

December 2016

FlexCities 2 – Fase 1

Innovative løsninger

Transmissionssystemer og styringssystemer



Teknikerrapport

Bidrag fra virksomheder og institutioner:

Logstor

Isoplus

Teknologisk Institut

Aalborg Universitet

INDHOLDSFORTEGNELSE

- 1 INDLEDNING
- 2 INPUT FRA LOGSTOR
 - 2.1 Idekatalog
 - 2.2 Præsentation på workshop
- 3 INPUT FRA ISOPLUS
 - 3.1 Bilaterale drøftelser
 - 3.2 Præsentation på workshop
- 4 INPUT FRA TEKNOLOGISK INSTITUT
 - 4.1 Idekatalog
 - 4.2 Præsentation på workshop
- 5 INPUT FRA AAU
 - 5.1 Kravspecifikation for styring
 - 5.2 Præsentation på workshop

1 INDLEDNING

I foråret 2016 blev udviklingsprojektet "FlexCities 2" igangsat med støtte fra Region Midtjylland. Formålet er at udvikle et samlet koncept, som kan betegnes som "smart fjernvarme" eller "fremtidens fjernvarmesystem".

Projektet er en fortsættelse af FlexCities 1-projektet, hvor etablering af transmissionsledninger og forsyning fra forskellige vedvarende energikilder blev undersøgt for fjernvarmeværkerne i Horsens kommune samt Hedensted og Løsning Fjernvarme.

Efter afslutningen på FlexCities 1 er det besluttet at ombygge Skærbækværket fra naturgas til træflis. Dette giver nye muligheder for at etablere en transmissionsledning mellem Horsens, Løsning, Hedensted og TVIS.

I FlexCities 2 er det undersøgt om en transmissionsforbindelse fra TVIS via Hedensted og Løsning til Horsens vil være rentabel med de nye forudsætninger og med nye innovative rørtyper samt lægning- og samlingsmetoder. Transmissionssystemet vil samtidig gøre det muligt at implementere nye innovative varmepumpeløsninger og et overordnet innovativt styringssystem til udnyttelse af overskudsvarme.

I praksis vurderes mulighederne for at udvikle nye, effektive fjernvarmerør, varmepumpeanlæg og styresystemer til opsamling af overskudsvarme fra lokal industri i et forsyningssystem, der sammenkobler fjernvarmen fra TVIS-systemet i Trekantområdet med fjernvarmeforsyningerne i Hedensted, Løsning og Horsens.

Indenfor det potentielt sammenkoblede forsyningsområde er der en lang række forskellige eksisterende fjernvarmeproducenter (central kraftvarme fra Skærbækværket, der er ved at blive ombygget til flisfyring, overskudsvarme fra en række industrianlæg, affaldsforbrændingsanlæg i Kolding og Horsens, decentral naturgasfyrte kraftvarme, kedelanlæg baseret på gas og et mindre solvarmeanlæg). I Horsens er det besluttet at etablere nye større biomasseanlæg og mulighederne for yderligere udnyttelse af industriel overskudsvarme undersøges flere steder indenfor hele forsyningsområdet.

Problemstillingerne, der undersøges i projektet er relateret til om og hvorledes de mængder og kvaliteter af varme, der er til rådighed på forskellige tidspunkter hos forskellige leverandører kan udnyttes omkostningseffektivt i de forskellige dele af det samlede varmemarked i forsyningsområdet.

Projektet har vurderet følgende to hovedspørgsmål:

- *Kan det betale sig at forbinde systemerne med transmissionsledninger?*
- *Vil nye og innovative løsninger for tekniske anlæg og driftsformer vise nye og bedre muligheder i fremtidens fleksible energisystemer sammenholdt med dagens "best practice"?*

Projektet er gennemført i et tæt samarbejde mellem forsyningsselskaber, kommuner, virksomheder, viden institutioner og rådgivere. Virksomheder og institutioner har bidraget til projektet

med bilaterale møder og udviklingen af idekataloger. Virksomhederne har desuden ved en workshop afholdt 15. november 2016 for Fjernvarmeværker, rådgivere, kommuner, entreprenører og specielt leverandører af energiteknologi, præsenteret oplæg og indgået i diskussioner omkring fremtidens tekniske løsninger. På workshoppen fik deltagerne mulighed for at byde ind med ideer og tanker til projektgruppen.

Rørproducenterne Logstor og Isoplus samt Teknologisk Institut og Aalborg Universitet har deltaget specifikt i relation til ideer og innovative løsninger for rørsystemer, nedlægning – og samlingsmetoder samt driftsbetingelser knyttet til temperaturforhold mv.

Implementering af hybride fjernvarmesystemer med forskellige produktions- og forbrugsenheder der styres optimalt i forhold til el-systemet og varmeproduktion og -forbrug, så den lavest mulige varmeproduktionspris opnås stiller krav til de fremtidige styringssystemer. Med udgangspunkt i allerede fungerende styringssystemer for bl.a. VEKS og TVIS vurderes faciliteter, som optimerer fjernvarmesystemets produktionsenheder i forhold til elmarkedet. Som en del af projektet har Aalborg Universitet i samarbejde med projektgruppen udarbejdet et forslag til kravspezikationer for styring af et sammenkoblet system der er i stand til:

- > at optimere indtjeningen på elmarkedet for det samlede hybride fjernvarmesystem. Herunder at beregne hvornår el-producerende og el -forbrugende enheder skal starte og stoppe.
- > at optimere den samlede varmeproduktion. Herunder til enhver tid at vælge billigste produktionsenheder.
- > at prognosticere forbrug og produktion samt optimere anvendelse af varmelagre.
- > at opfylde fremtidige europæiske krav til datasikkerhed.

Denne delrapport indeholder bidragene fra virksomheder og institutioner der dels kan inddrages i projektets næste faser såfremt det besluttet at arbejde videre med transmissionsløsninger dels kan anvendes til inspiration for andre der arbejder med fremtidens fleksible og innovative fjernvarmesystemer.

I tillæg til denne rapport er der i projektets teknikergruppe udarbejdet følgende 3 delrapporter:

- > **Omkostningsanalyse**
- > **Transmissionsledninger (trace og rørsystem)**
- > **Industriel overskudsvarme og varmekilder for varmepumper**

Teknikerrapporterne danner baggrund for udarbejdelse af en sammenfattende konklusionsrapport, der er grundlag for beslutninger omkring det videre forløb – dvs. hvorvidt der skal igangsættes en fase 2.

