjocklek, se Tabell 6.3. Linertjockleken uppmättes med hjälp av optiskt mikroskop. Böjmodulen ökade då med mellan 1642 %. Som också kan ses i Tabell 6.3 har detta minimal inverkan på ringstyvheten då ökningen i modul kompenserar för minskningen av totala godstjockleken.

	Total tjocklek (mm)	Linertjocklek, e1 (mm)	E _f (MPa) Med liner	E _f (MPa) Utan liner	E _f Ökning (%)	Omräknad skenbar ringstyvhets (kN/m ²)	Ändring av skenbar ringstyvhets (%)
NSVA	5.1	0.4	2608	3391	30	9.38	0.78
Tandkullegatan- KoV	5.1	0.4	2740	3572	30	2.95	1.63
Jakobdalsgatan- KoV	5.9	0.5	2635	3514	33	4.23	1.31
Kungsladugård- KoV	5.9	0.5	2747	3662	33	4.54	1.51
Gisselfjällsvägen- KoV	5.8	0.5	1498	1978	32	2.30	0.02
Saltholmsgatan- KoV	7.6	0.6	2779	3618	30	9.94	0.85
Skövde	5.1	0.5	2138	2966	39	2.17	0.78
Bergrådsgränd- SVOA	8.8	0.4	3158	3653	16	7.30	0.21
Båtsmans-kroken - SVOA	8.0	0.6	2278	2910	28	3.89	0.42
Sågverksgatan- SVOA	7.3	0.4	2191	2621	20	6.89	0.44
Öckerö 1	5.9	0.4	4874	6124	26	8.16	1.34
Öckerö 2	6.8	0.4	3716	4483	21	9.24	-0.06
Öckerö 5	5.6	0.6	3972	5657	42	5.93	0.53
Öckerö 9	6.5	0.6	3069	4204	37	6.70	1.41

Slutligen så gjordes även ett åldringsprov för ett armerat och ett oarmerat foder. De exponerades för 2M svavelsyra i 150 dagar vid 40 °C. Åtta prover åldrades (4+4) och testades sedan i 3-punkts böj enligt samma metodik som tidigare. Åldringen hade minimal effekt på de mekaniska egenskaperna vilket visas i Tabell 6.4.

Tabell 6.3

Omräknad modul och skenbar ringstyvhets exklusive inre liner.

ID	Diam (mm)	Datablad Eb (MPa)	Design-tjocklek (mm)	Tjocklek (mm)*	Ef (MPa)	σfb (MPa)	σfM (MPa)	εfb (%)	εfM (%)	Omräknad skenbar ringstyvhets (kN/m ²)**
Sågverksgatan	225	3238	6	6.8 (3%)	2544 (2%)	39 (8%)	34 (16%)	1.3 (16%)	1.8 (11%)	6.4
Halmstad	225	12000	4	4.4 (2%)	13490 (3%)	242 (15%)	242 (15%)	1.7 (10%)	1.7 (10%)	9.2

6.3.2 Ringstyvhets

Uppmätningar av ringstyvhets enligt ISO 7685 utfördes på de provbitar som levererades som hel ring. Resultaten återfinns i Tabell 6.5 nedan. Generellt sett så är den uppmätta ringstyvhets något lägre än den skenbara beräknad från böjmodulsprovningen. En anledning till detta är att böjmodulsmetoden föreskriver att provbitar skall tas ut där fodrets godstjocklek är jämn. Detta innebär sannolikt att man tar ut bitar där fodrets egenskaper är bättre än genomsnittet. Vid omräkning till skenbar ringstyvhets beaktas inte heller de godstjockleksvariationer som finns i alla foder.

Tabell 6.4

Sammanställning av 3-punkts-böjprovning samt uträknad skenbar ringstyvhets för provstavar åldrade i 2M svavelsyra i 150 dagar vid 40 °C. Standardavvikelse inom parentes.

ID	Nominell diameter (mm)	Skenbar ringstyvhet beräknad från böjprovning (kN/m ²)	Uppmätt ringstyvhet (kN/m ²)	Skenbar böjmodul beräknad från ringstyvhet och medelgodstjocklek inklusive liners (MPa)
NSVA	150	9.3	7.1	2292
Skövde	225	2.2	1.9	1804
Bergrådsgränd	300	7.3	6.5	2934
Båtsmanskroken	300	3.9	3.6	2259
Sågverksgatan	225	6.9	5.1	1914
Halmstad	225	9.6	10.7	9512
Bramstorp	225	6.8	7.39	5763
Lammhult	225	9.6	7.81	6445
Jasminvägen	150	38.6	23.9	4257

6.3.3 Jämförande prov av driftsatt material (skjuvprov)

Skjuvprovning i form av 3-punktsböjning av korta provstavar enligt ASTM D2344 utfördes som jämförande mekaniskt prov för Öckerö #4, 7, 8 och 10 samt deras referensmaterial. Tre provstavar av varje (24 totalt) testades som indikator på eventuella förändringar i materialet som har varit i drift. Eftersom skjuvhållfastheten är en matrisdominerad egenskap bör testerna ge en fingervisning om hur hartset och fiber/matris gränssytor har förändrats under drift. Det säger dock ingenting om hur draghållfastheten i fiberriktningen har påverkats. Resultaten ses i Tabell 6.6.

Det är uppenbart att någonting i materialen har förändrats under åren i drift. Minskningen i skjuvhållfastheten är mellan 16-45 %. Det är möjligt att fuktinträngning i materialet minskar hållfastheten eftersom vatten fungerar som mjukgörare, och det är också möjligt att referensproverna genom fysikalisk åldring i en stabil rumstemperatur kan ha ökat sin styrka något, men det kan inte förklara hela skillnaden. Det kan även vara så att gränssytor mellan fibrer och matris kan ha påverkats vilket skulle ge en minskning av skjuvhållfastheten. Fortsatt analys av dessa prover kommer längre fram i rapporten.

Tabell 6.5

Sammanställning av resultat från ringstyvhetsprovningar jämfört med skenbar ringstyvhet från böjmodulsprovningar.

	Max last (N)	F_{sbs} (MPa)	F_{sbs} , förändring mot Ref (%)
Öckerö #4 Ref	684	16.9	
Öckerö #4	845	14.1	-16.4
Öckerö #7 Ref	1350	19.0	
Öckerö #7	655	10.4	-45.3
Öckerö #8 Ref	566	13.6	
Öckerö #8	472	10.6	-22.0
Öckerö #10 Ref	1834	23.5	
Öckerö #10	837	16.3	-30.6

Tabell 6.6

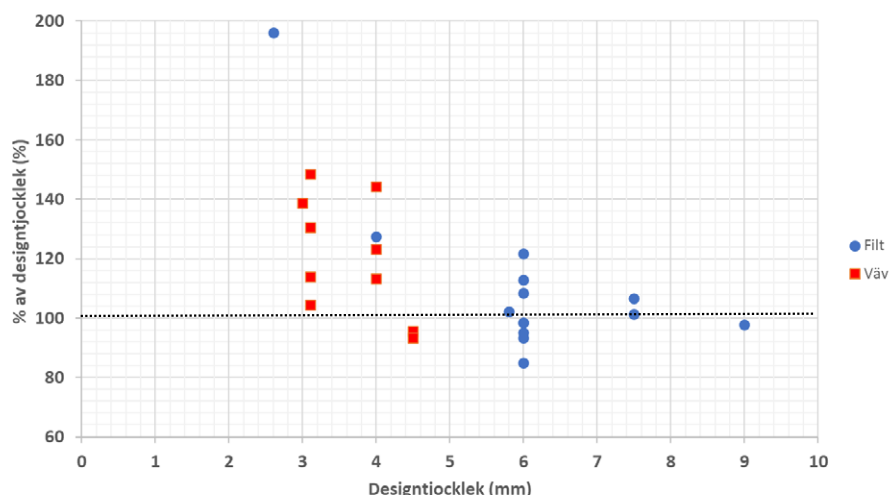
Sammanställning av skjuvprovning enligt ASTM D2344.

6.3.4 Godstjocklek

I Figur 6.12 har den uppmätta medelgodstjockleken, uttryckt som procent av designtjockleken, plottats mot designtjockleken. Den svarta streckade linjen är 100 %, d.v.s. den förväntade tjockleken på fodret. Tjockleken mättes på 6 punkter på de provstycken som användes i samband med trepunktsböj (enligt EN ISO 11296-4, alltså inte runt hela omkretsen) och mättes i fallen med glasfiber bara över tjockleken som innehöll glasfiber. För filtfoder är även tjockleken hos innerfilmen inkluderade i tjockleken.

Vad som är tydligt från Figur 6.12, förutom att vävfoder (röda) generellt är tunnare än filtoder (blåa), är att många foder avviker från den specificerade tjockleken, både uppåt och nedåt. Fyra foder var 5 % eller mer under designvärdet, men bara en var mer än 10% under designtjockleken. Den tunnare godstjockleken är ingen effekt av driften, utan är i detta fall enbart en effekt av tillverkning och installation. Enligt EN ISO 11296-4 ska den uppmätta medelgodstjockleken inte vara under designtjockleken, så av de 25 undersökta fodren skulle 4 stycken med marginal underkänts enligt det kriteriet. Ytterligare fyra foder hade en godstjocklek som 95-99% av godstjockleken. Dock med en reservation för att de uppmätta tjocklekarna inte är medelgodstjockleken för hela fodret utan endast för provbitarna uttagna för böjmodulsprovning. Dessa provbitar uttages där godstjockleken är som jämnast och ligger vanligtvis nära den sanna medelgodstjockleken.

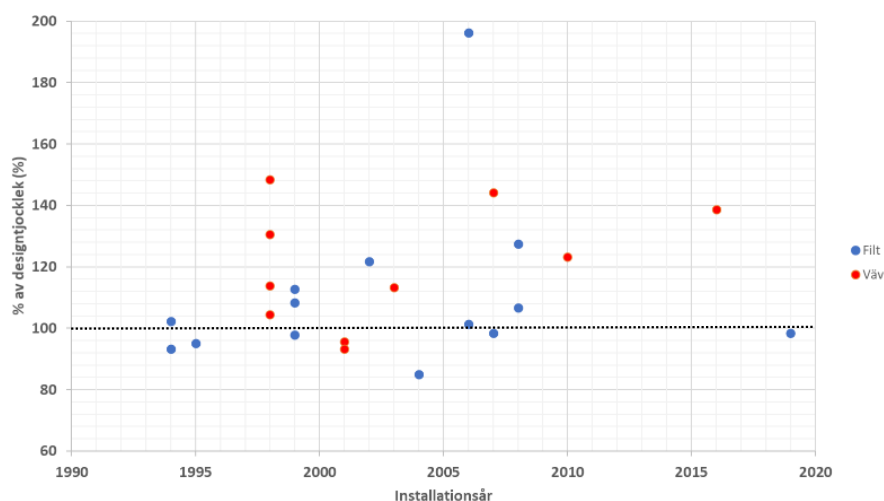
När det gäller den övre tjockleken så finns det inga begränsningar i EN ISO 11296-4 hur mycket fodret får avvika från designvärdet, det finns så att säga inga toleranskrav på övre tjocklek. Detta är inte helt ovanligt inom plaströrsbranschen då den övre gränsen uppfattas som självreglerande då producenter inte vill använda mer material än nödvändigt. Av de undersökta fodren var 11 stycken över 110% av designtjockleken, tre stycken var mer än 140% designvärdet och en var närmare 200%. Eftersom det inte ställs krav på en övre tjocklek i det installerade fodret finns det utrymme för producenter och entreprenörer att ta i överkant gällande tjockleken med effekten att den slutgiltiga innerdiametern blir mindre. Ett tjockare gods har stort utslag på ringstyvheten och flertalet foder får därför en högre ringstyvheten än vad som de designats för.



Figur 6.12

I Figuren ses avvikelsen från designtjockleken som specificerats i installationsprotokollen. 100% innebär att tjockleken är exakt samma som den designats för.

I Figur 6.13 ses tjockleken i förhållande till installationsår för de foder som analyserats. Som synes finns ingen trend att tjockleken efter installationen avvikit varken mer eller mindre från designvärdet över de tiden.



Figur 6.13
Procent av designtjockleken
plottad mot installationsår.

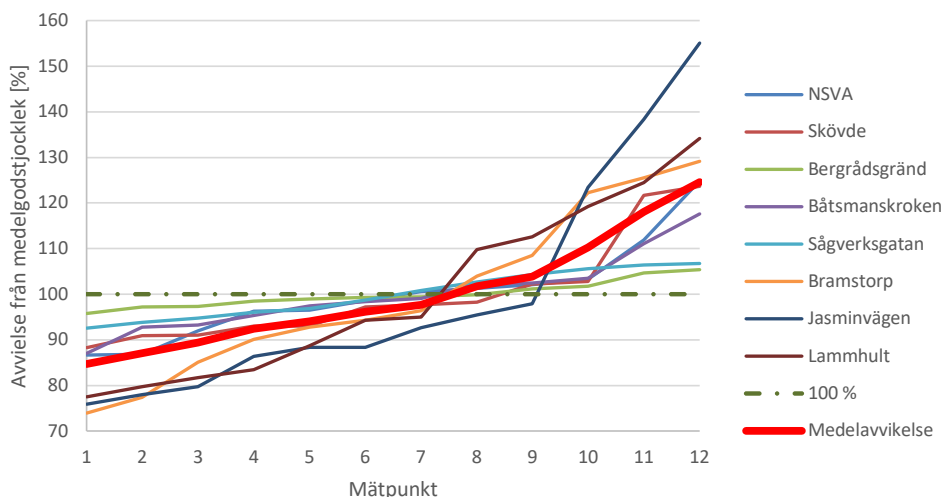
Vid provningarna av ringstyvhet (som endast utfördes på de foder som levererades som hel ring) uppmättes godstjockleken enligt ISO 7685. Det vill säga på 12 punkter belägna på 6 ekvidistanta linjer runt omkretsen och i vardera änden av provbiten. Mätningarna utfördes med en kalibrerad mätklocka med noggrannhet på hundradels millimetrar.

Resultaten från dessa mätningar återfinns i följande Tabell 6.7 där max och min godstjocklek har markerats med rött respektive blått.

	NSVA	Skövde	Bergråds- gränd	Båtsmans- kroken	Sågverks- gatan	Bramstorp	Jasmin- vägen	Lammhult
Medelgodstjocklek	4,87	5,03	8,74	7,78	6,98	5,56	5,72	5,24
Kl. 2 A	5,03	4,57	9,15	8,05	7,17	5,78	4,94	4,65
Kl. 2 B	4,90	4,91	8,68	7,42	7,37	6,03	4,46	4,94
Kl. 4 A	5,45	5,14	8,73	7,97	6,89	7,18	5,05	4,18
Kl. 4 B	4,70	5,17	8,89	7,71	6,55	6,98	4,56	4,06
Kl. 6 A	4,93	6,12	8,65	7,65	6,70	5,16	5,05	4,28
Kl. 6 B	6,08	6,22	8,37	6,77	6,61	4,73	5,6	4,37
Kl. 8 A	4,97	4,44	8,61	7,25	7,04	4,11	8,87	7,03
Kl. 8 B	4,80	4,58	8,51	7,22	7,28	4,30	7,91	6,52
Kl. 10 A	4,48	4,94	8,50	7,96	6,46	5,01	7,06	6,25
Kl. 10 B	4,23	4,89	8,69	7,58	6,76	5,24	5,46	5,90
Kl. 12 A	4,69	4,68	9,21	9,15	7,43	5,36	5,3	4,98
Kl. 12 B	4,22	4,68	8,84	8,64	7,45	6,80	4,34	5,75

Som synes i tabellen varierar godstjocklekarna relativt mycket, både i omkretsriktning och längdled. Den procentuella avvikelser från medelgodstjock presenteras i Figur 6.14, där godstjocklekarna har sorterats i storleksordning för respektive objekt. Medelavvikelsen för de uppmätta provbitarna är mellan 85-125 %. Anledningen till att det inte är ett symmetriskt intervall kan vara att harts flutit ut på fodrets utsida.

Tabell 6.7
Uppmätta godstjocklekar
på provbitar för ringstyvhet,
medelgodstjocklek samt de
individuella värdena upp-
mätta i ände A respektive B
av objektet. Samtliga mått
är angivna i millimeter.

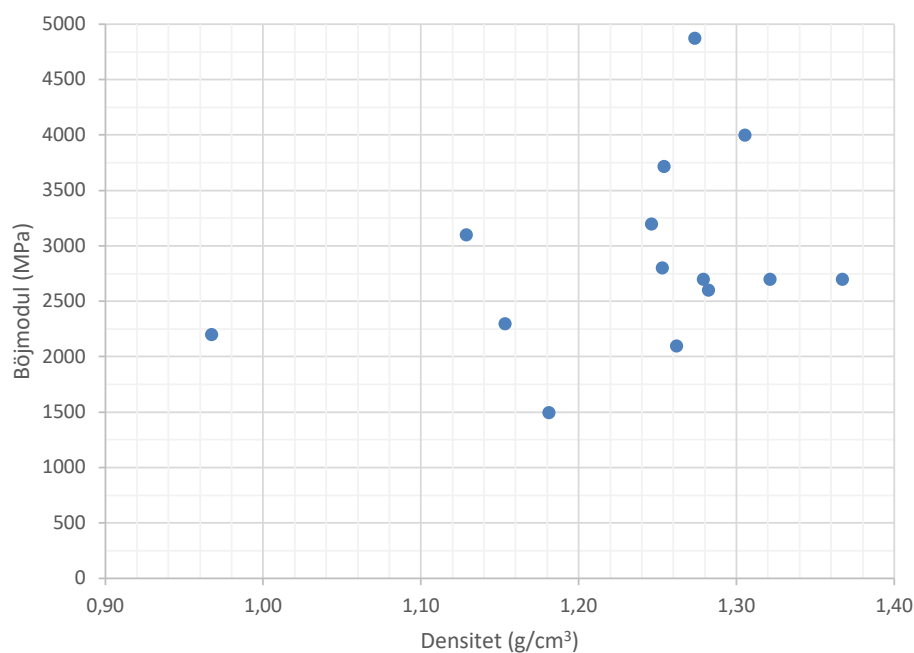


Figur 6.14

Avvikelse från medelgodstjocklek för mätpunkter uppmätta på ekvidistanta avstånd runt omkretsen i bågge ändrar på provbit ämnad för ringstyvhetsmätning.

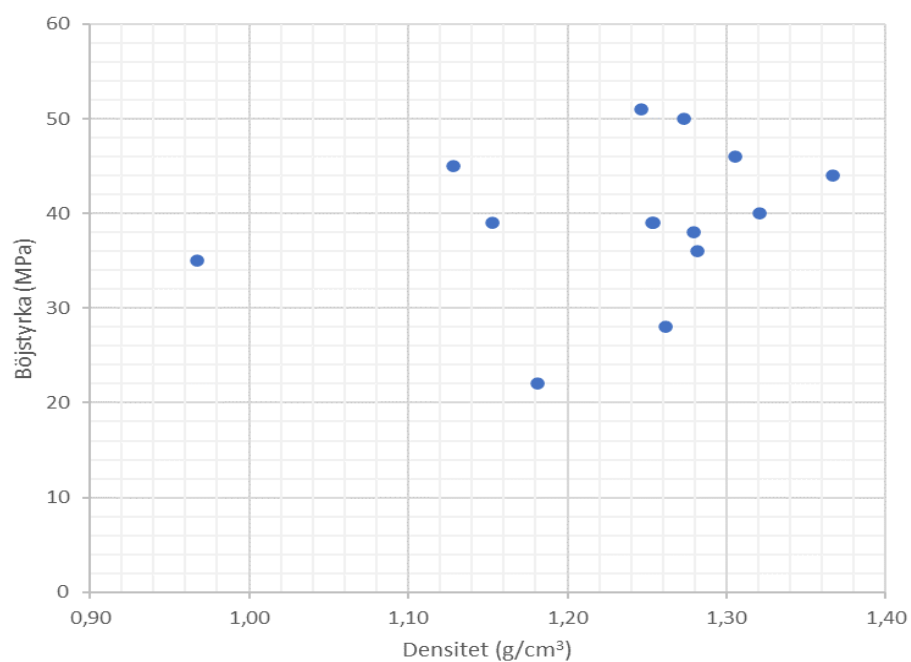
6.3.5 Densitet

Densitet kan utgöra en relevant egenskap hos hårdplaster då nedbrytning av plasten genom hydrolys kan leda till bildande av porer och därmed en lägre densitet. En kraftigt hydrolyserad hårdplast får sämre mekaniska egenskaper och således skulle det kunna vara möjligt att koppla densitetsavvikelser mot en lägre böjmodul. För glasfiberförstärkta foder avgörs densiteten framför allt av hur stor andel glasfiber de innehåller, vilket varierar mellan olika produkter. Därför är koppling mot densitet mest relevant för foder utan glasfiber, det vill säga filtfoder. I filtfoder finns fyllmedel som höjer den totala densiteten. I Figur 6.15 ses böjmodulen plottad mot densiteten. Den punkten som avviker med en betydligt lägre densitet innehöll inget fyllmedel, vilket var förvånande i sig eftersom fyllmedel bidrar till att höja viskositeten innan härdning samt att höja den mekanisk styrkan efter uthärdning. De övriga filtfodren innehöll mellan 16-27 % fyllmedel. Enligt Allouche et al. (Allouche, et al., 2012) är aluminium trihydroxid det vanligast fyllmedlet i filtfoder. I tidigare studie har man sett ett svagt samband mellan densitet hos filtfoder och böjmodulen. (Alam, et al., 2018) En viss trend finns även i detta fall men den är svag och baserad på för litet underlag för att kunna ge ett skarpt uttalande om densiteten kan vara ett alternativt sätt att få indikationer om fodrets mekaniska prestanda. Även böjstyrkan, vilket är en viktig egenskap för fodret, uppvisar samma mönster som böjmodulen (Figur 6.16). Densiteten är inte kompenserad för fyllmedelsgrad eller inneslutna porer samt liner.