2 INPUT FRA LOGSTOR

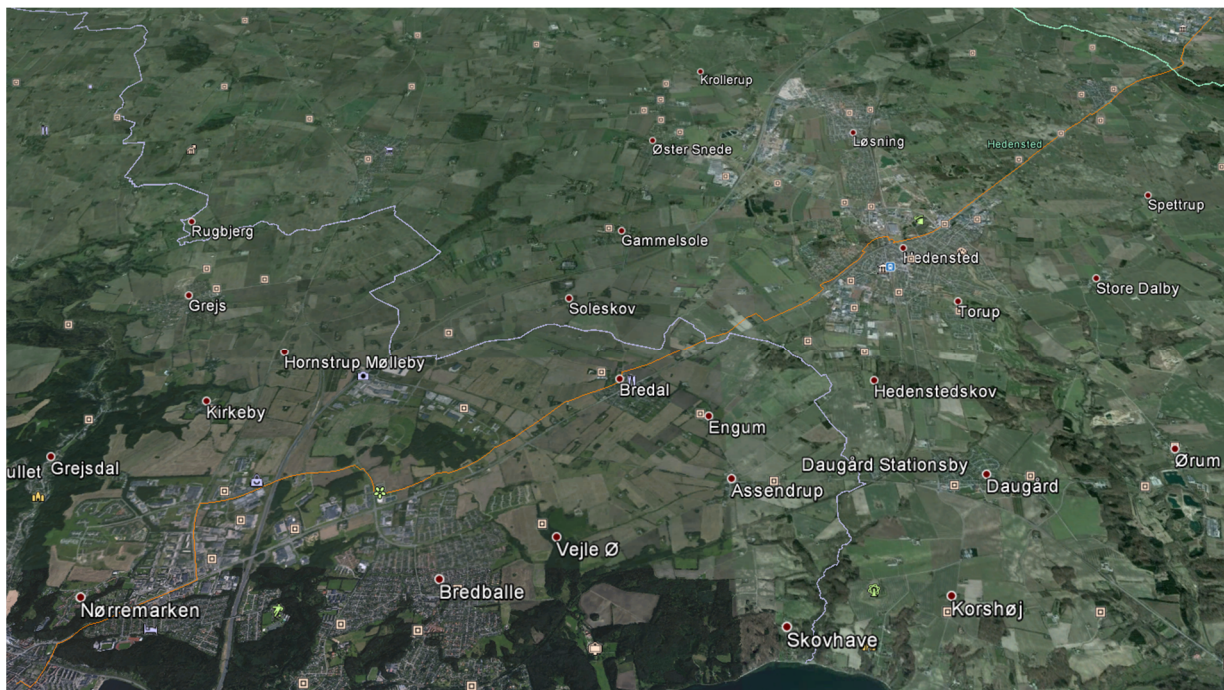
2.1 Idekatalog

Idékatalog.

Tekniske og økonomiske optimale løsninger.

**Transmissionsledning fra
Vejle via Hedensted til Horsens**

Flexcities2



LOGSTOR A/S

Løgstør, den 5. Juli 2016

Indhold

<u>1.0</u>	<u>Komponenter</u>	8
1.1	<u>50 års levetid stål komponenter</u>	8
1.2	<u>50 års levetid PUR</u>	8
1.3	<u>Diffusionstætte løsninger:</u>	9
1.4	<u>Lange sammensvejte længder:</u>	10
<u>2.0</u>	<u>Varmetab/ 3 rørs løsning</u>	11
2.1	<u>Dimensioner til 3 rørs løsning</u>	11
<u>3.0</u>	<u>Lægningsteknik</u>	13
3.1	<u>Lægningsmetoder</u>	13
3.2	<u>Ekspansionsoptagelse ved koldforlægning:</u>	13
3.3	<u>Små retningsændringer / buerør:</u>	14
3.4	<u>Omkringfyld uden for friktionslængder:</u>	15
3.5	<u>Boring gennem blødbunds områder:</u>	15
3.6	<u>Minimum overdækning i sti/vejarealer</u>	15
<u>4.0</u>	<u>LOGSTOR InduconJoint</u>	16
4.1	<u>InduconJoint</u>	16
4.2	<u>InduconJoint besparelse i forhold til andre svejste løsninger</u>	16
<u>5.0</u>	<u>LOGSTOR Detect</u>	17
<u>6.0</u>	<u>Total concept</u>	18
<u>7.0</u>	<u>Udvidet garanti</u>	18

1.0 Komponenter

1.1 50 års levetid stål komponenter

Design efter EN 13941 i dag er baseret på et antal fuld lastcykler (typisk min 100 på 30 år for transmissionsledninger og 250 for distributionsledninger). Det har betydning for lægningsteknikken - specielt udmattelse af bøjninger og afgreningers ståldele.

Der kan uden videre extrapoleres til 50 år dvs. øge antallet af fuldlastcykler til det forventede antal på 50 år. Rent statiks er det ret enkelt at sikre stældelen til 50 års funktion.

1.2 50 års levetid PUR

Det andet væsentlige materiale i præørret er PUR skummet. Det har 2 funktioner – termisk og mekanisk.

Den termiske kender vi rigtig godt og ved hvad der sker. Ved diffusion af de "gode" isoleringsgasser ud fra PUR cellerne, medfører det et øget varmetab når der diffunderer luft med en højere lambda værdi ind i cellerne i stedet for. Det kan vi i de lige rør undgå ved at anvende diffusionstætte løsninger under PEH kappen.

De mekaniske egenskaber skal sikre vedhæftning til kappe og stål dvs. sikre forskydningsstyrken i sandwich konstruktionen. Derudover skal trykstyrken i PUR-skummet være til stede hvor der sker laterale bevægelser (ved bøjninger og afgreninger), den skal ligeledes have tilstrækkelig styrke i hele levetiden.

Det er en meget væsentlig del af fastrørssystemets funktion, at den nødvendige forskydningsstyrke er til stede ved design temperaturen i hele levetiden. I dag er der metoder til at fastlægge forskydningsstyrken og værdier til at beregne design forskydningsstyrken for 30 års levetid. Ligeledes er der metoder til at fastlægge forventet kryb af PUR under trykbelastning i løbet af 30 år i PUR skummet, begge test baseret på kortidstest.

Til 50 års levetid er der pt ikke udviklet / undersøgt muligheder for accelererede test er dækkende for 30 år.

Forsøg i Tyskland har vist at levetiden er påvirket af temperaturen og indholdet af specielt ilt i skummet. Jo højere drift temperatur desto kraftigere ældning sker der ved tilstedeværelse af ilt i cellerne. Præcis hvor meget det betyder kendes pt ikke, kun ved vi at det er afhængig af temperaturen.

En øgning af levetiden fra 30 til 50 år og stadig sikre en god funktion kan således være afhængig af hvor lidt ilt der kommer ind i PUR'en dvs. hvor diffusionstæt kappen og muffer er for ilt diffusion.

Hvis vi kigger på de praktiske erfaringer vi har i dag med PUR skum så ved vi, at systemer der kører med høje temperaturer ofte har et mere brunfarvet PUR inderst mod medierøret – aftagende udad – på samme vis som temperaturen også aftager. Det skyldes kombinationen af temperatur og tilstedeværelsen af ilt.

Kigger vi på totalt diffusionstætte systemer – som f.eks. de stål i stål ledninger som TVIS også har – så er PUR skummet, (ved vi fra de steder hvor der har været åbnet for stål i stål systemet), meget klar lyst i farven.

Det tyder på at der ikke er ilt til stede – derfor sker der ikke nogen væsentlig mekanisk ældning. Der er pt ikke tests der bekræfter den præcise effekt af dette. Vi ved at der ikke kommer ilt ind i stål i stål, der sker ikke brunfarvning af skummet og dermed sikkert en meget mindre ældning af PUR'ens mekaniske egenskaber.

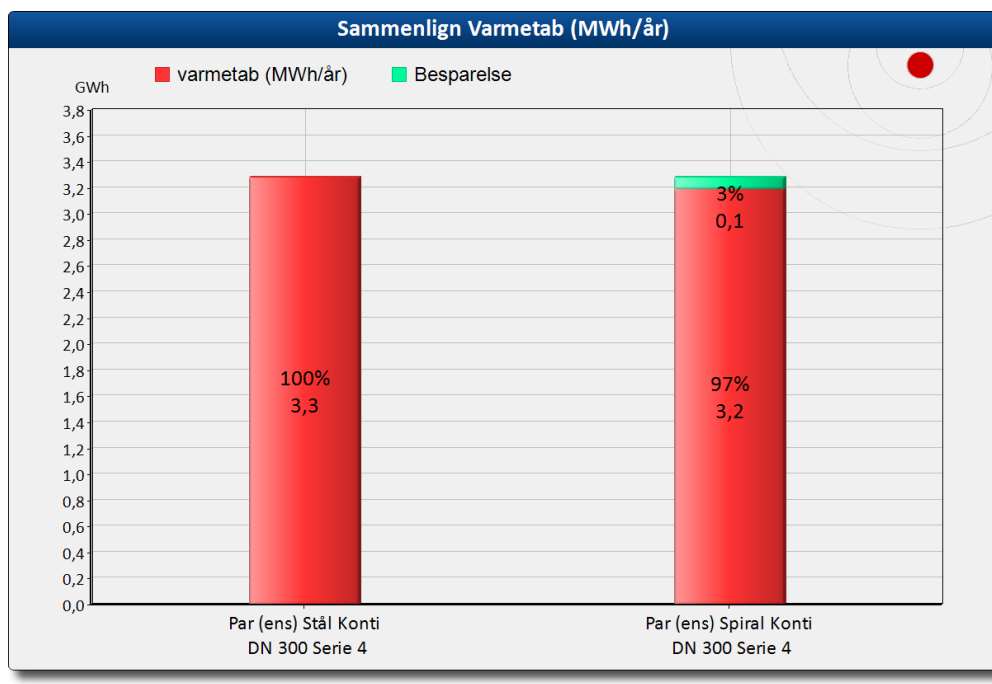
Så en øget sikring mod diffusion af ilt ind i systemet vil være med til at sikre en rigtig lang levetid for det aktuelle system, så et helt diffusionstæt system vil være en videreudvikling af de systemer der anvendes i dag.

1.3 Diffusionstætte løsninger:

Diffusionstætte rør er en kendt teknologi i dag og anvendes primært i de mindre dimensioner, hvor de har den relative største effekt på den termiske ældning. På større rør er teknologien også kendt og anvendes når det er en økonomisk fordel.

I en rørdimension DN 300 i serie 4-ø560 kappe er middel besparelsen over 30år på 3%

Se figur.



Det betyder at varmetabet vil være ca. 5% større i år 30, og ca. 7% større i år 50.

Total diffusionstætte løsninger er pt ved at blive introduceret i mindre dimensioner dvs. til og med kappe ø315. De første systemer er leveret, hvor der er diffusionstætte løsninger både i rør, fittings og muffer.

En videreudvikling af dette koncept så det også er total diffusionstætte løsninger i de aktuelle dimensioner er helt sikkert en løsning der kan implementeres med en videreudvikling af konceptet LOGSTOR har i dag for systemer i mindre dimensioner

Det betyder at der sikres et mindre net tab og tages hånd om at øge levetid langt ud over de 30 år også for de relativ høje temperaturer som TVIS vil anvende her.

1.4 Lange sammensvejste længder:

Der vil kunne optimeres på levering af lange længder. Tidligere beregninger på andre projekter har vist at f.eks. 18 meter er en mulig løsning. Levering i f.eks. 24 meter længder giver store omkostninger til transport. Den besparelse der kommer on site med færre muffer kan ikke bære meromkostningen til transport. Det skal dog ikke afvises at nye analyser med f.eks. sammensvejsning af længder på fabrikken i Løgstør kan være rentabel.

Et alternativ der ikke er undersøgt tidligere er om f.eks. en løsning med et telt on site på strateske steder med f.eks. robots vejning kan give en økonomisk og samtidig en væsentligt kvalitetsmæssig fordel.

2.0 Varmetab/ 3 rørs løsning

2.1 Dimensioner til 3 rørs løsning

Med udgangspunkt i forskelligt flow sommer og vinter er der lavet konsekvensberegning på varmetab på forskellige kombinationer af rør.

Der er regnet på 4 alternativer

Alternativ 1)

En 2 rørs løsning 2*DN 300/560 med diff. Folie med 110/45°C i 12 mdr.

Alternativ 2)

En 3 rørs løsning:

DN 300/560 med 45°C i 8 mdr. (4 mdr. ude af brug)

Twin 2*DN 200/560 – 8 mdr. som fremløb med 110° på begge rør
4 mdr. som frem og retur 110/45°C

Alternativ 3)

En 3 rørs løsning:

DN 300/560 med 45°C i 12 mdr.

Twin 2*DN 200/560 – 8 mdr. som fremløb med 110° på begge rør
4 mdr. som frem / kold retur 110/ - °C

Alternativ 4)

En 4 rørs løsning, 2 * Twinrør (hver i 4 mdr. og 4 med begge i brug).

Twin 2*DN 150/560 – 4 mdr. som frem og retur 110/45°C (4 mdr. ude af brug)

Twin 2*DN 250/900 - 4 mdr. som frem og retur 110/45°C (4 mdr. ude af brug)

Begge på en gang 4 mdr. som frem og retur 110/45°C

En nøjere hydraulisk analyse vil dog være nødvendig for at verificere flow og driftstid. Da der ikke kendes de præcise flow-tidspunkter – er der regnet med konstante temperaturer på:

Fremløb: 110°C

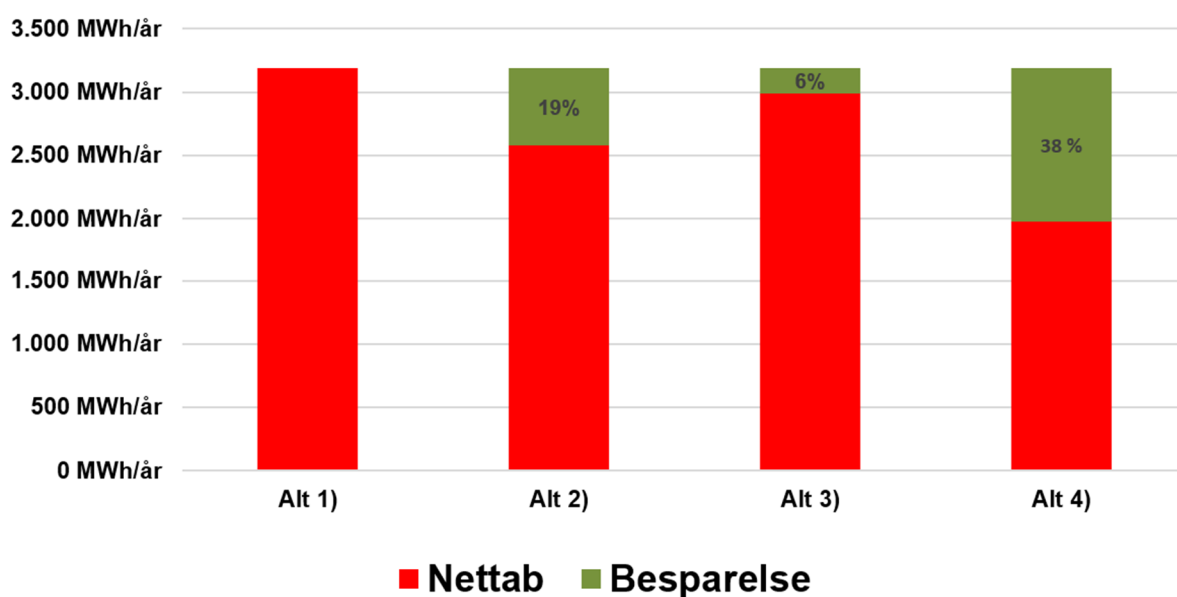
Returløb: 45°C

Jord: 8,8°C

Der kommer følgende varmetab i de 4 alternativer:

	10 km tracé	Temp. mønster		
Alt 1)	DN 300/560 DN 300/560	110°C – 12 mdr. 45°C – 12 mdr.	2.349 MWh /år 840 MWh /år	3.189 MWh /år
Alt 2)	DN 300/560 2*DN 200/710 2*DN 200/710	45°C – 8 mdr. 110/110°C – 8 mdr. 110/45°C – 4 mdr.	560 MWh /år 1.506 MWh /år 512 MWh /år	2.578 MWh /år
Alt 3)	DN 300/560 2*DN 200/710 2*DN 200/710	45°C – 12 mdr 110/110°C – 8 mdr. 110/-°C – 4 mdr.	840 MWh /år 1.506 MWh /år 643 MWh /år	2.989 MWh /år
Alt 4)	2*DN 150/560 2*DN 250/900 Begge	110/45°C – 4 mdr. 110/45°C – 4 mdr. 110/45°C – 4 mdr.	498 MWh /år 490 MWh /år 988 MWh /år	1.976 MWh /år

Sammenligning varmetab



Som udgangspunkt er der kigget på forskel i varmetab i forhold til meromkostninger på de lige rør til 10 km DN 300

Ekstra omkostninger til håndtering og gravearbejde er ikke medtaget. Det giver en indikation af muligheder, men bør verificeres med en præcis hydraulisk dimensionering og en total Service Life Cost samt den præcise energipris.

Til aktuel beregning er anvendt en energipris på 300 kr/MWh.

	Nettab	Rørpris lige rør	Simpel tilbagebetalingstid
Alt 1)	100%	16,4 mill dkr	Reference
Alt 2)	81%	21,0 mill dkr	25 år
Alt 3)	94%	21,0 mill dkr	75 år
Alt 4)	62%	28,5 mill dkr	36 år

Umiddelbart vil alternativ 2 være en mulighed og en detaljeret analyse af de hydrauliske forhold og detaljeret drift profil sammen vil kunne danne grundlag for en detaljeret Service Life Cost beregning til vurdering af alternativet.

3.0 Lægningsteknik

3.1 Lægningsmetoder

I det aktuelle projekt med DN 300/350 er forskellige lægningsteknikker mulig.

De traditionel anvendte:

- Varmeforspænding i åben grav, som kræver at lange strækninger holdes åben indtil der tilstrækkelig længde til at der kan varmforspændes.
- Kompensering med bøjninger, der kan reetableres løbende, men er en forholdsvis dyr løsning, da der skal indbygges mange bøjninger.

Af andre metoder er det muligt at anvende spændingsreduktion med E-Comp og koldforlægning.

- Spændingsreduktion med E-Comp har den fordel at ledningen lægges i lige linjer og har ikke behov for plads til f.eks. slag til siden. Desuden kan strækningen reetableres løbende, der er kun behov for at holde en muffe åben hvor E-Comp'en er placeret. Denne skal være tilgængelig når systemet varmes op 1. gang, så E-comp'en kan svejses efter systemet har ekspanderet.
Der er kun behov for E-comp på fremløbet da returen har lavere temperatur.
- Koldforlægning er mulig med standard stål iht. EN 13941 – P235GH i de aktuelle dimensioner DN 300 og 350 med en temperatur differens på 110°C og 25 bar.

Udfordringen ved at koldforlægge de aktuelle dimensioner er at ekspansionen kan blive så stor at den ikke kan optages på sædvanlig vis i skumpuder. Det kan løses, og en metodeudvikling for optimering til danske forhold kunne være mulig til det aktuelle projekt

3.2 Ekspansionsoptagelse ved koldforlægning:

Ved koldforlægning vil 1. gangs bevægelsen ved større dimensioner og høje temperaturer ofte blive mere end ca. 110 mm. Det betyder at der skal tykkere lag skumpuder på end der kan tillades, fordi der så vil være risiko for at kappetemperaturer bliver for høje

og dermed nedsætter levetiden for PE-kapperne. Den gennemsnitlige kappetemperatur må iht EN 13941 ikke overstige 50°C.

Det har hidtil været løst ved:

- at holde en bøjning åben indtil der kommer varme på systemet. Så kan der lægges skumpuder på bøjningen på begge sider ved en temperatur der er 2/3 af max temperatur. Bøjningen vil ligge ca. midt i sin normale ekspansion. Efter montage af skumpuder kan bøjningen reetableres og bevægelsen vil så være den halve til hver side og dermed kræves der et tyndere lag skumpude.
- Alternativt kan bøjningen holdes åben og resten reetableres. Ved hjælp af "elforspænding" af friktionslængden til begge sider, kan man få bøjningen til at ekspandere – skumpuder monteres som nævnt ovenfor og der kan reetableres ved bøjning og det sted der kobles ind på den lige rørstrækning i friktionslængden fra bøjningen.
Denne løsning har været anvendt i DK. Der undgås at forspænde de lange lige stræk, der kan reetableres løbende og der skal kun være tilgang til ledningen ved bøjning og ved friktionslængde fra bøjning til begge sider.
- De to ovennævnte metoder er anlægsteknisk ret omstændelige. Et alternativ der vil kræve en metodeudvikling for danske forhold, er mekanisk forspænding af skumpuder. Princippet er det samme som de to førstnævnte metoder. Rørstrækket er svejst sammen, dog bortset fra en svejsning ca. en rørlængde fra bøjningen til begge sider. Den fastholdes med en spalte imellem rørenderne, svarende til den halve udvidelse der vil komme ved bøjningen ved 1. gangs udvidelsen.

Inden tildækning monteres der skumpuder på begge sider af bøjningen.

Bøjning og de lige rørstrækninger til begge sider kan tildækkes, bortset fra muffen med spalten. Når tildækningen af bøjningen og rør er færdig, kan man mekanisk trække bøjningen "baglæns" så spalten lukkes, og samlingen kan svejses. På denne måde trækkes bøjningen tilbage i skumpuden så der er plads til hele 1. gangs udvidelsen uden at der er for tykt et skumpudelag på.

Det betyder at hele tracéet kan færdiggøres med sammensvejsning og forspænding af bøjning. Man skal ikke tilbage til området igen senere.

En metodeudvikling til at fastholde rør, trække bøjningen tilbage, og udføre svejsningen burde være ret enkel, og er ikke prøvet under danske forhold, men kan være med til at sikre en hurtig anlægsafvikling.

3.3 Små retningsændringer / buerør:

Det anbefales at anvende præfabrikerede buerør i så stor udstrækning som mulig, så det undgås at anvende bøjninger med små vinkler.