Figur 6.15

Böjmodulen i filtleder plottad mot densiteten på foderväggen.



Figur 6.16

Böjstyrka i filtleder plottad mot densiteten på foderväggen.

6.3.6 Reststyren och DSC (Uthärdning)

13 prover analyserades för reststyren enligt ISO 4901:2011 genom att provmaterialen extraherades med diklormetan och extraktet analyserades med GC-MS. De flexibla foder som analyserades för reststyren var de som uppvisade störst efterhärdning vid termisk analys med DSC. En termisk efterhärdning (entalpiförändring med exoterm topp) med DSC indikerar på att det finns oreagerad harts i laminatet där styren utgör en reaktant. I Tabell 6.8 syns erhållna restsstyrenvärden, entalpiförändringar, härdningsmetoder samt ålder på de analyserade fodren.

Prov	Reststyren (vikt%)	Entalpi enligt DSC (J/g)	Antal år i drift	Härdmetod
Växjö – Jasminvägen	0.13	15	12	UV
KoV - HL-gata	1.3	20	9 ^a	UV
KoV – Gisselfjällssvägen	0.38	30	12	Termiskt
KoV – Saltholmsgatan	0.58	20	0	Termiskt
Halmstad	0.22	8	16	Termiskt
Öckerö #2	0.27	20	20	Termiskt
Öckerö #5	0.41	10	25	Termiskt
Öckerö #7	1	15	21	UV
Öckerö #7 Ref	0.45	15		UV
Öckerö #8	0.71	15	21	UV
Öckerö #8 Ref	0.11	0		UV
Öckerö #10	0.47	21	21	UV
Öckerö #10 Ref	0.46	7		UV

^a – troligen 9 år, men installationsdata saknades för detta prov

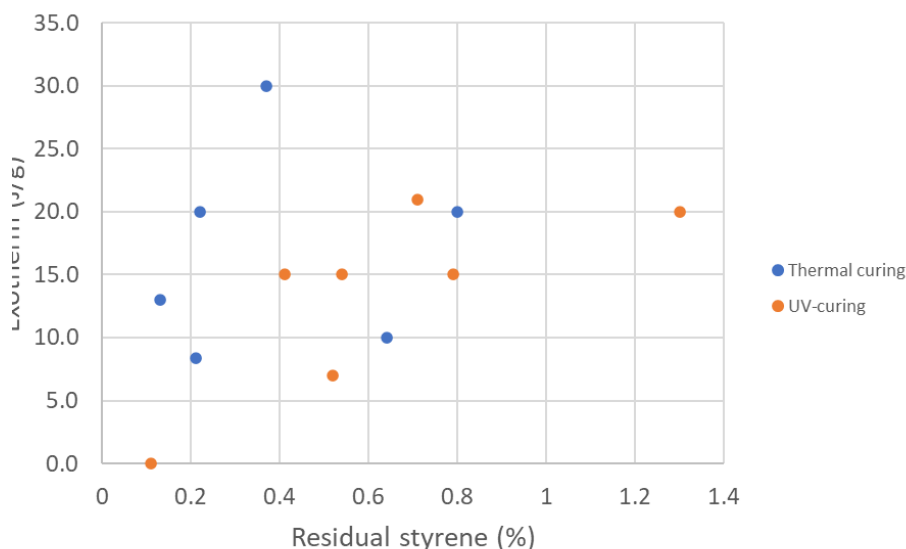
Alla foder hamnar under 2 viktprocent (vikt%) reststyren, vilket är den nivå som ofta sätts av hartstillverkare och fodertillverkare. (AOC Aliancys, 2020-06-05) Vissa tillverkare sätter dock 4 vikt% som högsta tillåtna reststyrenhalt. Det råder osäkerhet inom branschen hur hög reststyrenhalt som är acceptabel ur ett hållfasthetsperspektiv och studier pågår för att hitta vad som utgör en kritisk nivå på reststyrenhalten för de mekaniska egenskaperna.

Av de 13 prover som analyserats för reststyren ligger de som är UV-härdade något högre än de termiskt härdade. Korrelation mellan efterhärtningsenergi från DSC och reststyrenhalt (Figur 6.17) är dock spretig. När det gäller ålder är det tydligt att även efter 20 år i drift så innehåller fodret reststyren, vilket kan ses för ett foder som hade 1 viktprocent reststyren efter 21 år i drift.

För de foder som hade referensprov (Öckerö #7, #8 och #10 i detta fall) så har referensproven i alla fallen likvärdigt eller lägre reststyrenvärden. Det skulle kunna tolkas som att kvarvarande styren i laminatet lakas ur effektivare i ett varmförråd (referenser förvarades i rumstemperatur) än av avloppsvatten i backen. En osäkerhet i tolkningen utgörs av att det inte går att veta att den ursprungliga uthärtningen, och således reststyrenhalt, var exakta samma i referenserna och provbitar som plockades ut från foder i marken.

Tabell 6.8

Reststyren, entalpi förändring, år i drift och härdningsmetod för 13 stycken flexibla foder.



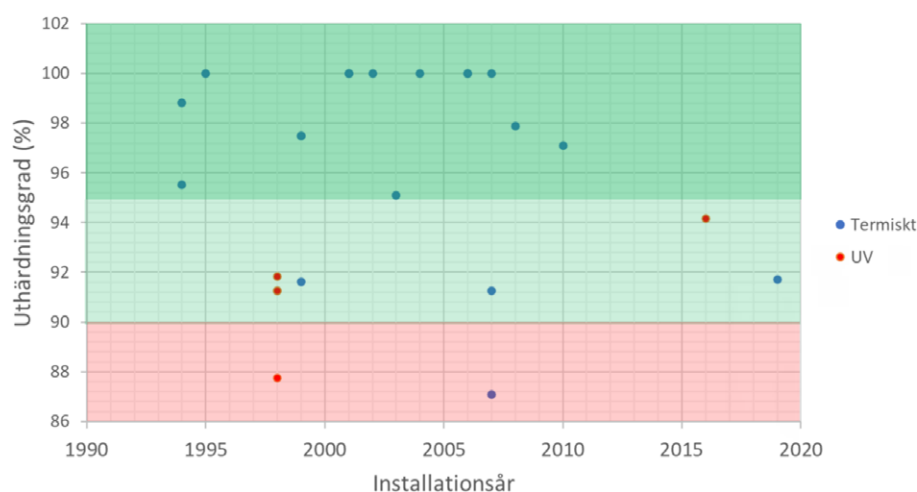
Figur 6.17

Reststyren i viktprocent plottad mot den entalpiförändring (exoterm) som uppmäts i DSC.

Eftersom projektet inte hade tillgång till den ursprungliga reststyrenhalten vid installation går det inte att uttala sig om hur mycket som har lakats ut. Men att vissa foder har mellan en halv och en vikt% även efter 20 år tyder på att det går långsamt i det relativt svala klimat som råder i en markförlagd avloppsledning. Bedömningen här är att det behövs mer omfattande studier på hur styren migrerar ut från flexibla foder och i vilka eventuella kvantiteter.

Även andra organiska substanser hittades i samband med analysen av reststyren med GC-MS, framför allt olika typer av fenyler. Dessa härstammar från de aromatiska karboxylsyror (ex. isoftalsyra och ftalsyra) som bygger upp polyestern. Även andra komponenter i polyesterkedjan, såsom neopentylglycol (NPG) kunde identifieras. Alla komponenter, förutom i enstaka fall ftalsyra, fanns i koncentrationer lägre än 0.1 vikt%.

I Figur 6.18 ses uthärdningsgraden som uppmätt med DSC för alla upptagna foder. Mätningar är gjorda på material i botten av röret ut mot ytterkanten av foderväggen. Uthärdningsgraden är kompenserad för glashalt och fyllmedel, där vissa prov kompenserades med mätning av det inorganiska innehållet genom avbränning och vissa genom information om innehållet från datablad. Som referensvärde för 100 % uthärdning gjordes mätningar i labbet på en isoftalsyrabaserad harts vilket gav 306 J/g.



Figur 6.18

Uthärdningsgrad för termisk respektive UV-härdade foder. Över 95% är en mycket bra uthärdning, över 90% godkänt och under 90% är mindre bra. Mätningar är gjorda på material i botten av röret ut mot ytterkanten av foderväggen.

I Figuren kan ses att större delen av alla foder är uthärdade till över 90%. Ingen strikt definition finns på hur uthärdat ett foder bör vara, men inom kompositindustrin brukar ett riktvärde på 90% ansättas som ett acceptabelt värde. I de industriella sammanhangen räknar man dock på en efterhärdning i drift på grund av att processer ofta körs vid höga temperaturer. Det kan man inte räkna på flexibla foder eftersom de ligger i en sval miljö. Den härdning som erhålls vid installation kan således anses som den slutgiltiga.

Baserad på ovanstående kriterier är det bara två foder som hamnar under 90% uthärdning, en UV-ljus härdad och ett termiskt härdat foder. Ingen säker korrelation mellan uthärdningsgrad uppmätt med DSC och reststyrenhalt enligt ISO 4901:2011 kunde observeras.

6.3.7 Visuell bedömning

Den visuella bedömningen av innerytan hos fodren var att de var i bra skick trots många år i drift. Alla vävfoder (glasfiberförstärkta) i projektet var designade utan permanent film på insidan. Där har istället en tillfällig film använts fram till härdningen är genomförd, och därefter har filmen avlägsnats. För vävfodren består ytan av en glas- eller polyesterväv med något lägre glashalt och ett högre hartsinnehåll, det för att ge ett skikt med ökat korrosionsskydd av fodret mot kemikalier. Det betyder att innerytan utgörs av en härdplastyta (Figur 6.19 och Figur 6.20).



Figur 6.19

Vävfoder installerat 2007, ånghärdat med designtjocklek 4 mm. (Jasminvägen)



Figur 6.20

Vävfoder installerat 1998, UV-härdat, designtjocklek 3,1 mm. (Öckerö #8)

För filtleder används istället en permanent film på insidan som tillverkas i exempelvis polyuretan (PU), polypropen (PP) eller polyeten (PE). I dessa leder är den inre filmen permanent ihopsatt med polyesterfilten. Genom åren har olika plasttyper använts som inre film.

I Figur 6.21 och Figur 6.22 ses ett filtleder installerat 1995 innan och efter försiktig tvättning med en högtrycksspruta. I det här fallet är filmen tillverkad av polyuretan som oxiderats och brutits ned under tiden i drift. Nedbrytningen kan ha accelererats av en sur miljö. I samband med tvättning lossnar den krackelerade filmen och den underliggande polyesterfilten exponeras. Den första barriären är fullständigt borta. Detta skedde för ledaren som installerats 1994 och 1995. Även utan högtryckstvätten möjliggör krackeleringen att den underliggande polyesterhartsen exponeras för avloppsvatten.



Figur 6.21

Filtleder installerad 1995 med en nedbruten och missfärgad inre film av polyuretan. I vattengången är den bättre bevarad. Innan tvättning med högtryckstvätt.

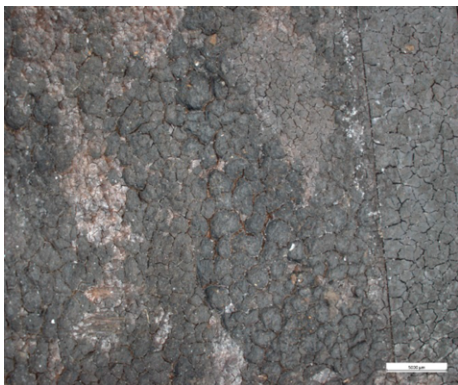


Figur 6.22

Samma leder som i figuren bredvid men efter högtryckstvätt.

I Figur 6.23 och Figur 6.24 ses det krackelerade filtledret från två olika installationer 1995 i ljusoptiskt mikroskop. Polyuretan som innerfilm identifierades på leder som installerats mellan 1994-99 och det var enbart på dessa leder som en påtaglig krackelering observerades. Den typ av polyuretan som användes vid den tidpunkten utgör således inte ett tillräckligt beständigt material för ändamålet. Det är inte osannolikt att polyuretanfilmen skulle spolas bort i samband med sköljning eller mekanisk rensning av avloppet. Projektet har inte undersökt hur den krackelerade ytan påverkar den hydrauliska förmågan hos ledret.

De filtleder som haft PE eller PP som innerfilm har varit fortsatt intakta med få visuella spår av förändringar.



Figur 6.23

Filtfoder (Öckerö #1) med krackelerad polyuretanfilm som observerad i ljusoptiskt mikroskop. Det vita skalstrecket är 5 mm.



Figur 6.24

Filtfoder (Öckerö #5) efter tvättning med högtryckstvätt där den underliggande polyesterfilten blottläggs.

I Figur 6.25 och Figur 6.26 ses foton på innerytan av två vävfoder som varit drift 13 respektive 21 år. Ytan var fortsatt glatt och såg visuellt ut att vara helt opåverkad efter åren i drift. Färgförändringar kan ses i gränsen mellan avloppsvattnet och luften, men det är något som ses för alla foder, oavsett typ och ålder. På de proverna som inkom upptäcktes bara mindre repor på ytan av insidan. En vitning av underliggande glasfiber på grund av diffusion av vatten in i laminaten kan ses.



Figur 6.25

Foder med glasfiber installerat 2006 (Halmstad) med en välbevarad insida. Vattengången är mellan de två bruna fälten.



Figur 6.26

Insidan av glasfiberfoder (Öckerö #10) som installerats 1998 uppvisar endast små repor och förändringar i ytan (de som är i flödesriktningen).

6.3.8 Installationsdefekter

Installationsdefekter har tidigare framställts som den största risken för en förkortad livslängd hos installerade flexibla foder, (Allouche, et al., 2012). Det är således viktigt att aktivt försöka jobba bort installationsdefekter. I projektet har installationsdefekter av olika typ observerats i ett större antal foder. De installationsdefekter som observerats är: delamineringar, porer, för tunn godstjocklek samt veck.

Av 25 analyserade foder innehöll 10 stycken installationsdefekter; 4 stycken med stora porer eller delamineringar, 2 stycken med invändiga veck och 4 stycken som var mer än 5% tunnare än designtjockleken.

I Figur 6.27 och Figur 6.28 ses ett glasfiberarmerat foder som installerades 2016 som delaminerat (d.v.s. har en släppning mellan vävlager). Figurerna är tagna med ljusoptiskt mikroskop på ett polerat tvärsnitt. I det studerade tvärsnittet syns att fodret i princip har separerat mellan de inre och yttre delarna. Håligheterna i foderväggen breder ut sig axiellt. Håligheternas omfattning varierar mellan olika cirkelsektioner runt omkretsen på fodret. Det är mycket troligt att denna defekt beror på ett fabriktionsfel och inte ett installationsfel, d.v.s. inre väven har för liten diameter, har töjt ut sig för lite vid installation och därmed inte konsoliderat med den yttre väven. Indikationen på detta kan ses genom att innerytan är sträckt och slät samtidigt som ytterytan är vågig och porös. Sedan om det har uppkommit någon ytterligare tillväxt av delamineringen under drift går inte att uttala sig om från bilderna. En noggrann mikroskopistudie för att försöka lokalisera eventuell sprickspets skulle kunna ge svar. Fläkprovning är också ett alternativ för att se om delamineringen redan är öppen, men det har inte utförts i projektet.



Figur 6.27

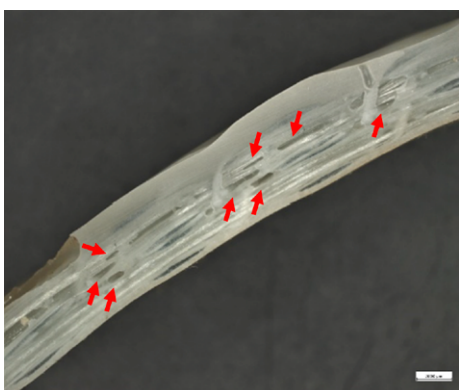
Foder som installerats 2016 med ett troligt fabriktionsfel där den inre väven inte har konsoliderat ordentligt mot den yttre väven



Figur 6.28

Samma foder med fabri-
kationsdefekten sett från
annan vy.

I Figur 6.29 och Figur 6.30 syns ett vävfoder som installerats 2006. Här syns ett stort antal porer i rörväggen nära innerytan, centralt och nära ytterväggen. Som synes i Figur 6.30 breder håligheten ut sig axiellt.



Figur 6.29

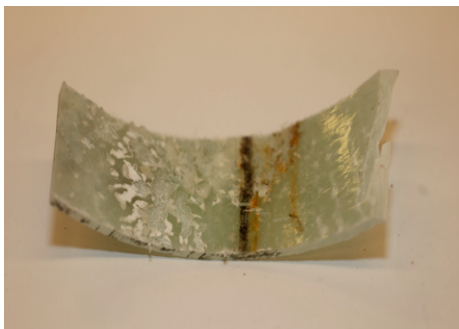
Glasfiberarmerat foder in-
stallerat 2006 med flertalet
porer i rörväggen, indikerade
med pilar. Det vita skal-
street är 2 mm.



Figur 6.30

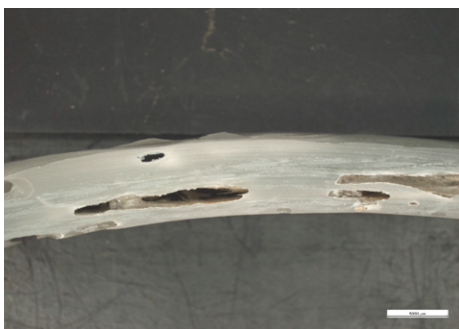
Glasfiberarmerat foder in-
stallerat 2006 med flertalet
porer i rörväggen, indikerade
med pilar. Det vita skal-
street är 2 mm.

I Figur 6.31 och Figur 6.32 ses ett vävfoder som uppvisar installationsdefekter i både ytfilmen och i tvärsnittet av foderväggen. Fodret installerades troligen 2010 men utgjorde den enda installationen där inte installationsprotokoll kunde fås tag i. Porerna i tvärsnittet är över 2 cm breda och breder ut sig axiellt i fodret. Medelgodstjockleken på fodret var 3.5 mm. Den typ av defekter som ses i ytväven i Figur 6.31 observerades endast i detta foder.



Figur 6.31

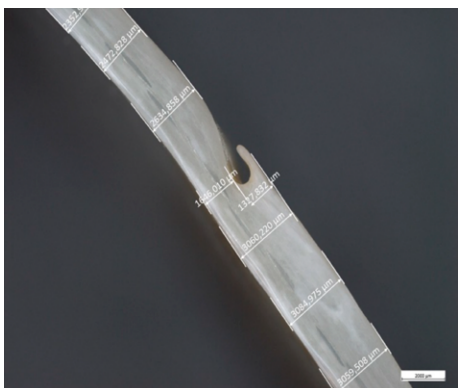
Vävfoder som uppvisar håligheter både i innerfilmen och i tvärsnittet av fodret.



Figur 6.32

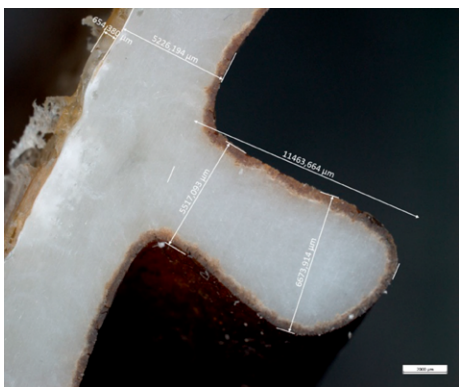
Vävfoder med 2 cm breda porer i tvärsnittet, här observerad med ljusoptiskt mikroskop.

I Figur 6.33 är vägg tjockleken vid defekten enbart 1.6 mm, vilket är drygt 50% av design tjockleken och betydligt tunnare än kravet på minsta tjocklek på 80 % enligt EN ISO 11296-4. I Figur 6.34 ses ett veck som sticker ut mer än 1 cm, vilket också är betydligt mer än kravet på 6 mm i EN ISO 11296-4. I Figuren ses även den oxiderade polyuretanfilmen som ett brunsvart krackelerat skikt.



Figur 6.33

Glasfiberfoder som endast är 1.6 mm tjockt på det tunnaste området, vilket är drygt 50% av design tjockleken.



Figur 6.34

Veck, uppmätt i ljusoptiskt mikroskop, som är mer än 1 cm. Även den nedbrutna polyuretanfilmen syns som ett cirka 0.4 mm tjockt brunsvart lager i figuren.

6.3.9 Diskussion installationsdefekter

Alla foder som skickades in till projekt vara funktionsdugliga, det vill säga inga foder togs upp för att de var identifierade som defekta eller problematiska. Det gäller även de foder som hade omfattande defekter. Porer i tvärsnittet kan idag enbart identifieras genom att en provbit tas ut från det installerade fodret och undersöks i laboratorium. Problemet är att det är svårt att bedöma vilken effekt de får på provets prestanda, i alla fall på längre sikt. Det finns i EN ISO 11296:4 ingen gräns på porhalten i materialet så det är svårt att sätta en gräns på vad som är en acceptabel nivå. Däremot kan porer leda till sämre värden på hållfastheten och på det sättet ge utslag i en kvalitetskontroll.

När det gäller provet i Figur 6.27 och Figur 6.28 har det en uppmätt ringstyvhet på 7.8 kN/m² (nästan SN8) och en böjmodul på närmare 13000 MPa. Det är en hög modul, men ca 20 % lägre än specificerat vid installation. Dock har fodret en böjmodul som är bland de högsta observerade i projektet och bör således, trots sina installationsdefekter, vara funktionsdugligt en lång tid framöver. Det är svårt att kvantifiera hur mycket en delaminering påverkar egenskaperna hos fodret över en lång tid (50 100 år) annat än att det inte är positivt för långtidsegenskaperna.

Anledningen till att delamineringar och stora porer har uppstått kan ha ett par olika förklaringar, det kan antingen ha skett i samband med produktionen av fodret i fabriken eller i samband med hantering av fodret vid installationen. I fabrik skulle det kunna ha skett genom att luft har kommit in i fodret i samband vid impregnering av glasarmeringen, alternativt som diskuterats tidigare att något av vävskikten har fel dimensioner vilket försvårar en bra konsolidering vid installation. I samband med installationen skulle det kunna bero på fysik hantering av fodret, att fibermattorna i fodret har förskjutits för mycket i förhållande till varandra på grund av ej matchande dimensioner mellan värdrör och foder, eller en härdning som genererat för höga temperaturer så att styren i hartset börjar koka.

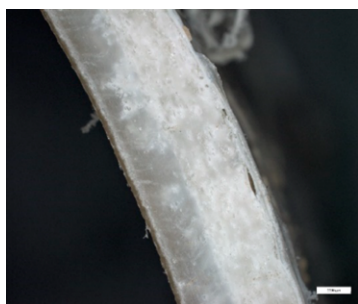
6.3.10 Prover med visuella materialförändringar i foderväggen

Merparten av de uppgrävda flexibla fodren uppvisade jämn färg utan stora och påtagliga förändringar i foderväggen. Vissa prover uppvisade dock färgförändringar i foderväggen. Dessa färgförändringar uppstår under tiden i drift men kan i vissa fall även vara en effekt av tillverkning och installation.



Figur 6.35

I Figuren syns tvärsnittet på ett foder (Öckerö #2) som installerades 1999 med en tydlig färgskillnad mellan inre och yttre halvan av fodrets tvärsnitt.



Figur 6.36

Fodret förstorat i optiskt mikroskop med en tydlig skillnad i färg mellan de olika delarna.

I Figur 6.35 och Figur 6.36 ses det 6 mm tjocka tvärsnittet på ett foder som installerades 1999. Fodret uppvisar en skarp förändring i färg rakt igenom provet. Linjen ligger mellan de två olika filtarna med 3 mm tjocklek som använts. Den vitare nyansen på fodret ytterdel kan tyda på en avsaknad av harts i det yttre lagret (kan även bero på olika bärarmaterial i de olika filtlagren). Det inre lagret däremot framstår som mer homogent och bättre bevarat. De termiska analyserna visade också att den yttre delen av fodret inte var lika uthärdad som den inre delen. Insidan uppvisade en låg exoterm (runt 8 J/g) medan den yttre halvan uppvisade en nästan tre gånger högre exoterm (23 J/g), vilket var bland de högst uppmätta i projektet. En lägre tvärbindningsgrad (uthärdning) i materialet ökar risken för långsiktig urlakning av lågmolekylära ämnen och nedbrytning.

Med FTIR kunde inga tydliga toppar för vare sig vattenupptag eller hydrolys observeras för det inre eller yttre skiktet (att vatten inte syns kan bero på att provet har torkat ut efter upptag). Däremot kunde det ses att vissa skillnader fanns i komposition mellan de olika skikten. Bland annat skilde sig förhållandet mellan topparna för fyllmedel och polyesterhartset, vilket även stämde överens med halten kvarvarande material efter avbränning med TGA (termogravimetrisk analys). I båda fallen var halten fyllmedel relativt sett högre för den yttre delen jämfört med den inre delen. Färgförändringarna verkar inte ha någon uppenbart negativ påverkan på böjmodulen för materialet. Tvärtom var den uppmätta böjmodulen med trepunktsböj istället 70 % högre än den ursprungligt specificerade modulen.

Det analyserade fodret är termiskt installerat och det är möjligt att en kraftig kylning från utsidan av röret kan ha fått fodrets utsida att inte härdas lika bra som den inre ytan. Framför allt är det en risk vid ånghärdning där värmeinnehållet är betydligt mindre än om det är flytande vatten som används. En annan hypotes som framförts för att förklara skillnaden i färg mellan de olika lagren är att det skulle kunna vara olika densitet på de filtfoder som används. Detta är dock inte bekräftat.

I ett av de äldre analyserade fodren (1995) kan en snarlik färgförändring ses i Figur 6.37 och Figur 6.38, med en mer homogen gråaktig struktur in mot processvattnet och vitare porösare del mot yttersidan. Även i detta fall ser det visuellt ut som fodret har börjat brytas ned, med en vitning av hartset och ett större antal porer. Dock är det inte en lika markerad skillnad mellan den inre och yttre halvan av godstjockleken utan en vitning kan även ses närmare insidan och mer ojämnt fördelad runt omkretsen. Vitning är mer påtaglig och genomgående i botten (Figur 6.38) av fodret och mer lokaliserad närmare ytterkanten i hjässan (Figur 6.37). Fodret är uppbyggt av två polyesterfilar. Trepunktsprovning av fodret gav en böjmodul som var 50% högre än den som specificerades när fodret installerades 1994. För de andra två filtfodren vars modul uppmätts som högre än angivet har inte samma omfattande vitning (Figur 6.39 och Figur 6.40) observerats.



Figur 6.37

Polerat tvärsnitt från hjässan av ett filtfoder installerat 1995. (Öckerö #5)



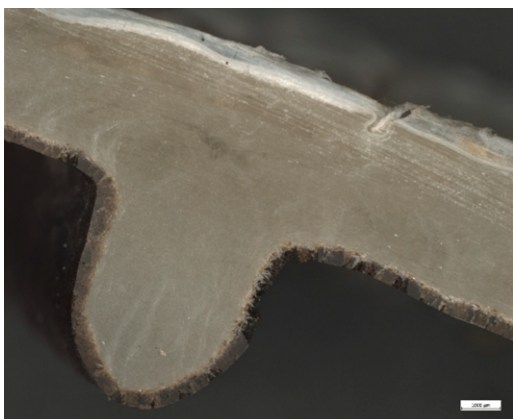
Figur 6.38

Polerat tvärsnitt från botten i samma foder som i Figur 37 med mer genomgående vitning av foderväggen.



Figur 6.39

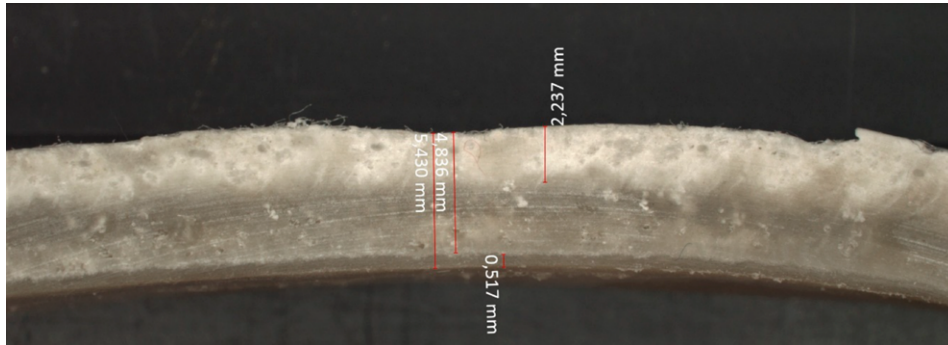
Foder som varit installerat sedan 1995 på Öckerö uppvisar endast mindre mängd små porer och vitning.



Figur 6.40

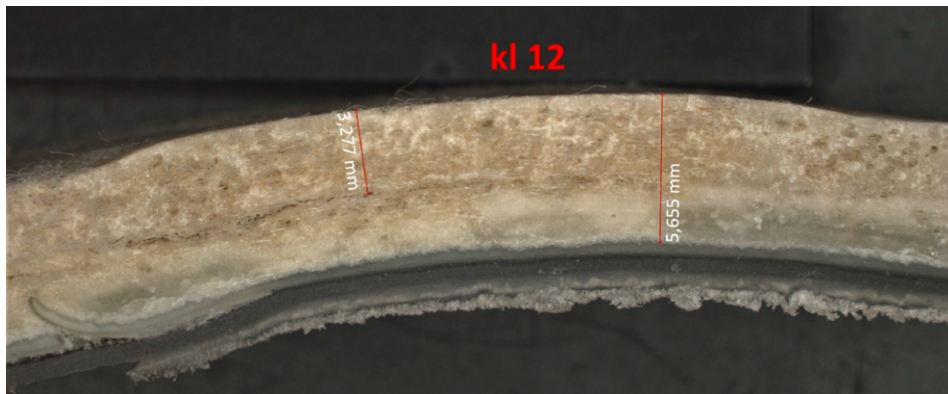
Foder som varit installerat på Tandkullevägen sedan 1995 uppvisar en krackelerad innerfilm samt en installationsdefekt i form av ett veck, men tvärsnittet är homogent utan vitning.

I Figur 6.41 till Figur 6.44 ses ett tvärsnitt av väggen på ett foder som varit i drift i 12 år. Fodret uppvisar tydliga tecken på materialförändring i foderväggen. I botten av fodret (Figur 6.41) syns en vitning likt den som sågs i de två ovanstående exemplen medan i hjässan (Figur 6.42) har förändringen gått ännu längre. I hjässan syns en avsaknad av harts i så pass stor utsträckning att filten har frilagts (Figur 6.44) och en delaminering (Figur 6.43) kan ses mellan de två filtarna som använts för att bygga upp fodret.



Figur 6.41

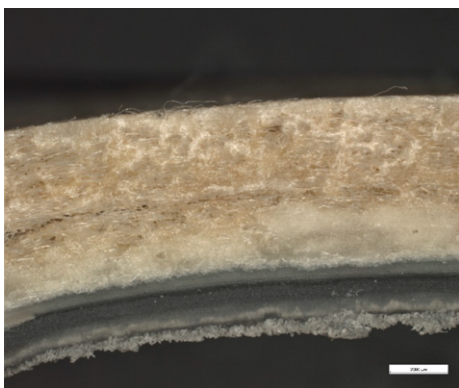
Tvärsnittet av godset i botten av fodret. Här syns en vitning likt i Öckerö #2 och #5, men inte en större avsaknad av harts som det syns i hjässan.



Figur 6.42

Tvärsnittet av godset i hjässan där det saknas harts. I mitten av tvärsnittet syns en delaminering mellan de olika filtskikten.

Ett resultat av förlusten av harts gör att fodret uppvisar den i projektet lägsta uppmätta böjmodulen och den största procentuella minskning av böjmodul jämfört med specificerat. Skillnaden är från 3626 MPa till 1978 MPa (exklusive inre liner). Det uppvisar även den största exotermen (30 J/g), det gäller dock bara för rorbotten. I hjässan, i den del som har dåligt med harts syns ingen exoterm vilket tyder på att lågmolekylärt material har lakats ur. Fodret är termiskt härdad, men resultaten tyder på att inte tillräckligt hög uthärdningsgrad har erhållits, vilket har försämrat fodrets beständighet. En förklaring kan också vara att en del harts förlorats i samband med installation vilket skulle kunna leda till för lite harts i hjässan. Det förklarar dock inte vitningen i botten av fodret samt det stora antalet porer som är synligt mitt på fodret (kl 3 och 9). Reststyrenhalten är relativt låg (0.38 vikt%), men om hartset har lakats ur är det troligt att även icke reagerat styren har lakats ut.



Figur 6.43

Förstoring i hjässan av fodret Figur 42 där polyesterfilten blivit exponerad. Pilen indikera att en delaminering har börjat mellan de olika skikten.



Figur 6.44

Förstoring i hjässan av fodret Figur 42 där polyesterfilten blivit exponerad. Pilen indikera att en delaminering har börjat mellan de olika skikten.

I Figur 6.45 till Figur 6.48 ses tvärsnittet samt insidan på ett foder som uppvisar en brun missfärgning. Förutom färgförändringen i hjässan var fodret i bra skick utan några missfärgningar eller porer. En brun missfärgning hos hårdplaster är vanligt att se i samband med oxidering (det är inte en färgförändring som kan väntas vid hydrolys). Färgförändringen här tyder snarare på att hårdplasten har exponerats mot ett mer aggressivt medium alternativt metalliska korrosionsprodukter. I Figur 6.47 och Figur 6.48 ses att nedbrytningen har brett ut sig och penetrerat mellan ytterfilmen och själva fodergodset, vilket har resulterat i att polyestertrådar från filten har exponerats. Provet uppvisade en böjmodul som är 30% lägre än specificerat vid installationen 12 år tidigare. Provet uppvisade ingen exoterm i samband med den termiska analysen vilket indikerar att fodret har varit bra uthärdat.



Figur 6.45

Tvärsnittet av ett foder som installerats 2007 med lokalt brun missfärgning i hjässan.



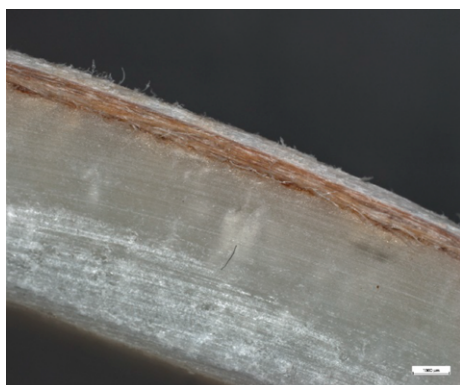
Figur 6.46

Den bruna missfärgningen i figuren bredvid men sedd från insidan.



Figur 6.47

Förstoring av missfärgningen.



Figur 6.48

Missfärgning som breder ut sig mellan foderväggen och ytterlinern.

6.3.11 Utvärdering av driftsatta plus referenser för Öckeröprover #4, 7, 8 och 10

I samband med en installation av glasfiberarmerade foder 1998 på Öckerö togs ett antal provbitar ut efter installation och sparades i arkiv hos Öckerö kommun. Installationerna genomfördes med en UV-härdande glasfiberarmerad strumpa i betongrör med foder som dimensionerats enligt belastningsfall B i P101, läggningsdjup på 2 m och ett grundvattentryck på 1 mvp. Enligt beställning dimensionerades fodren med en ringstyvhet på SN1.25 och var antingen 200 eller 225 mm i diameter. Någon provning på de uttagna provbitarna gjordes inte utan den jämförbara data som finns tillgänglig är det som rapporterats för produkten, inte för de specifika installerade objekteten.

Fodrets glasfiber bestod av korrosionsbeständigt ECR-glas som utgjorde drygt hälften av vikten. Palatal P-92 från AOC (tidigare Aliancys och DSM), en isofoalat och neopentylglykolbaserad harts användes. Innerskikt utgjordes av en ytväv av huggen glasfibermatta utan permanent innerliner. Tjockleken var enligt datablad 3.1 mm (+0.5 mm, -0.2 mm) för SN1.25 för 225 mm i diameter. Modulen rapporteras till >10000 MPa för korttid och >4000 MPa för långtid bestämd enligt DIN 53769.

Av de driftsatta foder som togs upp från Öckerö fanns det referensprov som sparats från fyra installationer. Alla installationer gjordes av samma installatör, vid samma tidpunkt och samma typ av foder.

Den visuella bedömningen av alla fyra driftsatta foder som hade referensprov var att de var i bra skick. Ytan på fodren var glatt med endast mindre repor (Figur 6.52). I de driftsatta fodren syns tydliga färgförändringar nedanför vattenlinjen (Figur 6.50) i form av ett mörkare område.



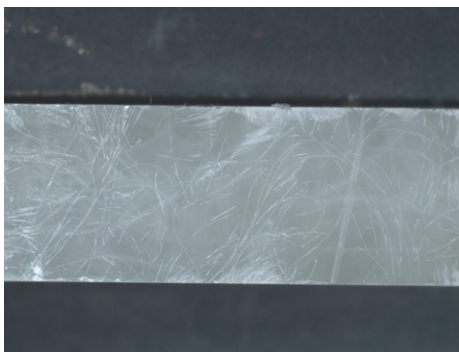
Figur 6.49

Flexibelt foder som varit driftsatt i 21 år.



Figur 6.50

Flexibelt foder som varit i drift i 21 år där den mörka sektionen är i botten av röret.

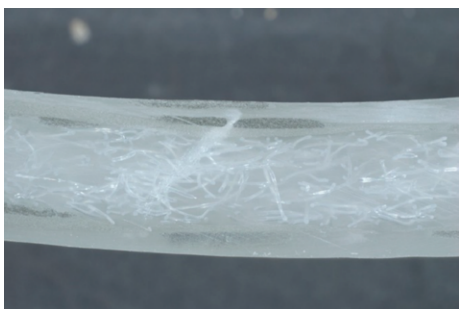


Figur 6.51
Innerytan på ett referensprov

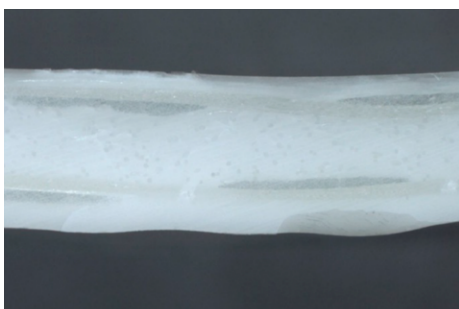


Figur 6.52
Innerytan på ett av fodren som varit i drift i 21 år

I Figur 6.53 och Figur 6.54 syns ett referensprov respektive det driftsatta fodret i tvärsnitt, fotograferat med ljusoptiskt mikroskop. För det driftsatta fodret noteras framför allt en vitning av foderväggen. Vitningen kommer från absorption av vatten i laminatet. Vattenabsorption går inte att undvika, men effekterna, som exempelvis osmosblåsor, urlakning av lågmolekylära ämnen och dimensionella förändringar kan minimeras om rätt harts används, och med rätt typ av glasfiber med rätt ytbehandling. Ett polyesterharts kan vanligtvis absorbera runt 1-2% vatten, men högre halter kan absorberas i samband med skapande av mer tomrum vid till exempel tappad vidhäftning mellan fiber och matris.

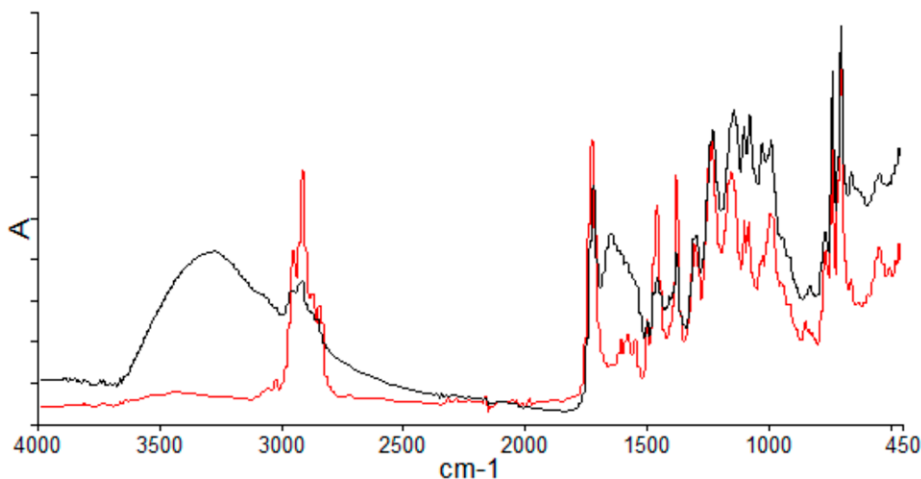


Figur 6.53
Tvärsnittet av ett referensprov observerat i ljusoptiskt mikroskop.