Hvis vi ser på det eksisterende TVIS net – så er der visse steder anvendt bøjninger med mindre vinkler i kombination med fastspændinger.

Det ses i dag at specielt de indbyggede fastspændinger er det svage punkt i det eksisterende net. Derfor anbefales det at anvende buerør der kan indbygges uden der er behov for fastspændinger.

LOGSTOR kan fra sin danske produktion levere præfabrikerede buerør, der leveres med en meget ensartet bukning uden folder eller knæk, så de også kan anvendes i koldforlagte systemer.

3.4 Omkringfyld uden for friktionslængder:

Friktionslængder fra en bøjning har brug for en god friktion, så det er vigtigt der her anvendes friktionsmateriale af god kvalitet. I de friktionsfikserede strækninger imellem friktionslængderne kan der evt. anvendes stedlige materialer der graves op, såfremt det ikke indeholder store partikler større ned 60 mm eller mere end ca. 2% organisk materiale. Det betyder, der kan ved lange friktionsfikserede strækninger og egnede områder, spares betydelige summer ved reetablering af tracéet.

3.5 Boring gennem blødbunds områder.

Der forekommer i den foreslåede tracé deciderede blødområder. Den enkle løsning til krydsning af disse vil være at foretage en styret boring i passende dybde, under vurdering af arealets stabilitet, både for opdrift af rør og sætning af rør.

Boring kan foretages enten med et foringsrør, hvor røret trækkes ind i et foringsrør. Her skal rørene forsynes med glidesko – typisk 3 stk. pr længde, så der sikres tilstrækkelig vederlag og det også sikres at rørene ikke hviler på mufferne.

Alternativ kan boringen udføres direkte, uden foringsrør. Det indebærer naturligvis at der vil være en øget risiko for beskadigelse af kappe og specielt muffer, hvis der er flintesten eller store sten i tracéet.

For at minimere risikoen for beskadigelse af muffen, anbefales det at anvende en dobbelt svejst muffe, så der er to uafhængige svejste muffer.

Fremgangsmetoden er:

- Efter stålsamlingen er udført og kontrolleret, skummes der i et alusvøb.
- Alusvøbet fjernes og skummet kontrolleres.
- En standard svejse muffe (EW eller InduconJoint) krympes i hele længden og svejses i begge ender.
- En speciel og ekstra lang svejsemuffe krympes ovenpå første muffe og svejses i enderne på vanlig vis.

På den måde er der sikret bedst mulig at mufferne ikke beskadiges.

Ved lange boringer, både med og uden foringsrør, vil disse ikke bidrage med friktion på fastrørssystemet. Derfor er det vigtig at tracéet designes til optage den frie ekspansion eller der er friktionslængder på begge sider der fastholder systemet.

3.6 Minimum overdækning i sti/vejarealer

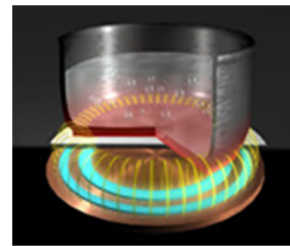
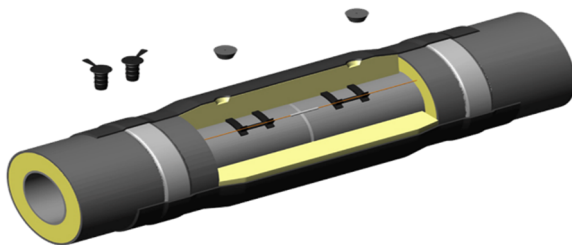
Ledningerne placeres enten over ubefæstede arealer og marker – hvor overdækningen ofte er givet til min. 1,2 m.

Hvis ledningen placeres i f.eks. cykelstier med belægning kan overdækningen ofte reduceres til et minimum – der for de aktuelle dimensioner vil være 0,5 meter ved normale jordbundsforhold. Det har betydning for omkostninger til etablering

4.0 LOGSTOR InduconJoint

4.1 InduconJoint

En på det danske marked ny måde at installere muffe på kan sikre såvel økonomiske som praktiske fordele for projektet. Den nye InduconJoint muffe, som baserer sig på induktions-svejseteknologi, er let at transportere med håndkraft, kræver kun et minimum af hjælpeværktøjer og stiller mindre krav til strømforsyning end den hidtidige løsning (230V – 10Amp). En ny afregningsmetode, baseret på faktisk forbrug, gør samtidig installationsomkostningerne nemme at beregne.



InduconJoint muffen består af en PE muffe, udluftnings- og svejsepropper, samt Inducon svejse-bånd, som leveres i ruller af 175 m til at klippe af. Induktionsteknologien er en proces hvor der skabes et elektromagnetisk felt, som varmer PE materialet op, og dermed svejser muffe og kappe samme uden terminalpunkter stikkende ud af svejsezonen. Det nødvendige tryk sikres af et teflon-bånd som omvikles svejsezonen, og dermed sparer installationen for tunge og dyre spændebånd. Selve Induktion-svejsmaskinen vejer kun 15 kg og er dermed nem at transportere med håndkraft også på svært tilgængelige områder på strækningen.

InduconJoints findes i dimension op til 560mm, men LOGSTOR er netop nu i gang med at kvalificere teknologien, hvilket også omfatter større dimensioner.

4.2 InduconJoint besparelse i forhold til andre svejste løsninger

InduconJoint svejsmaskinen kan leases af LOGSTOR Service til en nettopris på 165 kr./dag, hvilket er 1/5 af prisen for en Weldmaster, som bruges på de nuværende anlæg. Dertil kommer et gebyr per svejsning, som afhænger af de anvendte svejse dimensioner. Materiale omkostninger er således 10-50% under tilsvarende EW svejsemuffer, hvilket primært skyldes besparelsen på svejsebånd.

Den totale pris for en intalleret InduconJoint er 10-15% under tilsvarende svejsemuffe løsning på markedet.

5.0 LOGSTOR Detect

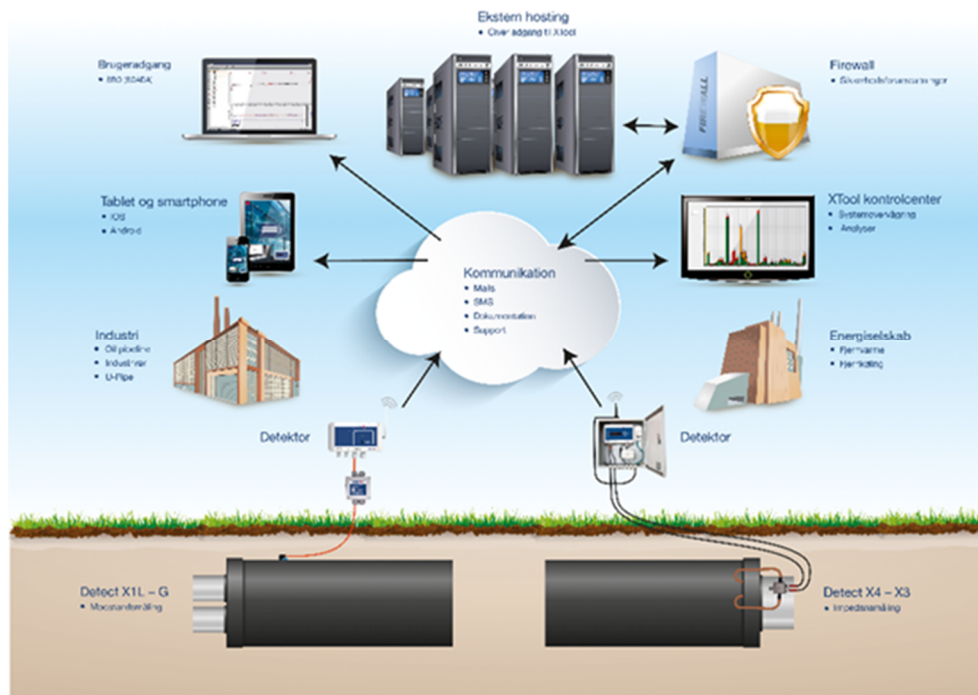
Der kan vælges imellem to typer af overvågning, passivt eller aktivt. Jo længere tid der går imellem kontrolmålingerne på et passivt system, jo større bliver risikoen for at eventuelle fejl udvikler sig, med større omkostninger til følge. Det anbefales derfor at overvåge sit system kontinuerligt. Dette kaldes et aktivt system, og kan installeres med forskellige detektorer, alt efter hvilke informationer der ønskes.

Et velfungerende overvågningssystem bidrager væsentligt til vedligeholdelsen af anlægget, og minimerer således de samlede driftsomkostninger og forlænger levetiden.

LOGSTOR tilbyder grundlæggende to aktive systemer:

- Hosting-konceptet, hvor brugeren er koblet op på programmet XTool.
 - o TVIS overvåger selv systemet med baggrund i data fra detektorerne
 - o Hosting giver mulighed for at vi kan yde support
- Total Concept, hvor LOGSTOR har det samlede ansvar for overvågning
 - o LOGSTOR installerer alle Detektorer og dokumenterer systemet
 - o Overvåger hele ledningsstrækningen døgnet rundt
 - o Udarbejder en rapport hver måned til TVIS med status på rørsystemet
 - o Kommer med anbefalinger til evt. reparationer
 - o Vi tilbyder ligeledes at udbedre fejlene

Xtool er det grafiske overvågningsprogram, som gør proaktiv overvågning muligt, og som konstant indsamler informationer i en enkel og overskuelig måde. Her illustreres inde- og udefrakommende fugtfejl på rørsystemet samt tråd brud. Samtidig kan afstanden til en given fejl angives. XTool kan gemme de seneste 6 års historik i databasen som dokumentation, og kan således hjælpe med at identificere og evaluere på eventuelle fejl.



6.0 Total concept

Total Concept er en ny måde at tænke overvågning på. LOGSTOR leverer, installerer og idriftsætter alle detektorer. TVIS vælger blot hvilken type alarmsystem der ønskes - modstandmåling, X1, eller impedans måling, X4. LOGSTOR forbinder detektorerne til en Global Connect Hosting, som permanent overvåger rørsystemet og udarbejder en månedlig statusrapport. TVIS spares således for investeringen i udstyr og afregnes udelukkende med et fast gebyr per km. tracé.

Med dette koncept ydes der permanent overvågning af rørsystemet. LOGSTOR analyserer alle indkomne data fra detektorerne, og kan således hurtigt informere i kritiske tilfælde samt komme med anbefalinger til eventuelle udbedringer i den månedlige rapport. Inkluderet i prisen er samtidigt en automatisk opdatering af alle programmer. LOGSTOR kan også tilbyde at udføre eventuelle reparationer. TVIS kan altid selv tilgå overvågningssystemet via en app eller PC.

Der kan tilbydes følgende årlige licens-udgifter:

X4 10.460 kr/km

X1 3.755 kr/km

Derudover skal påregnes følgende årlige licens udgifter til app/PC adgang:

App 2.235 kr

7.0 Udvidet garanti

Baseret på ovenstående permanente overvågning og den sikkerhed det giver LOGSTOR som leverandør, kan der således også ydes en forlænget garanti på det samlede rørsystem. Der tilbydes således 10 års garanti på produkter og installation.

Bilag / henvisninger:

LOGSTOR design manual / LOGSTOR design overvågning:

<https://www.logstor.com/dk/dokumentation?lang=1735&type=1613>

LOGSTOR Calculator:

<http://calc.logstor.com>

2.2 Præsentation på workshop

Kan den nuværende
rørteknologi og
installationskonceptet
videreudvikles og
forbedres?

Flex Cities 2

Bjarne K. Jepsen

15 November 2016

Opgavestilling / agenda

Opgave:

En rørledning fra TVIS, Vejle til Horsens.

I forbindelse med rørprojektet skal der findes den teknisk og økonomisk optimale løsning, som samtidig har innovative elementer.

Lave levetidsomkostninger for systemet:

Lang levetid

Optimering af komponenter

Optimering af installation

Lavt energitab

Sikker overvågning af systemet

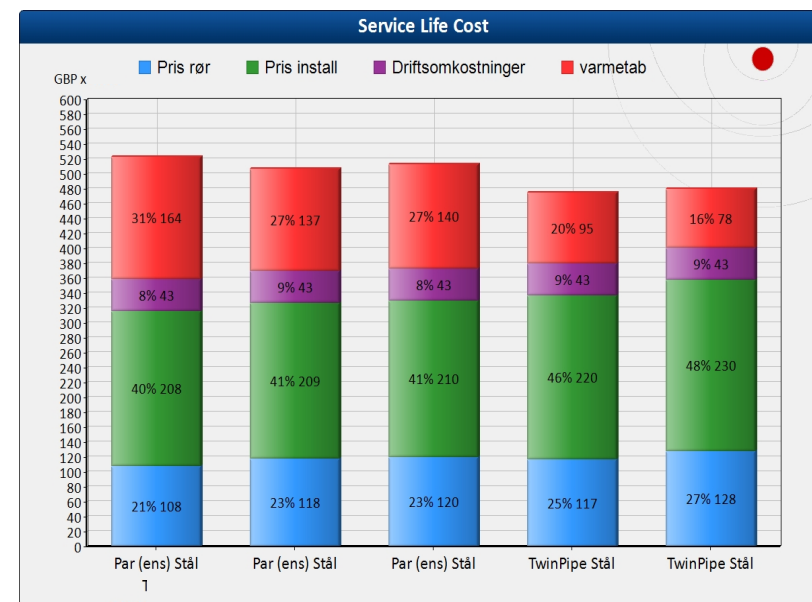
Til projektet har LOGSTOR udarbejdet et idé-katalog med muligheder for optimering af:

Materialer, komponenter og systemudlægning

Varmetab

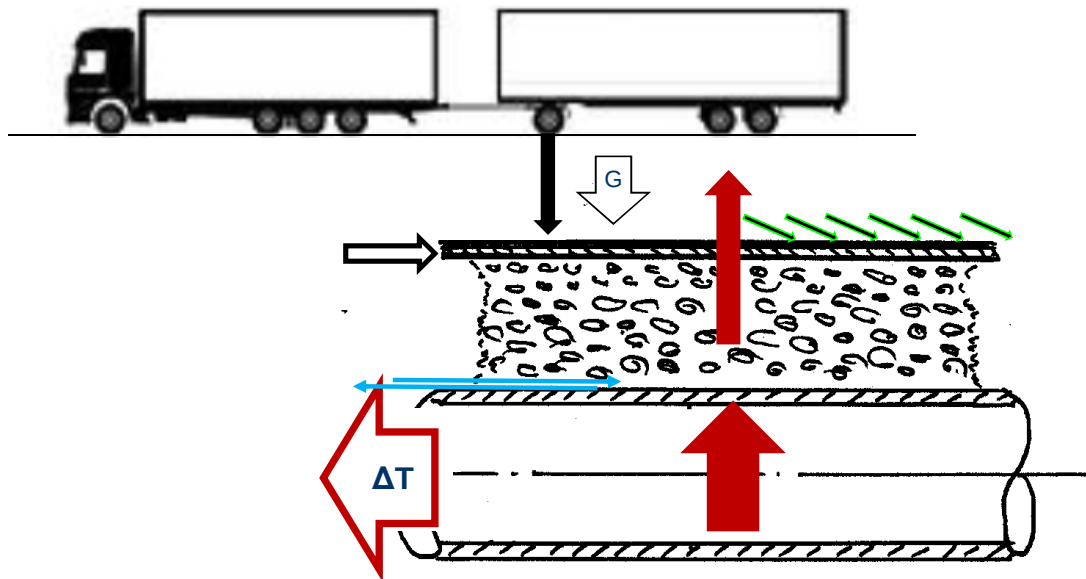
Installation / muffeteknologi

Overvågning og garantiperiode



Sandwich konstruktion med stål, PUR og PEH kappe.

- Klare de eksterne belastninger.
- Reducere energitabet.



Vi skal sikre:

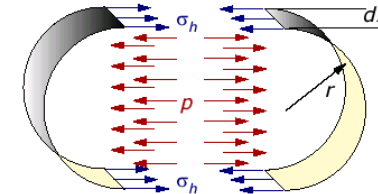
- At vi ikke overskrider de enkelte materials mekaniske kapacitet
- At eksterne kræfter ikke ødelægger vedhæftningen (forskydningsstyrken)
- At systemet holder tæt i hele levetiden (kappe / mufte)
- At energitab er lavt i hele levetiden.

Materialer og komponenter

Design - limit for stål.

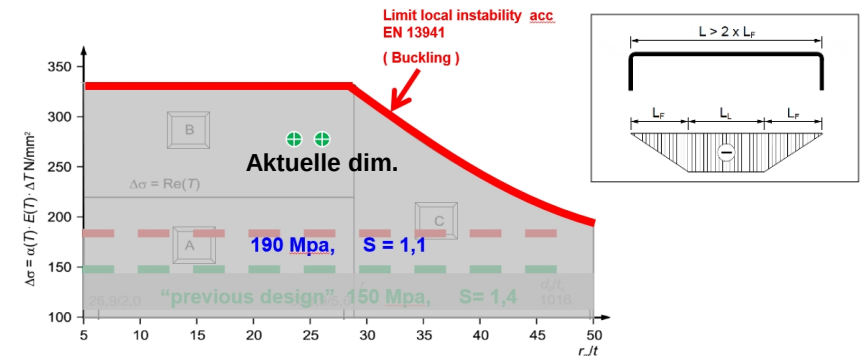
Indvendigt overtryk:

- Flydespænding med sikkerhedsfaktor.



Aksial spænding i lige rør:

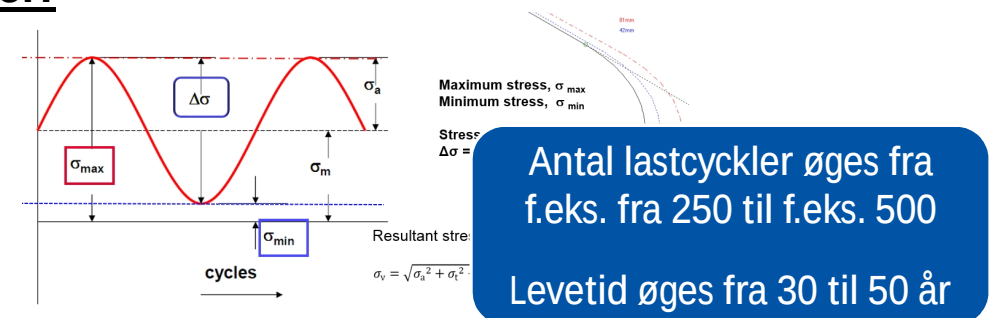
- Reducere spændinger ved forspænding.
- Koldforlægning mulig for mindre og mellem dimensioner.

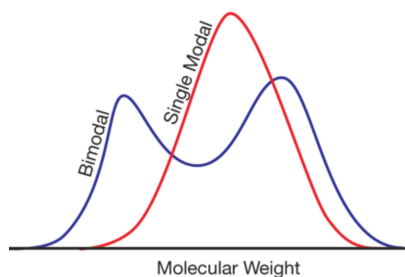
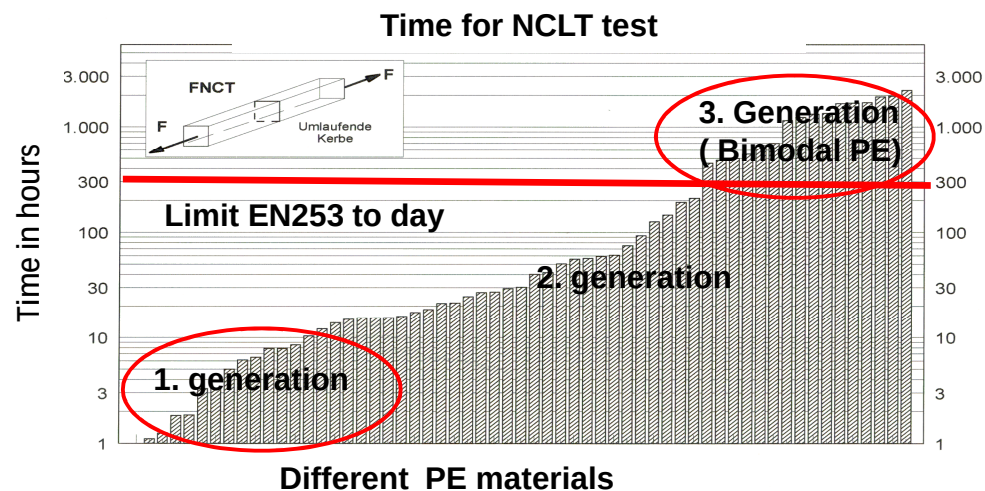


Antal af fuldlast cykler fra temperatur variationer:

- Regningsmæssigt muligt at øge levetiden. Normen siger 30 år i dag.

Der er styr på vandkvaliteten!





- Krav til HDPE er gode i dag.
- God sikkerhed mod revnedannelse.
- Godstykkelsen reduceret for år tilbage.
- Vi kunne klare os med mindre.
- Vi skal kunne håndtere rørene uden risiko.