Figur 6.54
Tvärsnittet av motsvarande driftsatt foder.

Skillnader i den kemiska profilen mellan de driftsatta fodren och referenserna undersöktes med FTIR-spektroskopi. Analysen visade att de driftsatta fodren, vid uppmätning på insidan av röret i vattengången, hade en högre nivå av OH-grupper i strukturen än referensproverna. OH-grupperna kan kopplas till vatten som absorberats. Det visade sig genom förändringar i breda toppar runt vågtalen 3300 cm⁻¹ och 1650 cm⁻¹, se Figur 6.55. Dessa toppar som representerar vatten i strukturen försvann dock helt och hållet när ytan polerades ner något med vattenslip. Denna materialförändring är således väldigt ytlig.

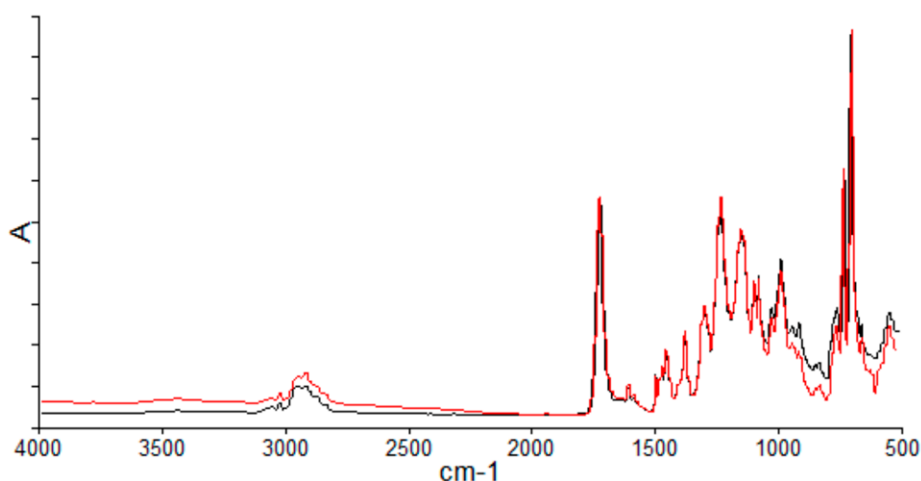


Figur 6.55

FTIR-spektrum av insidan på ett driftsatt foder samt motsvarande referensprov mätt på insidan. Två toppar kopplade till vatten är synliga vid 3300 cm⁻¹ och 1650 cm⁻¹.

Name	Description
Öckerö #8 insida	Svart linje -
Öckerö #8 insida referens	Röd linje -

I Figur 6.56 syns FTIR-spektrum för Öckerö #10 plus referensprovet till samma foder. Spektrumen är tagna i hartsrika områden i fodrens mitt. Vad som syns är att spektrumen inte skiljer sig alls, trots 21 år i drift. Inga OH-toppar kopplade till vatten eller degraderingsprodukter, såsom alkoholer syns. Hartset som används i fodret är således väl beständigt mot den miljö som det används i.



Figur 6.56

FTIR spektrum som jämför ett foder som varit driftsatt i 21 år samt motsvarande referensprov som förvarats på hyllan. Inga FTIR-toppar som visar på materialförändringar kunde observeras.

Name	Description
Öckerö #10	Svart linje -
Öckerö #10 referens	Röd linje -

Den termiska analysen med DSC gjordes för att identifiera skillnader i uthärtningsgrad. Målet var att identifiera eventuella tecken på att driften har påverkat proverna, exempelvis genom urlakning av styren och icke-reagerad harts. I Tabell 6.9 ses den uppmätta exotermen och den motsvarande uppskattade uthärtningsgraden. I tabellen finns även reststyrenhalt, bestämd med GC-MS enligt ISO 4901:2011.

Prov	DSC – exoterm (J/g)	Uthärtningsgrad* [%]	Reststyren medelvärde (%)
Öckerö #4	14	92	Ej uppmätta
Öckerö #4 - referens	0	100	Ej uppmätta
Öckerö #7	15	91	1
Öckerö #7 - referens	15	91	0.45
Öckerö #8	15	91	0.71
Öckerö #8 - referens	0	100	0.11
Öckerö #10	21	88	0.47
Öckerö #10 - referens	7	96	0.46

I Tabell 6.9 kan det ses att referensproverna är lika eller bättre uthärdade än de driftsatta fodren. Samma trend gäller vid mätning av reststyren med GC-MS. I alla fall utom för Öckerö #10 uppmättes en betydligt lägre reststyrenhalt för referensprovet än det driftsatta fodret.

Här kan det misstänkas att förvaringen av referensprov i ett lager med rumstemperatur har lett till en ökad avdunstning av styren än för motsvarande foder som legat i ett betydligt svalare avloppsrör. Det är även möjligt att härdningen har drivits olika långt i olika punkter av foderinstallationen, d.v.s. eftersom det inte är specificerat exakt var provbitarna tagits finns en risk att de representerar olika delar av driftsträckan.

Tabell 6.9

Jämförelse mellan referensprov och driftsatta foder med avseende på uthärtningsgrad och reststyrenvärdet.

6.4 Slutsatser och kommentarer

25 stycken flexibla foder från det befintliga ledningsnätet har levererats till projektet för analys. Det äldsta var installerat 1994 och det yngsta installerat så sent som 2019. De flesta fodren var mellan 10 och 20 år gamla i samband med att de togs upp. Relevant för projektet var cirkulära självfallsledningar för avlopp eller dagvatten. Uppgrävningarna har gjorts i 7 kommuner i Götaland och Svealand och totalt finns foder från tre olika leverantörer med i undersökningen. 24 av 25 foder var installerade i betongrör och totalt levererades 16 flexibla foder som halvor och 9 som hela rör. Av de flexibla fodren var 11 armerade med glasfiber (väv) och 14 var oarmerade, s.k. filtfoder. När rörbitarna anlänt till RISE gjordes först en grovrengöring samt visuell inspektion och fotografering. Analysmetoder som exempelvis DSC, FTIR och optisk mikroskopering har använts för bedömning av fysikaliska egenskaper och nuvarande status.

Den kemiska beständighet i fodren är generellt sett god där de flesta foder framstår som väl bevarade trots ett större antal år i drift. För Öckeröproverna där det finns referensmaterial ses bara ytliga kemiska förändringar (i det rena hartset) trots alla år i drift. Dessa var tillverkade med en kemiskt beständig isoftalsyra och neopentylglykol vilket visar att den är väl anpassad för tillämpningen.

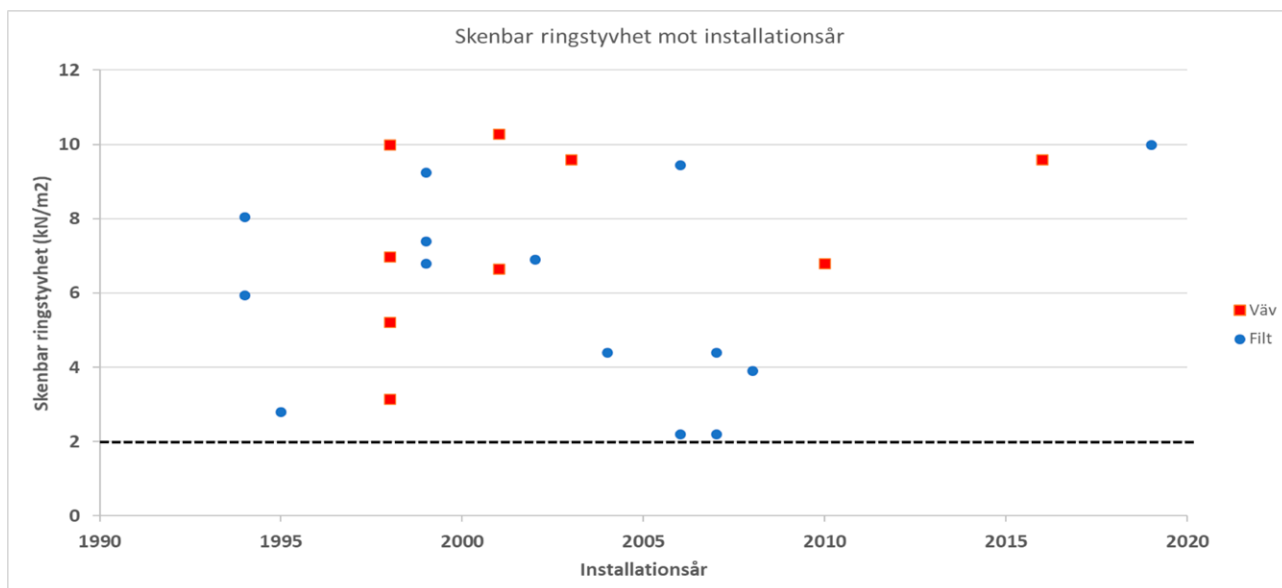
Ett antal foder uppvisar dock tecken på materialförändringar som kan kopplas till tiden i drift. Det finns självklart en möjlighet att förändringarna har sitt huvudsakliga ursprung i bristfällig installation och/eller fabrikation. De mest tydliga förändringarna är avsaknad av harts och kraftig vitning av godset. En vitning kan kopplas till en avsaknad av harts, vilket även kompletteras av omkringliggande porstrukturer i foderväggen. Dessa porer är tecken på att en förlust av material har skett. I samtliga fall är vitningen

kopplad till utsidan av fodret, vilket troligtvis hänger samman med att det vid termisk härdning uppstår en temperaturgradient genom godset, och om uppvärmningen inte är tillräckligt hög och inte varar länge nog fås en lägre uthärtningsgrad där. Resultaten visar på att det är viktigt att vara noggrann med härdningsprocessen och se till att fodret är fullt uthärdat efter installation. Med tanke på de låga temperaturerna så kommer det inte ske någon efterhärdning när de väl är på plats. En bra uthärdning är avgörande för en lång livslängd.

Mätning av uthärtningsgrad har i projektet utförts med DSC. Det är en vedertagen metod för att säkerhetsställa uthärtningsgraden i kompositer som används inom industriella sammanhang. Det används dock inte så frekvent inom flexibla foder som kvalitetssäkrare vilket möjligen vore önskvärt. Enligt DSC-analysen hamnar två foder under nivån för acceptabel uthärdning, 90%. Motsvarande mätningar av reststyren genom GC-MS visar dock att båda dessa foder ligger en bra bit under gränsvärdet på 2 % för reststyren, vilket kan bero på flera orsaker.

När det gäller mekanisk provning har sammanlagt 116 provföremål av de driftsatta fodren testats genom 3-punktsböjning enligt EN ISO 11296-4 (Annex B för provning av krökta provstavar). Ytterligare 8 provstavar från två foder åldrades genom exponering för 2M svavelsyra i 150 dagar vid 40 °C och testades enligt samma metodik. Ringstyvhet testades för de 9 rören som levererades hela. Skjuvprovning i enlighet med ASTM D2344 användes för jämförande prov med referenser för Öckerö #4, 7, 8 och 10, totalt 24 prover. Det hade förstås varit idealiskt att kunna utföra 3-punkts böjprov enligt EN ISO 11296-4 med dessa också, men tyvärr hade referensproverna för kort spann i ringled för en sådan jämförande provning. Bedömningen var trots allt att skjuvtestningen borde kunna användas som metod för indikation på eventuella förändringar i materialet som hade varit driftsatt.

Generella slutsatser från den mekaniska provningen är att spridningen i uppmätta mekaniska data är relativt stor, och den är något större för glasfiberarmerade foder än för filtfoder. Armerade foder visar som väntat en betydligt högre modul och styrka än filtfoder. Filtfoder visar dock en större duktilitet med högre töjning vid max spänning, även om det verkar som att skadeutvecklingen startar vid en lägre töjning (lite drygt 1 % töjning för de flesta filtfoder i denna undersökning). Generellt kan det ändå sägas att den beräknade skenbara ringstyvheten är god för de flesta flexibla fodren och ingen hade lägre skenbar ringstyvhet än 2 kN/m², se Figur 6.57. Beräkningar gjordes även för att undersöka inverkan av innerlinern på modulen och ringstyvheten i de fall det existerade en tydlig sådan. Det visade sig att genom att exkludera linern i mätningarna ökade böjmodulen med mellan 1642 %. Däremot har det minimal inverkan på ringstyvheten då ökningen i modul kompenserar för minskningen av totala godstjockleken. Vidare kan det konstateras att skenbar ringstyvhet uträknad enligt uppmätta värden på böjmodulen enligt EN ISO 11296-4 inte kan antas vara direkt jämförbara med ringstyvhet från provning enligt ISO 7685.



De exponerade proverna som åldrades i 2M svavelsyra i 150 dagar vid 40 °C visade ingen signifikant förändring i mekaniska egenskaper. För de jämförande prov med referenser (Öckerö #4, 7, 8 och 10) sågs en minskning i skjuvhållfastheten på mellan 16-45 %, vilket indikerar att en förändring har skett under åren i drift. Det säger dock ingenting om hur draghållfastheten i fiberriktningen har påverkats.

För prover som levererades som hel ring uppmättes hur godstjockleken varierade i ringled. Medel-avvikelsen för punkterna visade sig vara mellan 80-125 % av den uppmätta medelgodstjockleken.

Figur 6.57

Beräknad skenbar ringstyvhet baserat på uppmätt böjmodul enligt EN ISO 11296-4 i förhållande till installationsår.

7 Lärdomar och diskussion

Under projektets gång har många erfarenheter och lärdomar erhållits angående produkten flexibla foder och provning av denna:

- Ett flexibelt foder är en kompositprodukt med flera olika materialkomponenter och lager. De olika skikten har olika egenskaper och funktion. Detta innebär att extra noggrannhet krävs vid upphandling och provning av produkten.
- För att erhålla ett foder av hög och jämn kvalitet är entreprenörens kompetens och erfarenhet oerhört viktig. Det är ett hantverk och en produktion som sker på installationsplatsen.
- Kvalitetssäkringen har på den svenska marknaden ej genomförts på det sätt som Svenskt Vatten rekommenderade i P101 från 2010. Detta beror troligtvis på begränsade resurser eller för liten kompetens om produkten hos beställare. Nivån på kvalitetssäkring av flexibla foder varierar generellt mycket mellan olika länder i Europa.
- Undersökningen av status på driftsatta foder visade att de flesta foder hade goda mekaniska egenskaper. Undersökning i mikroskop visade dock på en del defekter, men det är omöjligt att göra en tillförlitlig livslängdsuppskattning utifrån dessa. Flera utav defekterna har sannolikt uppstått redan under fabrikations- och/eller installationsprocessen, vilket ytterligare understryker att stor noggrannhet och kompetens krävs.
- Vid kravställning och kvalitetssäkring är det fodrets ringstyvhet som bör vara den viktigaste parametern av flera anledningar. Ringstyvheten är den mekaniska storhet som avgör hur väl ett foder motstår extern belastning. Vid provning av ringstyvhet är tjocklekar på gods, pre-liner eller innerliner inte lika utslagsgivande som vid provning av en modul, vilket möjliggör en enklare jämförelse och färre missförstånd.
- Vid installation av flexibla foder finns en risk för utsläpp av miljöstörande ämnen. I synnerhet i känsliga områden är det därför viktigt att ställa specifika miljökrav på produkten och utförandet, och att det sedan kontrolleras.

8 Framtida arbete

Följande punkter är förslag på möjliga fortsatta arbeten för att höja kompetensen inom området flexibla foder i Sverige:

- Kurs för beställare och bygglidare där viktiga aspekter av flexibla foder behandlas, samt vilka möjligheter som finns för kravställning och kvalitetssäkring.
- Provning av hur olika foder presterar i labbmiljö, vid cykling av omväxlande varmt och kallt strömmande vatten i kombination med extern belastning. Accelererad åldringsprovning med syftet att bedöma förväntad livslängd under vissa förutsättningar.
- Undersökning av hur olika foder hanterar svårigheter när de installeras. Detta skulle eventuellt kunna utföras i samarbete med Stockholm Vatten och Avfall och i deras testanläggning.
- Kvantitativ undersökning av styrenutsläpp, förslagsvis på det sätt som finns beskrivet under "Vidare arbete" i rapporten "Utvärdering för kemiska risker och miljöförstörande ämnen i flexibla foder". (Good Point AB, Finnveden och von Stedingk, 2020)
- Framtagande av nya rekommendationer för kvalitetssäkring på den svenska marknaden i samarbete med Svenskt Vatten och kommuner. På sikt kan det vara relevant med en uppdatering av P101 med nya kunskaper så att den återspeglar de nya ISO-standarder som nu normalt refereras till.

Referenser

- Alam, S. o.a., 2018. Evaluation of testing methods for tracking CIPP liners' life-cycle performance. *Cogent Engineering*, 5(1), p. 1463594.
- Allouche, E. o.a., 2012. A retrospective evaluation of cured-in-place pipe (CIPP) used in municipal gravity sewers, u.o.: Environmental Protection Agency (EPA).
- Allouche, E., Alam, S., Sterling, R. & Condit, W., 2014. National Database Structure for Life Cycle Performance Assessment of Water and Wastewater Rehabilitation Technologies (Retrospective Evaluation), u.o.: Environmental Protection Agency.
- Alzraiee, H., Bakry, I. & Zayed, T., 2015. Destructive analysis-based testing for cured-in-place pipe. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 29(4), p. 04014095.
- AOC Aliancys, 2020-06-05. Personligt samtal. u.o.:u.n.
- AOC Resins, 2020. Chemical Nature/Isophthalic. [Online]
Available at: <https://aocresins.com/en-emea/products/chemical-nature/isophthalic/>
- Bakry, I. o.a., 2016. Condition prediction for cured-in-place pipe rehabilitation of sewer mains. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 30(5), p. 04016016.
- Cigler, O., Kubečka, K. & Waldstein, P., 2014. Quality control and testing of CIPP liners. *Advanced Materials Research*, Volym 1044, pp. 1549-1552.
- Dansk Byggeri, 2017. Tekniske bestemmelser for Kontrolordning for Ledningsrenovering, Risskov: Dansk Byggeri.
- De Kok, J. M. M. & Meijer, H. E. H., 1999. Deformation, yield and fracture of unidirectional composites in transverse loading: 1. Influence of fibre volume fraction and test-temperature.. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 30(7), pp. 905-916.
- Doherty, I. J. & Eng, P., 2008. CIPP liner thickness changes under F1216-07b. Dallas, Texas, No-Dig Conference & Exhibition.
- Downey, D., 2010. The Story Behind the Pipe: an Inside Look at CIPP. *Trenchless International*, October, pp. 28-29.
- EN 13121-1, 2003. Behållare och kärl i glasfiberarmerad plast för användning ovan jord - Del 1: Råmaterial - Specifikation- och acceptansvillkor. u.o.:u.n.
- EN 13121-2, 2004. Behållare och kärl i glasfiberarmerad plast för användning ovan jord - Del 2: Kompositmaterial - beständighet mot kemikalier. u.o.:u.n.
- Good Point AB, Finnveden och von Stedingk, 2020. Utvärdering för kemiska risker och miljöföroreande ämnen i flexibla foder, Stockholm: Goodpoint AB.
- Hansen, A. & Hamre, K., 2016. Testfelt for strømpereovering - Slutrapport, Bærum: Bærum Kommune.
- IKT, 2014. LinerReport - Ten years of the IKT LinerReport: Quality and Transparency Oblige. [Online]
Available at: <https://www.ikt-online.org/blog/ten-years-of-the-ikt-linerreport-quality-and-transparency-oblige/?print=print>
[Använd 12 11 2020].
- IKT, 2020. LinerReports. [Online]
Available at: <https://www.ikt-online.org/downloads/linerreport/>
- Kaushal, V., 2019. Comparison of environmental and social costs of trenchless cured-in-place pipe renewal method with open-cut pipeline replacement for sanitary sewers. u.o.:u.n.

-
- Kaushal, V. & Najafi, M., 2020. Comparative Assessment of Environmental Impacts from Open-Cut Pipeline Replacement and Trenchless Cured-in-Place Pipe Renewal Method for Sanitary Sewers. *Infrastructures*, 5(6), p. 48.
- Lauesen, L. M., 2016. Stakeholder Dissonance: Corporate Social Responsibility versus Regulation—A Study of a Trust-Recovery Process. *Accountability and Social Responsibility: International Perspectives*.
- Lueke, J. S. & Ariaratnam, S. T., 2001. Rehabilitation of underground infrastructure utilizing trenchless pipe replacement.. *Practice periodical on structural design and construction*, 6(1), pp. 25-34.
- Lu, H., Matthews, J. & Iseley, T., 2020. How does trenchless technology make pipe-line construction greener? A comprehensive carbon footprint and energy consumption analysis. *Journal of Cleaner Production*, p. 121215.
- Macey, C. C. & Zurek, K., 2012. 34 years of quality assurance testing for CIPP in Winnipeg, MB, Canada. *Nashville, u.n.*
- Macey, C. o.a., 2013. More really old CIPP liners from Winnipeg, MB, Canada that have stood the test of time. *u.o., u.n.*, pp. 3-7.
- Malm, A. o.a., 2011. Rörmaterial i svenska VA-ledningar egenskaper och livslängd, Stockholm: Svenskt Vatten Utveckling.
- Moore, W., 2011. Non-styrene options for cured in place pipe. *NASST No-Dig*, 2 February.
- Mårtensson, H. o.a., 2018. Framtida hållbara VA-ledningssystem, Stockholm: Svenskt Vatten AB.
- Naismith, I., 2018. Senior Research Fellow [Intervju] (28 August 2018).
- Odegard, G. M. & Bandyopadhyay, A., 2011. Physical aging of epoxy polymers and their composites. *JOurnal of Polymer Science Part B: Polymer Physics*, 49(24), pp. 1695-1716.
- Ra, K. o.a., 2018. Critical Review: Surface Water and Stormwater Quality Impacts of Cured-In-Place Pipe Repairs. *Journal-American Water Works Association*, 110(5), pp. 15-32.
- Riahi, A. M., 2015. Master Thesis: Short-term and long-term mechanical properties of CIPP liners, u.o.: University of Waterloo.
- Richaud, E. & Verdu, J., 2019. Aging behaviour and modeling studies of unsaturated polyester resin and unsaturated polyester resin-based blends. i: T. Sabu, H. Mahesh & J. C. Cintil, red. *Unsaturated Polyester Resins - Fundamentals, Design, Fabrication and Applications*. u.o.:Elsevier.
- Scandinavian Society for Trenchless Technology, 2020. No-Dig Handbook. [Online] Available at: <https://www.sstt.se/site-content/uploads/nodig/no-dig-handbook.pdf>
- Selzer, R. & Friedrich, K., 1997. Mechanical properties and failure behaviour of carbon fibre-reinforced polymer composites under the influence of moisture. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 28(6), pp. 595-604.
- Sharma, N., Surendra Kumar, M. & Ray, B. C., 2008. Study of the effect of hygrothermal ageing on glass/epoxy micro-composites by FTIR-imaging and alternating DSC techniques. *Journal of reinforced plastics and composites*, 27(15), pp. 1625-1634.
- Svenskt Vatten AB, 2010. Publikation P101: Schaktfritt byggande av markförlagda VA-ledningar av plast, u.o.: Svenskt Vatten.
- Svenskt Vatten AB, 2017. Investeringsbehov och framtida kostnader för kommunalt vatten och avlopp, Stockholm: Svenskt Vatten .
- Svenskt Vatten AB, 2018. Resultatrapport för VASS Drift 2016, Stockholm: Svenskt Vatten AB.
-

Svenskt Vatten, 2016. Publikation P110: Avledning av dag-, drän-och spillvatten. Funktionskrav, hydraulisk dimensionering och utformning av allmänna avloppssystem, Stockholm: Svenskt Vatten.

Svenskt Vatten, 2018. Resultatrapport för VASS Rörnät 2016, Stockholm: Svenskt Vatten.

Tavakoli, R., Najafi, M., Tabesh, A. & Ashoori, T., 2017. Comparison of Carbon Footprint of Trenchless and Open-Cut Methods for Underground Freight Transportation. u.o., u.n.

Tena, I. o.a., 2012. Effect of the thickness on interfacial strength of layer by layer insitu UV curing. Venice, Italy, u.n.

Thomason, J., 2012. Glass fibre sizings: A review of the scientific literature. u.o.:Create Space Independent Publishing.

VA/Miljö-blad, S., 2009, reviderat 2018. Miljö blad nr. 91, Strömperenovering av avloppssystem, u.o.: u.n.

White, S. R. & Hahn, H. T., 1992. Process modeling of composite materials: Residual stress development during cure. Part II Experimental validation. Journal of Composite Materials, Volym 26, pp. 2423-2453.

Winnfors Wannberg, E., 2016. Tejpproblem efter gamla infodringar. Cirkulation, 21 09, pp. 24-28.

WRc, 2020. Sewerage Rehabilitation Manual. [Online]

Available at: <https://srm.wrcplc.co.uk/>

Zafar, A., Bertocco, F., Schjöldt-Thomsen, J. & Rauhe, J. C., 2012. Investigation of the long term effects of moisture on carbon fibre and epoxy matrix composites. Composite Science and Technology, 72(6), pp. 656-666.

Zhou, J. & Lucas, J. P., 1999. Hygrothermal effects of epoxy resin. Part I: the nature of water in epoxy. Polymer, 40(20), pp. 5502-5512.

Bilaga A Funktionskravmatris

Matrisen utgör ett underlag för att ställa krav som baseras på vilken funktion som beställaren önskar av sin renovering med flexibla foder. Matrisen ska ses som ett komplement till AMA Anläggning 17, men det är viktigt att för egen del reflektera över vilka parametrar som är viktiga och behöver prioriteras. Det är alltså viktigt att göra en egen bedömning av den ledningssträcka som ska renoveras. Kraven hänvisar i stor utsträckning till P101 (Svenskt Vatten AB, 2010) och EN ISO 11296-4:2018, men för en ledningsägare finns alltid möjligheten att avvika från dessa och ställa krav som både är tuffare och mindre tuffa. Det gäller till exempel ovalitet och ringstyvhet.

Textförslag vid kravställande	Baskrav	Hållfasthet	Flödeskapacitet	Täthet	Miljö	KOD	Kommentar
Före installation							
Material, anordningar och fel på befintlig ledningssträcka ska vara dokumenterade av beställaren genom rörinspektion enligt Svenskt Vatten P93. Detta ska bifogas upphandlingsdokument eller avropsunderlag.						PCE.12 PGB.42	
Entreprenören ansvarar för att säkerhetsställa att längder och dimensioner är korrekta genom att kontrollera ledningens längd, dimension och eventuella dimensionsförändringar före materialbeställning. Detta ska dokumenteras av entreprenören och redovisas till beställaren senast vid slutbesiktning.						BBC.32 PGB.42	
Entreprenören ska låta lasermäta dimension och dimensionsövergångar om osäkerhet finns kring dimensionsförändringar på ledning. Detta ska utföras före materialbeställning.						PCE.12	Behovet av lasermätning beror av dimensionsförändringens utseende och storlek samt av fodermaterialets flexibilitet. Behov av lasermätning beslutas i samråd med beställaren.
Installationsvatten och kondensvatten ska tas om hand av entreprenören. Vid undantag ska beställaren godkänna ifall förorenat vatten får släppas till det kommunala ledningsnätet.						PGB.42	I samband med installation av flexibla foder kan det läcka ut styren i omgivningen. Risken är störst innan samt under härdningsprocessen. En hög halt styrenkontaminerat vatten som hamnar i reningsverket skulle kunna påverka de aktiva mikroorganismerna i processen. Det kan därför vara viktigt att säkerställa att kontaminerat vatten inte utgör en risk nedströms installationen. PNEC-värdet för styren i avloppsreningsverk är 5 mg/L enligt ECHA. Hur mycket styren som bryts ner mellan installationspunkten och avloppsreningsverket beror bland annat på avstånd till avloppsreningsverket, flödet i ledningarna och temperatur.

Textförslag vid kravställande	Baskrav	Hållfasthet	Flödeskapacitet	Täthet	Miljö	KOD	Kommentar
Fodrets minsta godstjocklek ska vara minst 3 mm.						PGB.42	3 mm gäller enligt standard EN ISO 11296-4. Större minsta godstjocklek kan krävas av beställaren, vilket exempelvis kan vara aktuellt där nötning och slitage från återkommande mekanisk rengöring förväntas uppkomma En tunnare godstjocklek kan för vissa foder utgöra tillräcklig tjocklek för att nå upp till de satta mekaniska värdena, men ett tunnare gods ger mindre marginaler för att hantera eventuella defekter.
Hållfasthetsdimensioneringen av foder ska utföras med avseende på långtidsrörstyvheten enligt Svenskt Vatten P101 med en säkerhetsfaktor som ska vara minst 2. Långtidsrörstyvheten ska vara baserad på tester utförd i våt miljö enligt EN ISO 11296:4 8.5.2 Tabell 6.						PGB.42	Vatten har en mjukgörande effekt på hartset samt leder till en accelererad minskning av vidhäftningen mellan hartset och glasfibern. När det gäller långtidsvärden är det således viktigt att titta på hur materialet påverkas av vatten. När det gäller önskemål om hållfasthet finns det ett stort antal ledningsägare som dimensionerar för betydligt högre ringstyvhet än det som rekommenderas i P101. Beorende på vilka behov man ser för sitt ledningsnät och vilket marginal med avseende på ringstyvhet så finns till exempel möjligheten att kravställa $S50 > 6 \text{ kN/m}^2$ om så önskas, eller för den delen ett foder med SN8, vilket är vanligt för nylagda avloppsrör i plast. I Norge är praxis enligt miljöblad 91 en korttidsringstyvhet på minst 5 kN/m^2 och en långtidsringstyvhet på minst 2 kN/m^2. (VA/Miljø-blad, 2009, reviderat 2018)
Korttidsrörstyvheten (kN/m^2), samt böjmodulen, som det installerade fodret designas för, ska delges beställaren.						PGB.42 YCE.12	Korttidsrörstyvheten ska delges beställaren för att ge beställaren eller tredje part möjligheten att undersöka att den installerade produkten uppnår den beställda nivån. Vilken standard som använts för att få fram ringstyvhet samt böjmodul ska redovisas skriftligen av entreprenören.

Textförslag vid kravställande	Baskrav	Håll- fasthet	Flödes- kapacitet	Täthet	Miljö	KOD	Kommentar
Fodret ska vara dokumenterat beständig mot kemikalier. Till exempel att det tillhör Grupp 4 i EN 13121 eller enligt ASTM-standarderna F1743-17, F2019-20, F1216-16 eller DIBts förfarande för kemisk beständighet.						PGB.42	Det finns i EN ISO 11296:4 ingen kvalitet- eller typgradering på den polyesterharts som används. Det finns ett stort antal polyesterhartsar där de olika typerna har olika beständighet mot kemikalier och hydrolys. Det finns således en möjlighet att använda hartser av lägre kvalitet och ändå uppfölja standarden. Enligt EN ISO 11296:4 bör ett laminat exponeras i 0.5 M i en månad och deklarerade värden ska rapporteras, men någon maxgräns för minskningen existerar inte. Enligt tre ASTM-standarder (F1743-17, F2019-20, F1216-16) som berör flexibla foder ska laminatet exponeras i ett år i ett antal olika syror, baser och ytaktiva ämnen och bibehålla minst 80 % av den ursprungliga böjstyrkan. För att säkerhetsställa hög kemiskt resistens hos hartset kan krävas att hartset klassificeras i Grupp 4 i EN13121. Generellt har polyesterhartsar baserad på isophthalate och neopentylglykol bäst beständighet. Isophthalate-baserad harts är ett krav i F1747-17. Sämst beständighet har hartser som baseras på enbart maleinsyra. Många tillverkar använder sedan länge hartser baserade på isoftalsyra och neopentylglykol i sina flexibla foder.
Säkerhetsdatablad ska bifogas i samband med anbudsförfarandet						PGB.42 YCE.12	
Foder ska utmed hela dess renoveringslängd ansluta väl till befintlig lednings rörvägg så att mellanrum mellan befintlig ledning och foder ej är större än 0,5% av rördiametern.						PGB.42 YBC.3412	En större spaltbredd ger en lägre bucklingslast för det installerade fodret och minskar även det tillåtna grundvattentrycket. Det är således viktigt att ha hålla spalten mellan värdrör och det installerade fodret litet. En stor spalt kan också indikera att installationen har genomförts bristfälligt, till exempel med för hög temperatur eller effekt med en efterföljande stor krympning på grund av stor termisk kontraktion. I P101 utgör 0.5% den minsta spalten som exemplifieras i beräkningarna, en nivå som i princip alla väl installerade foder i Sverige kan uppnå. En kontroll av spalten kan göras i anslutande brunn med ett bladmått. Det gäller förutsatt att inte tätningsmaterial har installerats mellan foder och värdröret för att ge en helt tät anslutning.
Tätning ska utföras mellan foder och befintligt rör vid brunnar.						PCB.123 PGB.42	Det kan göras på flera olika sätt, men det är upp till entreprenören att bestämma vilken metod som används. Det kan till exempel göras genom att ett svällande och tätande material installeras mellan fodret och värdröret innan härdning, eller genom injektering av tätande material efter härdning. För erhållande av tätning vid servisanslutning krävs montering av speciella anslutningsfoder eller så kallade "hattar" samt ofta också en partiell renovering av servisen.

Textförslag vid kravställande	Baskrav	Håll- fasthet	Flödes- kapacitet	Täthet	Miljö	KOD	Kommentar
Beställaren anger krav på maximalt tillåtna veck och bulor (Enligt SS-EN 11296-4 gäller 2 % av ledningsdiameter eller maximalt 6 mm).						PGB.42 YBC.342	Kontrollmätning görs genom lasermätning av dimensionen (se även P91). Beställaren kan ställa avvikande krav från EN ISO 11296-4 på tillåtna veck och bulor beroende på profillutningen på ledning.
Vid ovalitet på rör och lokala deformationer i rörtvärsnitt som överstiger eller kan misstänkas överstiga 8% ska detta dokumenteras med lasermätning. Vid ovalitet över 8% ska särskilda beräkningar på hållfasthet göras enligt P101.						PCE.12 PGB.42	En ovalitet hos värdröret ger en stor reduktionsfaktor för bucklingslasten och det är således viktigt att mäta den och säkerhetsställa att den inte är kritiskt hög. Se 8.2.2.2.2. i Svenskt Vatten P101 för information om reduktionsfaktorns relation till ovaliteten.
Beställaren anger vid behov minsta tillåtna ny innerdiameter.						PGB.42	Minsta möjliga innerdiameter är framför allt viktigt när en ledning riskerar att däckas, det vill sägas fyllas upp helt. Detta är framför allt relevant för kombinationsledning och dagvattenledning för hantering av skyfall eller vid planering för stor utbyggnad av uppströms liggande områden. En ledningsägare ska kunna hantera ett 10-årsregn (P110) och då kan det vara viktigt att ha kvar så mycket kapacitet som möjligt för att undvika till exempel översvämning i källare. Det finns idag ingen övre tolerans i EN ISO 11296-4 på hur mycket tjockleken får avvika från designtjockleken.
Beställaren anger eventuella krav på andra hårdningsmaterial än styrenbaserade hartser och andra faroklassade substanser						PGB.42	Detta gäller om man ställer extra vikt vid miljö känsliga områden. Halten reststyren i ett fullt uthärdat prov kan tryckas ner till 0.1 %, men normalt ligger 2% som övre accepterad gräns för kvarvarande reststyrenhalt.
Beställare ställer krav på att permanent preliner ska användas						PGB.42	En permanent preliner används i stor utsträckning på alla foder som vinschas in i värdröret för att skydda det ohärdade fodret. Ibland används permanenta preliners även på foder som vrängs in. En tät preliner ger en möjlighet till extra täthet, särskilt på foder som inte perforeras av servisanslutningar.
Beställaren ställer krav på om och hur schakter får utföras.						CBB,CEC	I anbud eller vid erhållande av avrop ska entreprenören upplysa beställaren om de schakter som krävs för utförandet.
Beställaren ställer krav på återställning.						DBC	Återställande av markyt, arbetsområde och anordningar ska utföras av entreprenören.
Under utförandet							
I direkt anslutning till infodring ska entreprenören utföra rörinspektion som visar att ledningen är rengjord (sediment, rötter och hinder ska vara borttagna). Inspektionen ska sparas under hela garantitiden.						PCE.12 PGB.42	Detta är ett krav som ställs för att säkerhetsställa att ledningen är rengjord. Inspektionen kan även användas vid bedömning av orsak till uppkomst av bulor i fodret.

Textförslag vid kravställande	Baskrav	Håll- fasthet	Flödes- kapacitet	Täthet	Miljö	KOD	Kommentar																	
Avkapade och bortfrästa delar av foder ska omhändertas av entreprenören.						PGB.42 YBC.34	Kontroll av att det inte finns kvarvarande foderbitar i ledning, sker genom granskning av slutbesiktningsfilm.																	
Foder ska anslutas till befintliga ledningar och brunnar på ett sådant sätt att kant, veck eller bulor ej uppkommer.						PGB.42 YBC.342	Frånsteg från standarden (EN ISO 11296-4) kan accepteras vid överenskom- melse mellan beställare och entreprenör om det bedöms att det inte påverkar ledningens funktion. Enligt standarden är maxstorleken på bulor och veck 6 mm eller 2 % av lednings diameter.																	
Loggning och dokumentation på härdningsutfö- rande ska kunna uppvisas på begäran av beställaren.						YCQ.1121	I draft-versionen av "Assessment of conformity of plastics piping systems for the rehabilitation of existing pipes lines- Part 2: Resin-fibre composite (RFC)- material" ISO/DTS 23818-2:2020 beskrivs vad som bör dokumenteras för värmehärdande respektive UV-härdade system: <table><tr><th>UV-härdning</th><th>Värmehärdning:</th></tr><tr><td>Infodringshastighet</td><td>Infodringshastighet</td></tr><tr><td>Längsgående kraft</td><td>Längsgående kraft</td></tr><tr><td>Installationstryck</td><td>Installationstryck</td></tr><tr><td>Temperaturer*</td><td>Temperaturer*</td></tr><tr><td>Att Installationsmanualen har efterföljts</td><td>Att Installationsmanualen har efterföljts</td></tr><tr><td>Strålningsintensitet för lamporna</td><td></td></tr><tr><td>På och Av-status för individuella lampor</td><td></td></tr><tr><td>Hastighet på ljuståg</td><td></td></tr></table> *Notera att vilka temperaturmätningar som är lämpliga att utföra kan skilja sig mellan UV-härdade och värmehärdade foder och den specifika ledningens utmaningar, (exempelvis svackor, grundvatten, eller risk för stora flöden). Vid värmehärdade foder bör exempelvis fodrets temperatur mätas utmed hela den infodrade sträckan. Ånghärdning anses ej lämpligt att genomföra på ledningar med svackor, på grund av kondensvatten.	UV-härdning	Värmehärdning:	Infodringshastighet	Infodringshastighet	Längsgående kraft	Längsgående kraft	Installationstryck	Installationstryck	Temperaturer*	Temperaturer*	Att Installationsmanualen har efterföljts	Att Installationsmanualen har efterföljts	Strålningsintensitet för lamporna		På och Av-status för individuella lampor		Hastighet på ljuståg
UV-härdning	Värmehärdning:																							
Infodringshastighet	Infodringshastighet																							
Längsgående kraft	Längsgående kraft																							
Installationstryck	Installationstryck																							
Temperaturer*	Temperaturer*																							
Att Installationsmanualen har efterföljts	Att Installationsmanualen har efterföljts																							
Strålningsintensitet för lamporna																								
På och Av-status för individuella lampor																								
Hastighet på ljuståg																								
Frässpån ska omhändertas av entreprenören.						PCF.2121 PGB.42	För att ta hand om frässpån krävs särskild utrustning och en plan över hur omhändertagandet ska ske. Mikroplaster är ett problem och det är viktigt att hantera problemen där de uppstår.																	

Textförslag vid kravställande	Baskrav	Håll- fasthet	Flödes- kapacitet	Täthet	Miljö	KOD	Kommentar
Efter installation (kontroll)							
Rörinspektion av installerade foder ska utföras enligt P93 efter öppning av anslutningar och utföras med en maximal vattennivå i ledningen på 10%. Anslutningar till serviser och brunnar ska detalj-studeras och kontroll ska visa att inga kvarlämnade bitar av foder finns i ledning.						PCE.12 YBC.34	Denna inspektion ingår i slutbesiktningen. Efter överenskommelse med beställaren kan avsteg från maximal vattennivå göras vid svackor på ledningen. En detaljstudie av anslutning innebär att kameran ska fokusera runt hela det cirkulära öppningstvärsnittet i fodret.
Minst en provbit ska tas på varje dimension som utförs. Prov ska i första hand tas i genomgående brunn och om detta inte finns eller anses lämpligt ska provbit tas i slutbrunn. Detta görs enligt EN ISO 11296-4.						YBC.349	Hel omkrets ska plockas ut och längden ska vara 2 gånger diametern, men max 600 mm (eller 2x300 mm). Detta är vad som föreskrivs i EN ISO 11296-4, men ur ett rent kvalitetssäkringsperspektiv kan det möjligtvis räcka med en provbit. Utökade krav på antalet provbitar är lämpligt när många sträckor av samma dimension ska renoveras. Enligt draft-versionen av ISO/DTS 23818-2:2020 skall provbitar tas ut i minst följande omfattning: 1 installerat foder -> 1 provuttag, 2-10 installerade foder -> 2 provuttag, >10 installerade foder -> 20 % av antalet installerade foder (avrundat uppåt). När uttag av provbit som hel ring ej är tillämpligt, exempelvis vid dimensioner över 600 mm, kan trepunktsböj enligt Annex B i EN ISO 11296-4 istället utföras. Man får då ett indirekt mått på rörets ringstyvhet (skenbar ringstyvhet), samt endast godstjockleksmätningar från ett segment av röret. Det skall eftersträvas att provbiten är så representativ som möjligt när det gäller diameter och godstjocklek.
Uttagen provbit ska provas med avseende på godstjocklek (EN 11296-4)						YBC.349	Ny provbit kan tas ut om inte den första är godkänd för att bekräfta tjockleken. Om godstjockleken inte uppnås kan till exempel ett extra foder installeras. Provningsen ska göras av ackrediterad tredje part. Om provbit ej tas ut och provas och analyseras kan beställaren välja att antingen inte godkänna entreprenaden eller kräva ett värdeminskingsavdrag på entreprenadsumman (värdeminskning måste i så fall anges i kontrakt)
Uttagen provbit ska provas med avseende på Ringstyvhet (ISO 7685)						YBC.349	Ny provbit kan tas ut om inte den första är godkänd för att bekräfta ringstyvhet. Om ringstyvheten inte uppnås kan till exempel ett extra foder installeras. Provningsen ska göras av ackrediterad tredje part.

Textförslag vid kravställande	Baskrav	Hållfasthet	Flödeskapacitet	Täthet	Miljö	KOD	Kommentar
Uttagen provbit ska provas med avseende på porer i foderväggen (EN ISO 11296-4, avsnitt 8.4.2)						YBC.349	Det är inte definierat i EN ISO 11296-4 hur mycket porer som är acceptabelt. Ny provbit kan tas ut om den första innehåller stora mängder porer. Porer kan accepteras om det ej är delamineringar och de andra kvalitetsprovningarna visar godkända resultat. Provningen ska göras av tredje part.
Uttagen provbit ska provas med avseende på Reststyren (ISO 4901:2011)						YBC.349	Ny provbit kan tas ut om inte den första är godkänd för att bekräfta reststyren. Entreprenören kan alternativt säkerhetsställa acceptabla halter av reststyren genom efterhärdning av fodret.
Uttagen provbit ska provas med avseende på FTIR-spektrum med avseende på att beställd harts har använts i fodret						YBC.349	Detta är en rutinmässig kontroll inom annan konstruktion med hårdplaster, just på grund av olika hartser har olika kvalitet. Önskas en specifik kvalitet med specifika egenskaper är detta ett enkelt sätt att verifiera att rätt harts har använts.
Granskning av TV-inspekterade installerade foder vid slutbesiktning ska utföras av beställaren eller 3:e part						PCE.12 YBC.34	
Vid TV-inspektion efter renovering ska kontroll visa att deformationer inte förekommer i större omfattning än vad som är tillåtet enligt hållfasthetsberäkningarna.						PCE.12 YBC.342	Utan krav på särskilda hållfasthetsberäkningar får deformationen inte överstiga 8% enligt P101.
Vid TV-inspektion efter renovering ska kontroll visa att veck och bulor inte förekommer i större omfattning än vad som angivits i ställda krav.						PCE.12	Ställda krav är vanligtvis max 6 mm eller 2 % av ledningens nominella diameter, enligt EN ISO 11296-4. Diametern avser ledningens nominella diameter.
Vid TV-inspektion efter renovering ska kontroll visa att inget inläckage förekommer i fodrets anslutningspunkter mot befintliga ledningar och brunnar (ej droppande).						YBC.3412	Droppande inläckage kan konstateras vid slutbesiktning. Fuktande inläckage kan normalt först upptäckas under garantitiden. För att uppnå full täthet vid servisanslutning krävs montering av speciellt anslutningsfoder, så kallad "hatt".
Beställare eller 3:e part kontrollerar täthet i brunnar						YBC.3412	Tätning kontrolleras visuellt eller med brunnsinspektion enligt P103. Droppande eller sipprande vatten får ej förekomma vid fodrets anslutning mot brunn.
All dokumentation ska ges till beställare 10 dagar innan slutbesiktning						YCE.12	Se exempel på dokumentation i Teknisk Beskrivning i annex B av denna rapport.
TV-inspektion vid garantibesiktning ska göras av beställare eller 3:e part						PCE.12	Denna besiktning är minst lika viktig som slutbesiktningen för att kontrollera resultatet av renoveringen. Besiktningen ska göras efter 2-5 år medans garanti på både material och installation är giltig. Vid renovering med flexibla foder är det brukligt att kräva 5 års garantitid för både material och utförande.

Bilaga B Exempel på texter till ett ramavtal. Administrativa föreskrifter

Utdragen ur dessa Administrativa föreskrifter ansluter till AMA AF 12.

AFA ALLMÄN ORIENTERING

Arbetet enligt dessa föreskrifter avser en ramavtalsupphandling som omfattar beställarens huvudsakliga behov av renovering av självfallsledningar med flexibla foder under avtalstiden.

AFA.22 Objektets läge

Objektets läge anges vid avrop.

AFB UPPHANDLINGSFÖRESKRIFTER

AFB.14 Ersättningsform

De a'-priser som entreprenören anger i anbudets arbets- och materialkostnadslista kommer att vara de gällande ersättningsnivåerna under de inledande tjugofyra (24) avtalsmånaderna. Prissatt arbets- och materialkostnadslista gäller oavsett avropad mängd.

AFB.22 Förteckning över förfrågningsunderlag

Förfrågningsunderlaget består av följande handlingar:

- 2 Ändringar i AB 04 som är upptagna under AFC.111
- 3 Allmänna bestämmelser AB 04 (bifogas inte)
- 6 Särskilda mät- och ersättningsregler
 - .1 Objektspecifika mät- och ersättningsregler
- 7 Eventuella kompletterande föreskrifter för entreprenaden, lämnade före anbudets avgivande
- 9 Administrativa föreskrifter och tillhörande bilagor
- 10 Teknisk beskrivning
- 11 Arbets- och materialkostnadslista
- 13 Övriga handlingar:
 - .1 AMA Anläggning 17 (bifogas inte)
 - .2 Svenskt Vatten P 101, Schaktfritt byggande av markförlagda VA-ledningar av plast (bifogas inte)
 - .3 Trafikverkets tekniska krav för Arbete på väg (TRVK)
 - .4 Svenskt Vatten P 91, Anvisningar för provning i fält av allmänna avloppsledningar för självfall (bifogas inte)
 - .5 Svenskt Vatten P 93, TV-inspektion avloppsledningar i mark (bifogas ej)
 - .6 Svenskt Vatten P 103, Inspektion av avloppsbrunnar (bifogas inte)

AFB.52 Prövning av anbudsgivares lämplighet

Referensuppdrag - Teknisk förmåga och kapacitet

Anbudsgivaren ska ha dokumenterad erfarenhet, kompetens och resurser inom området. Detta verifieras genom beskrivning av minst 3 referensuppdrag utförda åt minst 3 olika beställare de senaste 3 åren. Referensuppdrag ska vara av liknande art och samma omfattning som upphandlingen avser och åtföljas av kontaktuppgifter till namngiven beställare. Referensuppdrag skall vara väldokumenterade, dvs innehålla beskrivning från början till slut, inklusive uppmätta parametrar från installation och slutbesiktningsprotokoll.

AFC ENTREPRENADFÖRESKRIFTER VID UTFÖRANDEENTREPRENAD

AFC.1 Omfattning

Entreprenaden omfattar allt för renoveringsarbetet erforderliga åtgärder såsom infodring, anslutning och iordningställande av objekten i fullt färdigt och driftdugligt skick. Detta omfattar även rengöring av ledningar, tillfällig proppning, förbipumpning av avloppsvatten samt erforderliga TV-inspektioner.

AFC.11 Kontraktshandlingar

Med ändring av AB 04 1 kap 3 § gäller:

Beställning/Avrop

Skriftliga ändringar och tillägg till ramavtalet, vilka skriftligen godkänts av båda parter

Detta ramavtal

Upphandlingsdokumenten i sin helhet

Anbudshandlingar

AFC.121 Arbetsområdets gränser

Arbetsområdets begränsningar anges vid avrop.

AFC.13 Förutsättningar

Entreprenören ska före arbetets igångsättande undersöka om erforderligt markområde för uppställnings- och upplagsplatser, tillfartsvägar etc. är disponibelt.

Krävs schakt för utförande av entreprenaden ska entreprenören redovisa detta i så god tid att beställaren har möjlighet att annullera avrop.

Alla VA-ledningar ska vara i drift under arbetet om annat inte har överenskommits.

AFC.139 Förutsättningar vid dimensionering

Beställaren anger belastningsförutsättningar eller styvhetsklass på rörfodret vid varje avrop. Entreprenören svarar för hållfasthetsdimensionering av egen produkt enligt Svenskt Vattens publikation P101.

AFC.14 Skydds och säkerhetsföreskrifter m m

För arbete i ledningar och brunnar ska Arbetarskyddsstyrelsens föreskrift AFS 1999:03 med ändring enligt AFS 2008:16 följas. Vid arbete med hårdplaster gäller AFS 2005:18 med ändring enligt AFS 2012:04.

Entreprenören är skyldig att utöver AB 04 kap 1 § 13 ta del av och efterfölja lokala brandskydds- och säkerhetsföreskrifter, som kan vara föreskrivna för arbetsområdet, liksom övriga av myndigheter och ledningsägare utfärdade föreskrifter, som är tillämpliga för entreprenaden.

Entreprenören bär ansvaret för ordning och säkerhet på samtliga upplags- och förrådsplatser, kring fordon, för trafikanordningar och avstängningar.

I entreprenörens fordon ska utrustning för personligt och allmänt skydd medföras i enlighet med ADR, avsnitt 8.1.5.

AFC.142 Skydds och säkerhetsföreskrifter vid arbete i anslutning till väg

Ansvar för arbete med skydd och säkerhet vid vägarbete framgår av TRVK Apv kapitel 5.1.

Krav på varning för vägarbete, trafikanordningar och vägmärken framgår av TRVK Apv kapitel 6.

Krav på vägledning, trafikdirigering och vägmarkering framgår av TRVK Apv kapitel 7.1 och 7.2.

Krav på varselkläder, hastighetsbegränsningar, skyddsanordningar och fordon framgår av TRVK Apv kapitel 8.

Vid alla arbeten inom eller i anslutning till vägområde gäller att:

skydds- och varningskläder motsvarande EN 471, klass 3 ska bäras

all personal som utför vägarbete ska ha kompetens som framgår under TRVK Apv kapitel 9.

AFC.28 Entreprenörens kontroll

Entreprenören ska kontrollera och redovisa fodrets rörstyvhet och mått med angivande av toleranser, E-modul-böj, spaltbredd och godstjocklek enligt PGB och YBC i Teknisk beskrivning. Provbitar tas ut i en omfattning som redovisas under YBC.

Entreprenören ska bland annat utföra och redovisa:

- Kontrollmätning av ledningarnas längd och dimension före materialbeställning
- Invändig TV-inspektion av utförd rengöring på ledning före renovering
- Invändig TV-inspektion av färdigställd ledningsrenovering
- Kontrollmätning av veck/bulor överstigande 2% av ledningsdiameter eller 6 mm
- Kontroll av fodrets anslutning och täthet genom bildfokusering från TV-inspektion.

AFC.43 Avrop

Avrop görs av Beställaren för varje enskilt objekt.

AFC.471 Garantitid för entreprenaden

Garantitiden är 5 år för entreprenörens arbetsprestation och med ändring av AB 04 kap 4 § 7 även 5 år för material och varor.

AFC.611 Ersättning för ÅTA-arbeten

Före arbetets utförande ska entreprenören anmäla till beställaren om arbetet enligt entreprenörens uppfattning anses medföra kostnader utöver avropad beställning. Sker inte sådan anmälan ska arbetet anses ingå i beställningssumman.

För varje ändring ska skriftlig överenskommelse om ändring och dess omfattning träffas före igångsättning. Alla ändrings- och tilläggsarbeten ska uppmätas gemensamt av beställaren och entreprenören och snarast verifieras av båda parterna. Entreprenören kallar till uppmätning.

Om tillämpligt à-pris saknas eller om överenskommelse om fast pris inte kan träffas ska ersättningen beräknas enligt självkostnadsprincipen i AB 04 kap 6 § 9.

Entreprenörsarvode enligt punkt 8a utgår med:

10 % i påslag på kostnader enligt punkt 1-7.

5 % i påslag på kostnader enligt punkt 1-7.

AFC.612 Ersättning för reglerbara mängder

Ersättning utgår enligt lämnade à-priser i arbets- och materialkostnadslista oavsett avropad mängd. À-priserna avser alla med arbetet förbundna kostnader inklusive räntor, administration och vinst för i kontraktets mening färdig arbetsenhet.

Kostnad för förfilm och slutbesiktningsfilm ska ingå i ersättning för arbete enligt PGB.42 i Teknisk beskrivning.

Ersättning i övrigt beräknas enligt självkostnadsprincipen i AB 04 kap 6 § 9 med de procentsatser för entreprenörsarvode som är angivna i AFC.611

AFC.713 Slutbesiktning

Slutbesiktning ska genomföras när avropat objekt i sin helhet är färdigställt.

Relationshandlingar enligt YCE.12 samt ifylld kvalitetsplan ska lämnas till beställaren senast 10 dagar före slutbesiktning. Handlingarna ska inkludera provresultat enligt YBC.349 och rörinspektion utförd enligt Svenskt Vattens publikation P93 med tillhörande protokoll. Inspektionen ska utföras med etablerad överpumpning i drift.

Med ändring av AB 04 kap 7 § 12 gäller att:

Entreprenörens samtliga kontrolldokument enligt kontrollplan och/eller föreskrifter i förfrågningsunderlaget, ska föreligga senast vid slutbesiktningen eller annan i detta angiven tidpunkt, och är en förutsättning för godkännande av entreprenaden.

Med ändring av AB 04 kap 5 § 6 och kap 7 § 11 gäller att:

Egenkontroll utgör utfästelse om avtalsenligt utförande. Fel i dokument över utförd egenkontroll jämföras med dolda fel, för vilka entreprenören svarar strikt under allmän preskriptionstid.

AFC.714 Garantibesiktning

Vid garantitidens utgång kallar beställaren till garantibesiktning.

Beställaren utför och bekostar TV-inspektion av självfallsledning, visuell kontroll i brunnar och provtagning på utvalda ledningsdelar.

AFG ALLMÄNNA ARBETEN OCH HJÄLPMEDEL

AFG.13 Tillfällig väg och plan

Entreprenören har själv att skaffa uppställningsplats för bilar och arbetsmaskiner. Läge för detta ska godkännas av såväl beställare som markägare. Uppställnings- och parkeringsplatser ska förläggas så att hinder eller störningar i trafiken undviks.

Arbetsområde samt uppställnings- och upplagsplatser ska vara avröjda och uppstädade före slutbesiktning. Uppställnings- och upplagsplatser ska vara återställda i ursprungligt skick.

AFG.14 Tillfällig el och va-försörjning

Anslutningspunkter för el- och va-försörjning anvisas av respektive ledningsägare.

Entreprenören ska utföra och bekosta anordningar för tillgång till vatten, avlopp och elkraft under byggnadstiden. Alla anslutningskostnader och förbrukningsavgifter ska ingå i anbudet.

Vatten får endast hämtas från av beställaren anvisad plats. Entreprenören ersätter uttag av vatten från det allmänna ledningsnätet, även brandposter. Uttag ska fastställas genom mätning.

AFG.311 Skydd av arbete

Arbete får inte utan betryggande skyddsåtgärder bedrivas under väder som kan orsaka skada.

Entreprenören ska:

- skydda eget färdigt arbete om det kan skadas genom förslitning under entreprenadtiden.

- proppa eller skyddstäcka egna öppna rörändar, kanaler och dylikt till skydd mot

- damm, främmande föremål eller skada.

- tillse att upplagd vara eller uppställt hjälpmedel inte hindrar tillträde till eller döljer avstängnings- och inspektionsanordning, brandpost, brandskåp, brunn, el-central, mätpunkt och dylikt.

- hålla material och verktyg inlåst eller inhägnat så att löst liggande material inte används för skadegörelse eller sabotage. Anordningar för provisorisk förbiledning, överpumpningsarrangemang etc. ska inhägnas på ett med hänsyn till riskerna betryggande sätt.

- beakta riskerna för att obehöriga skadas vid passage av eller vistelse inom arbetsområdet.

AFG.316 Tillfällig inhägnad

Entreprenören svarar för att schakter, pumpgröpar, öppnade brunnar, etc. inhägnas på ett med hänsyn till riskerna betryggande sätt och att riskfyllda vattensamlingar hålls läns även under icke arbetstid eller inhägnas.

AFG.33 Vakthållning

Öppnade brunnar får inte lämnas utan uppsikt utan ska förses med tillfälliga lock och inhägnas.

AFG.36 Begränsning av miljöstörande utsläpp

Installationsvatten och kondensvatten ska tas omhand av entreprenören.

Vid risk för lukt ska åtgärder vidtas så att boende eller verksamma i anslutning till arbetsområdet inte drabbas av obehag.

Lukt i fastigheter och dess omgivning ska förhindras under entreprenadtiden och under efterföljande dagar.

AFG.81 Länshållning

Dämning får inte ske så att risk för översvämning föreligger.

Spill- och dagvattenledningar samt öppna diken får endast efter samråd och godkännande från beställaren användas för överpumpning inom entreprenaden.

AFG.85 Återställande av mark

För områdena som disponeras för etablering m. m. gäller att de ska avsynas tillsammans med beställaren före etablering och efter arbetenas färdigställande. Anordningarna ska vara sådana att de, från estetisk, sanitär och naturvårds-synpunkt, inte verkar störande för omgivningen. Disponerade områden ska återlämnas i avstädat skick

Bilaga C Exempel på texter till ett ramavtal. Teknisk beskrivning

Denna tekniska beskrivning ansluter till AMA Anläggning 17.

B FÖRARBETEN, HJÄLPARBETEN, SANERINGSARBETEN, FLYTTNING, DEMONTERING, RIVNING, RÖJNING M M

BB FÖRARBETEN

Arbetena ska utföras på sådant sätt, att befintliga anläggningars funktion upprätthålls under byggnadstiden. Tidpunkten för eventuella överpumpningsarbeten o d ska väljas i samråd med beställaren.

Entreprenören ska efter avrop men före materialbeställning, genom besök på plats och utifrån filmdata kontrollera dimension och längdmätning samt förvissa sig om att ledningsavsnitten är åtkomliga med den utrustning han avser att använda.

BBB UTFÖRDA UNDERSÖKNINGAR O D

BBB.11 Topografiska förhållanden

Befintliga marknivåer redovisas på ritning av beställaren vid avrop.

BBB.13 Geotekniska förhållanden

Geotekniska och rörgravsförhållande redovisas av beställaren vid avrop

BBB.14 Hydrogeologiska förhållanden

Grundvattennivåer redovisas av beställaren vid avrop

BBB.32 Befintliga ledningar, kablar m m

Planritning med befintliga VA-ledningar och brunnar tillhandahålls av beställaren vid avrop.

Filmer och protokoll från genomförd rörinspektion redovisas vid avrop.

BBC UNDERSÖKNINGAR O D

Om schakter, tillfälliga vägar, etableringsplatser etc. erfordras för entreprenadens genomförande ska antal och läge anges minst 3 veckor före etablering.

BBC.11 Avvägning, pejling, deformationsmätning m m

Där rörbrott, ovalitet och deformation på ledning uppskattas överstiga 8 %, ska detta dokumenteras genom deformationsmätning. Åtgärd ska samrådats med beställaren.

BBC.3 Undersökningar av anläggningar m m

Utseendet på nedstigningsbrunnar kan vara av den art att det försvårar installationsarbetet. Entreprenören undersöker åtkomligheten i de brunnar som ska användas före etablering. Rätt verktyg ska användas vid brunnsöppning.

Entreprenören ska upplysa beställaren om förekommande fel på övriga anordningar som observeras i anslutning till det egna arbetet.

BBC.32 Undersökningar av ledningar, kablar m m

Entreprenören ska kontrollera dimension och längdmätning på avropade ledningssträckor före materialbeställning. Denna kontroll ska vara inkalkylerad i meterpris under PGB.42.

Objekt där redovisad rörinspektion ej är tillförlitlig, kan komma att omfilm-
as av beställaren eller avropas som tillägg till entreprenaden. Protokoll
upprättas och rörinspektion utförs i enlighet med PCE.12.

Om osäkerhet finns kring dimensionsförändringar på ledningssträcka ska
entreprenören genom lasermätning eller annan metod kontrollera dimen-
sion och dimensionsövergångar före materialbeställning.

Den inspektion som erfordras vid bortfräsning av instickande serviser i
huvudledning, ska ingå i PCF.21223.

All förfilmning vid installation (kontroll av rengöringsgrad) ska vara inkal-
kylerad i meterpris under PGB.42.

Överpumpning och slamsugning kan krävas för nedhållning av vattennivån
under inspektionstillfälle vilket regleras under BCB.812 respektive PCF.2121.

BC HJÄLPARBETEN, TILLFÄLLIGA ANORDNINGAR OCH ÅTGÄRDER MM
Samtliga åtgärder i koder underordnade BC ska ske i samråd med beställaren.

BCB HJÄLPARBETEN i ANLÄGGNING

Där flyttning av trafikplanering, ledningsstolpe, kabel, ledning, etc krävs
för fullgörande av entreprenaden ska entreprenören låta utföra och bekosta
detta. Sådant arbete regleras under AFC.611.

BCB.14 Tillfällig avledning av vatten från byggproduktion

Installationsvatten och kondensvatten ska tas omhand av entreprenören.

Vatten som uppkommer vid installation och som innehåller andra ämnen
än de från hushållsavlopp får inte släppas till spill- eller dagvattenledning
och inte heller släppas ut i mark eller till vattendrag.

BCB.2 Tillfälliga åtgärder på angränsande byggnad eller anläggning

Entreprenören ska vidta de åtgärder som är nödvändiga för att skydda när-
belägna byggnader och anläggningar mot skador.

Byggnadsdel som löper risk att skadas av utrustning, material eller entre-
prenad-maskin ska skyddas.

BCB.3 Tillfälliga åtgärder för skydd m m av ledning och kabel

Ungefärliga lägen av befintliga va-ledningar redovisas på ritning vid avrop.
Ytterligare ledningar och kablar kan finnas inom arbetsområdet.

Befintliga ledningar och kablar ska skyddas. Kablar, som berörs av arbetena,
ska friläggas för hand och upphängas eller tillfälligt flyttas samt skyddas.

Vid anslutning till befintliga VA-ledningar ska samråd ske med beställarens
driftsenhet. Befintliga VA-ledningar ska vara i drift under entreprenadtiden.

BCB.4 Tillfälliga skydd av mark, vegetation, mätpunkt, gränsmarkering m m
All vegetation ska skyddas så att bestående skador inte uppkommer. Träd som löper risk att skadas av entreprenadmaskiner ska skyddas genom inbrädning. Naturmark ska skyddas och fordon får inte framföras så att markskador uppkommer.

Entreprenören ska vidta de åtgärder som är nödvändiga för att skydda närbelägna polygon- och fixpunkter mot skador. Skada ska utan dröjsmål anmälas till beställaren.

Alla öppna schaktgropar ska vara skyddsinhägade under hela entreprenadtiden. Brunnar får inte lämnas utan täckning när arbetsområdet är obemannat.

BCB.7 Åtgärd för allmän trafik
Före arbetenas igångsättning ska entreprenören upprätta plan över trafikens framförande under entreprenadtiden.

Vägar, infarter till befintliga fastigheter och parkeringsplatser ska hållas öppna under hela byggnadstiden.

Entreprenören ska i samråd med beställaren, senast 3 dagar före igångsättning, meddela renhållning, trafikbolag, polismyndighet och räddningstjänst om tidpunkt för arbetenas påbörjande och eventuella inskränkningar i framkomligheten.

BCB.71 Åtgärd för vägtrafik
Åtgärd för vägtrafik ska uppfylla krav enligt AFC.142 (se Exempel AF).

Trafikanordningsplan avropas separat och ska inlämnas till väghållaren och till representant för beställaren för godkännande. TA-plan ska vara godkänd minst 10 dagar före arbetets påbörjande.

BCB.713 Tillfällig vägtrafikanordning
Uppställning av fordon, arbetsmaskiner, upplag mm ska ske, och arbetet så bedrivs, att trafiken till och från berörda fastigheter och angöringsplatser kan ske under godtagbara former. Befintliga enskilda vägar får inte utnyttjas för transporter utan fastighetsägares eller vägförenings skriftliga tillstånd.

Arbetena ska bedrivs enligt godkänd trafikanordningsplan. Vägarna ska under hela arbetstiden kunna trafikeras. Gående ska på ett säkert sätt kunna nå varje fastighet. Samråd ska ske med beställaren.

Efter avrop svarar entreprenören för erforderlig trafik- och hänvisningsskyltning i enlighet med godkänd trafikanordningsplan samt ombesörjer erforderliga etableringstillstånd. Samråd ska ske med beställaren.

Av entreprenören utförd trafikanordning regleras enligt självkostnadsprincipen, se AFC.611. Samråd ska ske med beställaren.

Trafikanordningar ska utföras enligt Trafikverkets tekniska krav för Arbeta på väg, TRVK Apv kapitel 6, med underliggande avsnitt. Ansvarig personal för upprättande av TA-plan och utförande av trafikanordningar och skyltning ska ha kompetens enligt TRVR Apv nivå 3.

BCB.717 Tillfällig skyddsanordning

Entreprenören anordnar tillfälliga skyddsanordningar enligt väghållarens regler för säkerhet vid vägarbete och transporter.

BCB.812 Tillfälliga anordningar för avlopp

Entreprenören upprättar plan för förbipumpning av avloppsvatten. Plan redovisas för beställaren som ska godkänna denna före det att arbete påbörjas. Dämning får inte ske så att risk för översvämningar föreligger.

Används vatten i installationsprocessen får detta inte släppas till ledningssystem, mark eller vattendrag. Sådant vatten ska tas om hand av entreprenören och bortforslas på entreprenörens bekostnad.

All proppning samt förbi- och överpumpning upp till 40 l/s ska vara inkalkylerad i ersättning under PGB.42. Överpumpning ska klara uppfodringshöjder på upp till 10 meter.

Överpumpningar som kräver slangkorsningar av gator och vägar ska arrangeras med hänsyn till trafik och godkänd trafikanordningsplan.

Entreprenören ska förvissa sig om att kapaciteten på ledningar tillåter överpumpad mängd vatten, samt bevaka anslutna anläggningar för att förhindra att skada uppkommer på grund av uppdämning.

BEC DEMONTERING

BEC.1112 Demontering av rörledning m m i väg, plan o d

Entreprenören demonterar instickande rör och anordningar i brunn så att utrustning och renoveringsmaterial är installerbart genom brunn.

Demonterade rör och delar ska återställas i ursprungligt skick.

Arbete regleras under AFC.611.

BED RIVNING

BED.1112 Rivning av del av rörledning

Entreprenören river efter samråd med beställaren befintliga rör och stegjärn i brunn i den omfattning som krävs för att utrustning och renoveringsmaterial skall kunna installeras.

Arbete regleras under AFC.611.

C TERRASSERING, PÅLNING, MARKFÖRSTÄRKNING, LAGER I MARK M M

Krävs schakt för utförande av entreprenaden ska entreprenören ha redovisat detta till beställaren vid avrop. Beställaren avgör om schakt kan tillåtas och vem som ska utföra den. Övertäckta brunnar friläggs av Beställaren.

CFC AVLÄMNANDE AV MASSOR ELLER AVFALL

CFC.3 Avlämnande av avfall till avfallsanläggning

Vid bortforsling och tippning av skräp och avfall ska kontakt tas med beställaren.

Restprodukter ska vara källsorterade.

Entreprenören står för bortforsling och samtliga kostnader för omhändertagande av eget avfall.

Om förorenade massor påträffas och/eller om farligt avfall uppkommer ska samråd omgående ske med beställaren.

Beställaren bekostar eventuella tippavgifter vid avlämning av rivningsmaterial som exempelvis slam, rör och rördelar.

Kostnader regleras enligt självkostnadsprincipen, AFC.611.

D MARKÖVERBYGGNADER, ANLÄGGNINGSKOMPLETTERINGAR M M

DGB ÅTERSTÄLLNINGSPÅRBEJÄTTNING I MARK

Av beställaren utförda schakter återställs av beställaren.

I övrigt av arbetet berörd mark avstädas och återställs av entreprenören till så nära ursprungligt skick som möjligt.

DGB.64 Återställande av fundament, stolpar, skyltar m m

Entreprenören återställer brunnar och anordningar samt skydd och markeringar för ledningar. Ramar ska rengöras innan brunnslock återläggs. Gummipackningar ska återmonteras och tillfälliga anordningar ska avlägsnas.

P APPARATER, LEDNINGAR M M I RÖRSYSTEM ELLER RÖRLEDNINGSNÄT

PC ANSLUTNINGAR, FÖRANKRINGAR, KORROSIONSSKYDDSBEHANDLINGAR, PROVNINGAR M M PÅ RÖRLEDNINGAR I ANLÄGGNING

Foder ska anslutas till befintliga brunnar/ledningar på ett sådant sätt att kanter eller bulor inte uppkommer i brunnen.

Tätning och anslutning av installerat foder till befintlig brunn/ledning ingår i entreprenaden.

PCB ANSLUTNINGAR AV RÖRLEDNING TILL RÖRLEDNING M M

PCB.123 Anslutning med uppfräsning, anslutningsfoder e d av självfallsledning inifrån ledning

Återanslutning av serviser ska ske schaktfritt. Öppnad servis ska slipas så att installerat foder är fritt från kanter eller taggar som kan hindra flödet i servisen eller huvudledningen.

Observera att befintlig anslutning inte får komma till skada vid servisöppning. Felfräsning som skadat befintligt plastmaterial eller nytt ledningsmaterial lagas med punktreparation på entreprenörens bekostnad.

Bitar av foder och rör får inte kvarlämnas i servis eller huvudledning.

Öppning av servisanslutning ska bekräftas av beställaren före åtgärd.

Om montering av anslutningsfoder ("hatt") ingår i entreprenaden ska den utföras så att en tät anslutning utan veck erhålls enligt krav som redovisas under PGB.42.

PCE INSPEKTION AV RÖRLEDNINGAR I ANLÄGGNING

PCE.12 Inre inspektion av självfallsledning

Inspektion utförs och dokumenteras enligt Svenskt Vattens Publikation P93, "TV-inspektion av avloppsledningar i mark".

Personalkompetens:

Arbetet ska utföras och redovisas av operatörsutbildad personal med VA-teknisk kompetens. Utbildningen ska motsvara STVF:s kurs för auktoriserad rörinspektör. Personalen ska dessutom ha genomgått erforderlig utbildning för arbete på väg.

Utrustning:

Vid inspektion utförd från brunn ska utrustning bestå av färgkamera med variabel fokusering och ett kamerahuvud med vridbarhet på 900 i sidled och 3600 rotation, så att detaljer och anslutningar kan kontrolleras. Kameran ska vara rätt orienterad och centrerad i ledningen. Utrustningen ska vara försedd eller kompletterad med enhet för mätning och redovisning av ledningens profil. Längd och profilmättnings-utrustning ska vara kalibrerade enligt instrumentleverantörens anvisningar.

Vid inspektion utförd från rörledning med s k satellitkamera ska utrustning bestå av färgkamera med gyrostabiliserat kamerahuvud. Utrustningen ska vara försedd med eller kompletterad med enhet för längdmätning.

Utförande:

Överpumpning och slamsugning kan krävas för nedhållning av vattennivån under inspektionstillfälle.

Innan infodring ska entreprenören utföra rörinspektion som visar att ledningen är väl rengjord (rötter, främmande föremål och hinder ska vara borttagna). Inspektionen genomförs med en högsta vattennivå av 20 % i ledningen. Inspektionen ska sparas under hela garantitiden.

Efter färdigställd renovering ska entreprenören utföra slutbesiktningsfilmning. Vattennivån ska i det närmaste vara obefintlig och får ej överstiga 10 % av ledningsdiametern.

Slutbesiktningsfilm ska redovisa fodrets anslutning till brunnar och serviser. Skador och fel på renoveringsprodukt samt anslutningar till brunnar och serviser ska detaljstuderas. Slutbesiktningsfilm ska sparas under hela garantitiden.

Garantibesiktningsfilmning utförs av tredje part på uppdrag av beställaren.

Rörinspektionerna ska redovisas så att en jämförelse med lätthet kan göras mellan förfilm och besiktningsfilmer.

Dokumentation:

Entreprenören ska tillhandahålla USB med tillhörande protokoll och kostnadsfri programvara samt en sammanställning av inspekterade och renoverade sträckor. Av materialet ska framgå orsaken till eventuella förändringar i förhållande till förfrågningsunderlaget.

Rörinspektion dokumenteras digitalt med rapportfiler i TV3-format och överlämnas till beställaren minst 10 dagar före slutbesiktning. Dokumentation ska vara kompatibel med beställarens VA-databas.

Resultat från profilmätning redovisas grafiskt med höjd- och längdskala.

Allt dokumentationsmaterial i form av protokoll, ritningar, foton, datafiler med digital information blir beställarens egendom.

Kostnadsreglering:

Kostnad för kontroll, förfilm och slutbesiktningsfilm ska ingå i ersättning under PGB.42.

Vid ej godkänd slutbesiktningsfilm kommer beställaren att utföra omfilmning på entreprenörens bekostnad. Kontrollant ska erbjudas möjlighet att närvara vid besiktningsfilmning.

Vid förekomst av ovalitet, veck och bulor ska rörinspektion kompletteras med lasermätning eller annan metod för dokumentering av fel. Överstiger de dokumenterade felen 2 % av ledningsdiametern eller 6 mm, bekostar entreprenören denna kontrollmätning. I övriga fall bekostar beställaren mätningen.

PCE.21 Yttre inspektion av ledning i mark

Entreprenören ska genomföra en okulär kontroll av ledningens längd och dimension före materialbeställning, samt kontrollera att det överensstämmer med erhållet ritningsunderlag och genomförd rörinspektion. Entreprenören kontrollerar även att föreslagna brunnar är åtkomliga och användbara för föreslagen renoveringsteknik.

Entreprenörens kontroll och undersökning ska ingå i ersättning under PGB.42.

PCF RENGÖRING ELLER RENSNING AV HINDER E D I RÖRLEDNINGAR I ANLÄGGNING

PCF.2 Rengöring av självfallsledning

PCF.2121 Rengöring av avloppsledning genom spolning

Rengöring med högtrycksspolning och slamsugning i erforderlig omfattning för ledningsarbetets utförande, utförs i direkt anslutning till inspektion och renovering.

Kemiska preparat får inte användas.

Vattenuttag från brandpost ska i förväg godkännas av beställaren.

Kapaciteten i högtrycksspoldel ska minst ge 340 l/min vid ett tryck av 165 bar. Högtrycksspolning ska ske med försiktighet där betongens ballast är frilagd på grund av anfrätning eller där anslutna VA-armaturer kan översvämmas.

Rensprodukter får inte överföras till annan ledningsdel utan ska avlägsnas och omhändertas. Avfall ifrån rengöring av ledning regleras under AFC.611.

Brunn ska rengöras i den omfattning som krävs för att renovering ska kunna genomföras på avsett sätt.

Efter utförd renovering ska ledning rengöras från lösa foderbitar.

Överblivet tätningsmaterial vid brunn skall avlägsnas.

Entreprenören svarar för och bekostar bortforsling av eget avfall.

PCF.21221 Rotskärning i avloppsledning

Rötter, utfällningar, påbyggnader och fasta avlagringar i ledning ska avlägsnas. Mekanisk rensning ska ske med försiktighet och kontrolleras med rörinspektion.

PCF.21223 Kapning av instickande röranslutning i avloppsledning

I ledning instickande delar av serviser i betong, lergods, termoplast eller hårdplast, som är till hinder för rörinspektion och renovering ska avlägsnas med fräsrobot utan uppgrävning. Rivningsmaterial tas om hand av entreprenören och fraktas till tipp. Tippavgifter regleras under AFC.611.

PG RENOVERING AV RÖRLEDNINGAR MM I ANLÄGGNING

PGB RENOVERING AV RÖRLEDNINGAR

PGB.4 Renovering av rörledning med flexibelt foder

Entreprenören ska vid kalkylering av avropat objekt och före det att etablering sker, genom besök på plats, förvissa sig om att ledningsavsnitten är åtkomliga med den utrustning han avser att använda. Utifrån underlag från filmdata ska entreprenören kontrollera att renovering med i anbud föreslagen metod är genomförbar.

PGB.42 Renovering av ledning med flexibelt foder för självfallsledning

Förutsättningar

Material, anordningar och fel på avropade ledningssträckor är dokumenterade med rörinspektion enligt Svenskt Vatten P93. Ledningsfilmer överlämnas vid avrop.

Ytterligare förutsättningar anges även vid varje avrop.

Generella krav

Renovering ska utföras med flexibelt foder.

Entreprenören ska kontrollmäta befintliga ledningars längd före materialbeställning.

Entreprenören ska kontrollmäta befintliga ledningars dimension i alla brunnar på ledningssträcka före materialbeställning.

Om osäkerhet finns kring dimensionsförändringar på ledningssträcka, ska entreprenören även kontrollmäta dimension och dimensionsövergångar före materialbeställning.

Vid rörbrott, ovalitet och deformationer på ledning som överstiger 8 % ska detta dokumenteras med lasermätning eller liknande metod och åtgärd ska samrådask med beställaren.

Används vatten i installationsprocessen får detta inte släppas till ledningssystem, mark eller vattendrag. Sådant vatten ska tas om hand av entreprenören och bortforslas på entreprenörens bekostnad. Kvittens på frakt och mottagande av förorenat vatten ska redovisas till beställaren.

Foder ska anslutas till befintliga ledningar och brunnar på ett sådant sätt att kanter eller bulor inte uppkommer. Övergång mellan befintlig och renoverad ledning ska utföras så, att en mjuk och tät övergång erhålls. Vid brunnar ska tätning utföras mellan foder och befintlig ledning.

Fodret ska utmed hela dess renoveringslängd ansluta väl till befintlig lednings rörvägg. Spaltbredd mellan foder befintligt rör får ej överstiga 0,5% av rördiameter.

Foder får inte veckas eller vridas. Veck och bulor får inte vara större än 2 % av ledningens nominella diameter eller maximalt 6 mm.

Vid befintliga ledningsavvikelser i plan och profil där entreprenören i förväg meddelat att veck kan uppkomma i fodret, accepteras veck upp till 5 % av ledningens nominella diameter under förutsättning att beställaren godkänt detta.

Material

Fodret ska uppfylla kraven i EN ISO 11296-4.

Entreprenören ska redovisa säkerhetsdatablad på ingående material i foder-konstruktionen för använd hårdplast, materialbärare och skyddsfolier.

Entreprenören skall redovisa datablad innehållande nominella godstjocklekar, (med och utan liners) samt nominell E-modul-böj och ringstyvhets, samt hur dessa egenskaper är uppmätta. Det ska även framgå vilken typ av härdningsprocess som används.

För uppfyllande av långtidsegenskaper (50 år) ska foderleverantören uppvisa provningsrapport för det aktuella materialet i fuktig miljö (inte äldre än 36 månader och utfärdat av ett oberoende testinstitut).

Dimensionering

Beställaren anger styvhetsklass eller belastningsförutsättningar vid avrop.

Entreprenören dimensionerar utförandet enligt Svenskt Vatten publikation P101 med en säkerhetsfaktor 2. Fodret dimensioneras för belastningsfall B om inget annat anges vid avrop och grundvattenytan sätts till marknivån om inget annat är angivet. Läggningsdjup framgår av VA-karta där ledningarnas vattengång samt mark- och gatunivåer är redovisade.

Långtidsrörstyvhetsen ska vara beräknad utifrån E-modulvärdet vid böjning och får inte understiga 2 kN/m^2 (50 årsvärde). Styvhetsklassen ska garantera att fodret är självbärande efter 50 år. Beställaren förbehåller sig rätten att välja annan rörstyvhets än vad som krävs för belastningsfall B.

Fodrets godstjocklek får inte någonstans inom rörtvärnsnittet understiga 3 mm.

Installation

Entreprenören har konstruktionsansvaret för det flexibla fodret. Konstruktions-beräkningar ska redovisas till Beställaren innan installation påbörjas och finnas med i dokumentation enligt YCE.12.

Entreprenören rengör ledningen med för renoveringsmetoden lämpligt utförande. Rengöring utförs i direkt anslutning till renoveringen.

Innan infodring ska entreprenören utföra rörinspektion som visar att ledningen är väl rengjord från sediment, stenar, påbyggnader och utfällningar, m.m. Rötter, främmande föremål och instickande serviser ska vara borttagna.

Avkapade och bortfrästa delar av foder ska omhändertas av entreprenören
Installerat foder kan utföras genomgående i brunn efter överenskommelse
med beställaren.

Störande doft av styren ska begränsas. Närboende ska informeras om att lukt
från avlopp och installationsprocess kan uppkomma under entreprenadtiden.

Entreprenören ska följa egen kontrollplan för utförandet och dokumentera
installationsprocessen enligt YCQ.

Vid värmehärdande foder skall kontinuerlig temperaturmätning ske utmed
fodret.

Schaktfri renovering av servisanslutning

Som servisledning räknas självfallsledning i dimension 100-160 mm, där
ändpunkt ej är ansluten till nedstigningsbrunn.

Vid avrop av schaktfri servisanslutning från huvudledning ska en tät anslut-
ning mellan huvudledning och servisledning utföras. Vid montering av ”hatt”
ska den ha en längd av minst 0,3 m och övergång till befintlig servisledning
ska vara slät. Veck större än 5% av ledningsdiametern får ej förekomma i
anslutningspunkt.

Kostnadsreglering

Pris per dimension och rörklass anges i arbets- och materialkostnadslista.

Sträckor avropade vid samma tillfälle ska räknas som en etablering oav-
sett var de ligger inom angivet område. Som huvudledning räknas sam-
lingsledning som är ansluten till nedstigningsbrunn i båda ändpunkterna.
Renovering av huvudledning mellan 2 nedstigningsbrunnar motsvarar en
ledningssträcka vid kostnadsreglering.

Y MÄRKNING, KONTROLL, DOKUMENTATION M M

YBC KONTROLL AV ANLÄGGNING

YBC.34 Kontroll av avloppsledning

Kontroll ska utföras enligt AFC.28 (se Exempel AF) och enligt följande:

Rörinspektion av installerat foder ska utföras enligt P93 efter öppning av
anslutningar. Anslutningar till serviser och brunnar ska detaljstuderas.

Vid rörinspektion efter renovering ska kontroll visa att inga kvarlämnade
bitar av foder finns i ledning och att fodret ansluter väl till befintliga ledningar
och brunnar på ett sådant sätt att kanter inte uppkommit.

YBC.3412 Täthetskontroll av självfallsledning

Eftersom serviser måste kopplas in och ledning åter tas i drift, kan täthetskon-
troll i regel inte ske med vatten, enligt de krav som ställs i Svenskt Vatten P91.

Täthetskontroll sker istället genom granskning av besiktningsfilmer (slutbe-
siktning och garantibesiktning). Täthet vid anslutning till brunnar kontrolleras
visuellt och med bladmått. Spaltbredd får ej överstiga 0,5% av rördiametern.
Otätheter genom fodervägg eller i anslutning mot brunn får inte förekomma.

YBC.342 Deformationskontroll av avloppsledning

Om deformationer, veck eller bulor konstateras på fodret vid besiktningsfilmning ska deformationskontroll genomföras. Kontroll sker genom lasermätning, se PCE.12.

Deformationer, veck eller bulor större än 2 % av ledningsdiametern eller 6 mm, får inte förekomma på fodret.

YBC.349 Uttag av provbit för flexibelt foder

Provbit av installerat foder ska tas i genomgående brunn enligt EN ISO 11296-4, avsnitt 8.8. Saknas brunn med genomgående foder tas provbit i slutbrunn. Före det att provbit tas ska Beställare eller av denne utsedd kontrollant godkänna läget.

Provbitar ska tas ut i minst följande omfattning:

1 installerat foder - 1 provbit

2-10 installerade foder - 2 provbitar och om möjligt med olika dimension

>10 installerade foder - 20 % av antalet och om möjligt med olika dimensioner.

Uttagna provbitar ska provas av ackrediterat laboratorium med avseende på godstjocklek enligt EN ISO 11296-4 och ringstyvhet enligt ISO 7685. Provresultat ska minst motsvara angivna krav på godstjocklek respektive långtidsrörstyvhet. Långtidsrörstyvheten erhålls genom uträkning från den uppmätta korttidsringstyvheten och för produkten framtagna krypmodul.

När uttag av provbit som hel ring ej är tillämpligt, exempelvis vid dimensioner över 600 mm, kan trepunktsböj enligt Annex B i EN ISO 11296-4 istället utföras. Man får då ett indirekt mått på rörets ringstyvhet (skenbar ringstyvhet), samt endast godstjockleksmätningar från ett segment av röret.

Halten reststyren i det uthärdade fodret bestäms enligt ISO 4901 och får som högst vara 2%.

Alla provningsresultat ska överlämnas till beställaren senast 10 dagar före slutbesiktning.

YC ANMÄLNINGS- OCH ANSÖKNINGSHANDLINGAR, TEKNISK DOKUMENTATION M M FÖR ANLÄGGNING**YCE UNDERLAG FÖR RELATIONSHANDLINGAR FÖR ANLÄGGNING**

Fullt färdiga och av ansvarig arbetsledare signerade underlag för relations-handlingar ska överlämnas till beställaren senast 10 dagar före slutbesiktning.

YCE.12 Underlag för relationshandlingar för rörledningssystem

Allt relationsmaterial som berör nya och förändrade lägen på ledningar och anordningar ska redovisas enligt angivna knutpunktsbeteckningar.

Underlag för relationshandlingar ska bl a innehålla nedanstående uppgifter och vara så utformat att det kan utgöra underlag för beställarens upprättande av ledningskartor. Dokumentationen ska vara kompatibel med beställarens VA-databas och i samma dataformat som erhållet kartunderlag.

Entreprenören ska redovisa följande uppgifter för uppdatering av VA-ritning:

- typ av befintlig ledning
- befintlig dimension (diameter i mm)
- materialslag i befintlig ledning
- typ av renoveringsmaterial
- ny ledningsdimension (Di) i mm
- godstjocklek i mm
- rörstyvhet (långtid)
- läge på anslutna ledningar/serviser
- läge på proppade ledningar/serviser
- läge på brunn som inte finns redovisad på va-plan
- läge på brunn som inte öppnats
- avvikelser från uppgifter som framgår av tillhandahållna ritningar.

Entreprenören ska dessutom redovisa följande uppgifter:

- resultat från samtliga kontroller under YBC.34, inkl. var provbit tagits
- konstruktionsberäkningar
- digitalt dokumenterad rörinspektion utförd före och efter renovering enligt PCE.12 och kompletterade med digitala protokoll

Entreprenören ska på begäran kunna redovisa följande uppgifter:

- härdningstid inklusive uteffekt, hastighet på ljuståg och uppnådda temperaturer. (vilka parametrar som bör mätas beror på härdningsmetod och ledningssträckans egenskaper (t.ex grundvatten eller svackor).
 - fodrets elasticitetsmodul (korttidsvärde)
 - total godstjocklek efter uthärdning inklusive tjocklek på eventuella liners
 - tillverkare och produkttyp/produktnamn på fodret, inklusive säkerhetsdatablad
 - fodrets tillverkningsdatum och sista användningsdatum
 - installationsdatum och installationsenhet
 - transporter och lagringsförhållanden/lagringstid
- produktions-, serie- eller batchnummer på fodret (för spårbarhet).

YCQ KONTROLLPLANER FÖR ANLÄGGNING

YCQ.1121 Kontrollplaner för rörledningar i ledningsnät m m

Efter avrop redovisar entreprenören en objektsanpassad kvalitetsplan över den kvalitetssäkring och egenkontroll som ska tillämpas. Kvalitetsplanen ska minst omfatta:

- Organisationsplan för entreprenaden inklusive telefonlista

-
- Tidplan
 - Rutiner vid fel på material och utförande (avvikelse rapporter)
 - Egenkontroll utifrån ett kontrollprogram som omfattar:
 - kontroll av tillfälliga trafikanordningar enligt TA-plan
 - kontroll av materialspecifikation
 - kontroll av dimensioneringsberäkningar
 - kontroll av att befintliga ledningar är åtkomliga för renovering
 - kontroll av längd, invändig dimension och dimensionsförändring på befintlig ledning samt dimension på föreslagna installationsbrunnar
 - kontroll av att beläggningar, rötter, sediment och andra hinder har avlägsnats
 - kontroll av att ledning har rengjorts
 - kontroll av att flexibelt foder inklusive installationsutrustning ej är skadat
 - kontroll av dämningssnivå i huvudledning och servisledning under renovering
 - kontroll av att rätt servisanslutning har öppnats
 - kontroll av härdningsförlopp med parametrar som beror av härdningssätt (hastighet, tryck och kontinuerlig temperatur utmed foder inkl. erhållen uthärdningsgrad, se exempel i funktionskravmatrisen i Annex A för kod YCQ.1121).
 - kontroll av uppnådd E-modul och godstjocklek

Entreprenören ska upprätta miljöplan och plan för hantering av avfall samt redovisa specifika miljöpåverkande aktiviteter. Miljöplan ska vara godkänd av beställaren före igångsättning av entreprenaden och minst redovisa:

Val av arbetsmetodik och material

- Materialhantering
- Avfallshantering
- Kemikaliehantering
- Riskhantering

Entreprenören ska vidarebefordra och avkräva eventuella underentreprenörer och leverantörer samma kvalitets- och miljökrav. Kvalitets- och miljöplan ska vara godkänd av beställaren före igångsättning av entreprenaden.

Kvalitetssäkring och kontroll ska ske kontinuerligt enligt kvalitetsplanen och dokumenteras i checklistor, med digitala fotografier där så är lämpligt. Checklistan ska fyllas i kontinuerligt och utfört arbete ska signeras av den som utfört det. Material ska kunna överlämnas till beställaren på beställarens anfordran.

Bilaga D Exempel på texter till ett ramavtal. Å-prislista

Fiktiv mängd måste anpassas av beställarens till dennes ledningsnät.

Kod	Text	Enhet	Fiktiv mängd	å-pris (kr)	Belopp (kr)
Denna å-prislista ansluter till handling 10 Teknisk beskrivning men inte till MER Anläggning 17.					
B	FÖRARBETEN, HJÄLPARBETEN, SANERINGSARBETEN, FLYTTNING, DEMONTERING, RIVNING, RÖJNING M M				
BBC.11	Avvägning, pejling, deformationsmätning m m				
	Deformationsmätning	m	x		0
BBC.32	Undersökningar av ledningar				
	Arbete ingår i ersättningar under PGB.42, PCE.12 och PCF.21223.	-	-	-	-
BCB.14	Tillfällig avledning av vatten från byggproduktion				
	Arbete ingår i ersättning under PGB.42.	-	-	-	-
BCB.2	Tillfälliga åtgärder på angränsande byggnad eller anläggning				
	Reglering sker enligt självkostnadsprincipen, AFC.611.				
BCB.3	Tillfälliga åtgärder för skydd m m av ledning och kabel				
	Reglering sker enligt självkostnadsprincipen, AFC.611.				
BCB.4	Tillfälliga skydd av mark, vegetation, mätpunkt, gränsmarkering m m				
	Reglering sker enligt självkostnadsprincipen, AFC.611.				
BCB.71	Åtgärd för vägtrafik				
	Upprättande av TA-plan	st	x		0
BCB.713	Tillfällig vägtrafikanordning				
	Reglering sker enligt självkostnadsprincipen, AFC.611.				
BCB.717	Tillfällig skyddsanordning				
	Reglering sker enligt självkostnadsprincipen, AFC.611.				

Kod	Text	Enhet	Fiktiv mängd	å-pris (kr)	Belopp (kr)
BCB.812	Tillfälliga anordningar för avlopp				
	Överpumpning inkl. etablering, proppning, utrustning och tillsyn vid flöden ≤ 40 l/s ingår i ersättning under PGB.42.				
	Överpumpning inkl. etablering, proppning, utrustning och tillsyn vid flöden 40-60 l/s, uppfodringshöjd < 10 m	dygn	x		0
	Överpumpning inkl. etablering, proppning, utrustning och tillsyn vid flöden 60-100 l/s, uppfodringshöjd < 10 m	dygn	x		0
BEC.1112	Demontering av rörledning m m i väg, plan o d				
	Reglering sker enligt självkostnadsprincipen, AFC.611.				
BED.1112	Rivning av del av rörledning				
	Reglering sker enligt självkostnadsprincipen, AFC.611.				
C	TERRASSERING, PÅLNING, MARKFÖRSTÄRKNING, LAGER I MARK M M				
CFC.3	Avlämnande av avfall till avfallsanläggning				
	Reglering sker enligt självkostnadsprincipen, AFC.611.				
D	MARKÖVERBYGGNADER, ANLÄGGNINGSKOMPLETTERINGAR M M				
DGB.64	Återställande av fundament, stolpar, skyltar m m				
	Arbete ingår i ersättning under PGB.42.	-	-	-	-

Kod	Text	Enhet	Fiktiv mängd	å-pris (kr)	Belopp (kr)
P	APPARATER, LEDNINGAR M M I RÖRSYSTEM ELLER RÖRLEDNINGSNÄT				
PCB.123	Anslutning med uppfräsning, anslutningsfoder e d av självfallsledning inifrån ledning				
	Etablering av fräsverktyg per avrop (inklusive användning inom PCB.21223)	st	x		0
	Servisöppning (100-110 mm) i huvudledning med dimension 150-200 mm	st	x		0
	Servisöppning (100-160 mm) i huvudledning med dimension >200-500 mm	st	x		0
PCE.12	Inre inspektion av självfallsledning				
	TV-inspektion av servisledning i dimension 100-160 mm	tim	x		0
	TV-inspektion av huvudledning i dimension 200-500 mm	tim	x		0
	Kostnad för förfimning och slutbesiktning ingår i ersättning under PGB.42.				
PCE.21	Yttre inspektion av ledning i mark				
	Arbete ingår i ersättning under PGB.42.	-	-	-	-
PCF.2121	Rengöring av avloppsledning genom spolning				
	Högtrycksspolning av servisledning i dimension 100-160 mm	tim			0
	Högtrycksspolning av huvudledning i dimension 200-500 mm	tim			0
	Tillägg för högtrycksspolning med kombibil med vattenåtervinning	tim			0
PCF.21221	Rotskärning i avloppsledning				
	Mekanisk rensning/rotskärning i befintlig ledning med dimension 100-200 mm	tim			0
	Mekanisk rensning/rotskärning i befintlig ledning med dimension >200-500 mm	tim			0
PCF.21223	Kapning av instickande röranslutning i avloppsledning				
	Bortfräsning i ledning med dimension 150-200 mm	st			0
	Bortfräsning i ledning med dimension >200-500 mm	st			0

Kod	Text	Enhet	Fiktiv mängd	å-pris (kr)	Belopp (kr)
PGB.42	Renovering av ledning med flexibelt foder för självfallsledning				
	Renovering av huvudledning				
	Etableringskostnad för renoveringsenhet per avrop när beställaren väljer tidpunkt.	st			0
	Etableringskostnad för renoveringsenhet per avrop när entreprenören väljer tidpunkt.	st			0
	Startkostnad per renoveringssträcka vid längd ≤ 19 meter	st			0
	Startkostnad per renoveringssträcka vid längd 20 - 49 meter	st			0
	Startkostnad per renoveringssträcka vid längd 50 - 99 meter	st			0
	Startkostnad per renoveringssträcka vid längd 100 - 199 meter	st			0
	Startkostnad per renoveringssträcka vid längd > 200 meter	st			0
	Renovering med flexibelt foder med långtidsrörstyhet 2 kN/m ²				
	Renovering av ledning med dimension 150 mm	m			0
	Renovering av ledning med dimension 225 mm	m			0
	Renovering av ledning med dimension 300 mm	m			0
	Renovering av ledning med dimension 375 mm	m			0
	Renovering av ledning med dimension 400 mm	m			0
	Renovering av ledning med dimension 450 mm	m			0
	Renovering av ledning med dimension 500 mm	m			0
	Renovering med flexibelt foder med långtidsrörstyhet 3 kN/m ²				
	Renovering av ledning med dimension 150 mm	m			0
	Renovering av ledning med dimension 225 mm	m			0
	Renovering av ledning med dimension 300 mm	m			0
	Renovering av ledning med dimension 375 mm	m			0
	Renovering av ledning med dimension 400 mm	m			0
	Renovering av ledning med dimension 450 mm	m			0
	Renovering av ledning med dimension 500 mm	m			0
	Renovering med flexibelt foder med långtidsrörstyhet 4 kN/m ²				
	Renovering av ledning med dimension 150 mm	m			0
	Renovering av ledning med dimension 225 mm	m			0
	Renovering av ledning med dimension 300 mm	m			0
	Renovering av ledning med dimension 375 mm	m			0
	Renovering av ledning med dimension 400 mm	m			0
	Renovering av ledning med dimension 450 mm	m			0
	Renovering av ledning med dimension 500 mm	m			0

Kod	Text	Enhet	Fiktiv mängd	å-pris (kr)	Belopp (kr)
	Renovering av servisledning				
	Startkostnad per ledningssträcka vid servisrenovering	st			0
	Schaktfri anslutning med hattprofil i dimension 100/160 mm	st			0
	Schaktfri renovering av servis i dimension 150 mm	m	x		0
					0
	Punktreparation av huvudledning				0
	Startkostnad per ledningssträcka vid punktreparation	st	x		0
	Schaktfri reparation med kortfoder i dimension 225 mm	m	x		0
	Schaktfri reparation med kortfoder i dimension 300 mm	m	x		0
	Schaktfri reparation med kortfoder i dimension 400 mm	m	x		0
	Schaktfri reparation med kortfoder i dimension 500 mm	m	x		0

Kod	Text	Enhet	Fiktiv mängd	å-pris (kr)	Belopp (kr)
Y	MÄRKNING, PROVNING, DOKUMENTATION M M				
YBC.34	Kontroll av avloppsledning				
	Arbete ingår i ersättning under PGB.42.	-	-	-	-
YBC.3412	Täthetskontroll av självfallsledning				
	Arbete ingår i ersättning under PGB.42.	-	-	-	-
YBC.342	Deformationskontroll av avloppsledning				
	Reglering sker enligt PCE.12.				
YBC.349	Uttag av provbit för flexibelt foder				
	Arbete ingår i ersättning under PGB.42.	-	-	-	-
YCE.12	Underlag för relationshandlingar för rörledning				
	Arbete ingår i ersättning under PGB.42.	-	-	-	-
YCQ.1121	Kontrollplaner för rörledningar i ledningsnät				
	Arbete ingår i ersättning under PGB.42.				
ANBUDSSUMMA					0

Bilaga E Exempel på protokoll för provbitsunderlag

Provbitsunderlag			v1.0	2020-01-28
Grundläggande uppgifter				Info tillhanda hålls av
Beställare/Kommun				Entreprenör
Entreprenör/Installationsfirma				Kommun
Foder-tillverkare				
Foder- handelsnamn				
Fodrets ID-nummer				
Installationsdatum				
Installationsplats (stad/gata)				
Geografiskt ID (brunnsnummer)				
Provtagningsmetod				
Den gamla ledningens innerdiameter[mm]				
Plats	☐ Rör	☐ Slutbrunn	☐ Mellanliggande brunn	
Provbitsposition (om ej hel ring)	☐ Hjässa	☐ Sida	☐ Botten	
Geometri och hållfasthet	Kommunens krav*	Fodrets nominella värden		
Medel godstjocklek [mm]				
Tjocklek på liners(Inner+ytter) [mm]				
Korttids böjmodul [MPa] EN ISO 11296-4, ISO 178				
Korttids Ringstyvhet [kN/m ²], ISO 7685				
Långtids-styvhet [kN/m ²] ISO 7685*				
*Kommunen kan ställa krav på en eller flera egenskaper				
**Om krav ställs på långtidsstyvhet av kommunen behöver långtidsdata för fodret tillhandahållas av entreprenören. Gärna i form av provningsrapport från ackrediterat laboratorium				
Administrativa uppgifter				
Eventuellt projektnummer/referensinformation				
Vart skall provningsrapporten mejlas				
Faktureringsadress				

Svenskt Vatten

UTVECKLING

Svenskt Vatten Utveckling
Svenskt Vatten AB

POSTADRESS BOX 14057, 167 14 Bromma

BESÖKSADRESS Gustavslundsvägen 12, 167 51 Bromma

TELEFON 08-506 002 00

E-MAIL svensktvatten@svensktvatten.se

www.svensktvatten.se