Design limit for PUR (EN 13941-1)

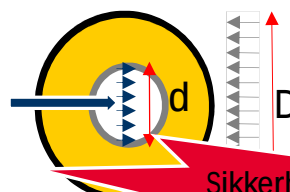
LOGSTOR

Trykspænding:

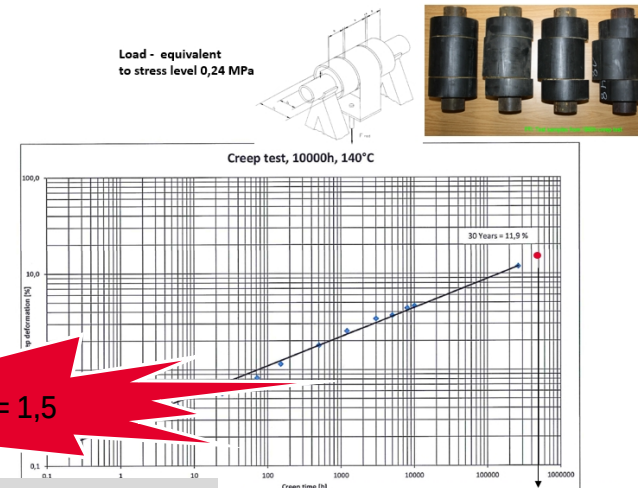
Krybestyrke, test værdi 30 år: $= 0,24 \text{ MPa}$

Modstand i jord (D til d):

Design værdi: $\leq 0,15 \text{ MPa}$



Sikkerhedsfaktor = 1,5

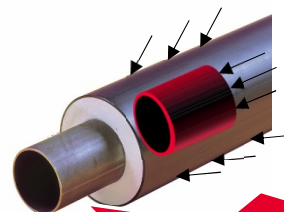


Forskydningsspænding:

Forskydning ved 140°C, test $\leq 0,08 \text{ MPa}$

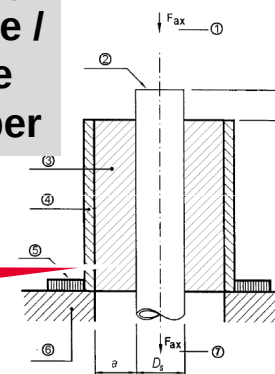
Friktion på kappe giver:

Design værdi (stål overflade) $\leq 0,027 \text{ MPa}$



Sikkerhedsfaktor = 3

Udfordring!
mekaniske /
termiske
egenskaber



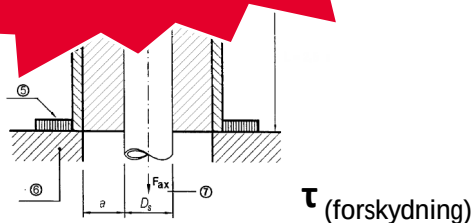
$\tau_{\text{(shear)}}$

PUR's levetid og systemets funktion - 50 år?

LOGSTOR

Vigtigste mekaniske egenskaber

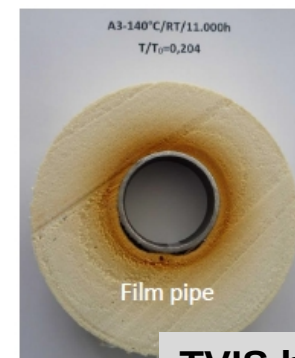
Stor betydning for
systemet ($S = 3$)
ingen langtidstest



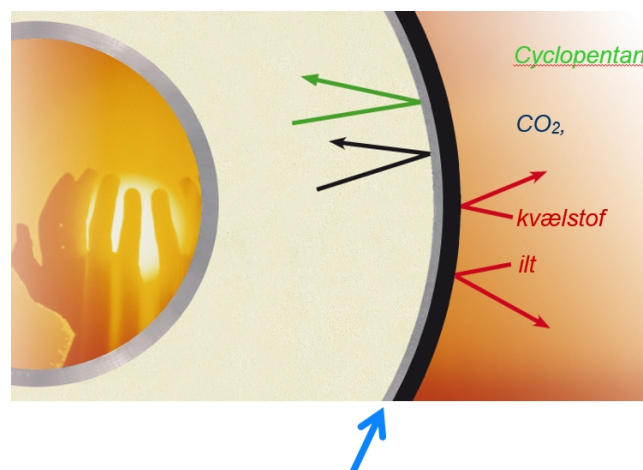
Mindske mekanisk nedbrydning ved højere
temperaturer – mindske ilt diffusion

Anvend barriere på aktuelle dimensioner for
at mindske ilt diffusion og sikre vedvarende
gode isoleringsegenskaber og lang levetid!

Tyske levetidsundersøgelser viser, at ilt-barrierer nedsætter
ældningen – specielt ved højere temperaturer

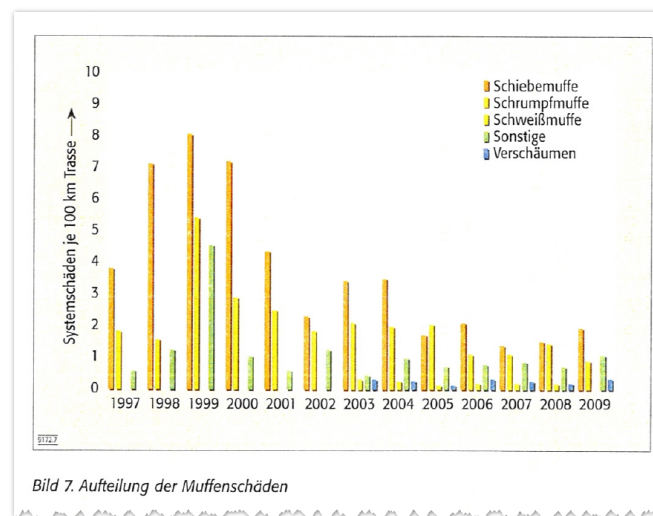


TVIS har i dag helt
diffusionstætte
systemer!



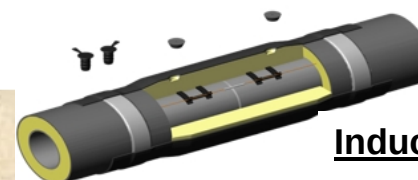


Krymp eller svejs – alle muffer testes

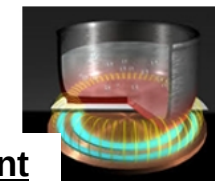


I drift: Muffer i L_F bevæger sig med temperaturvariationer

Sandbox test



InduconJoint

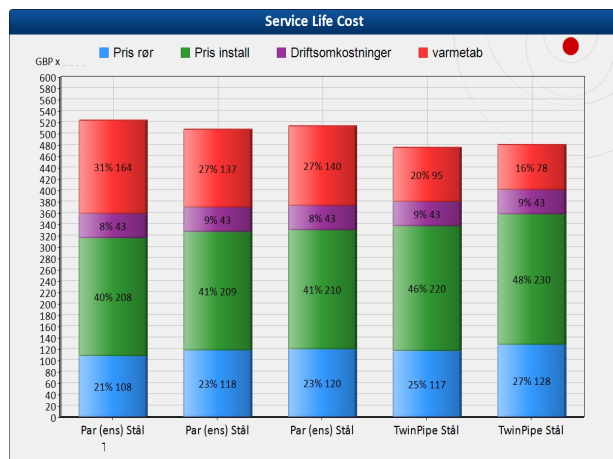


Der udvikles løbende, f.eks:
Induktions svejsemuffe
Ingen terminaler –
Enklere montage –
10-15% lavere pris

Varmetab

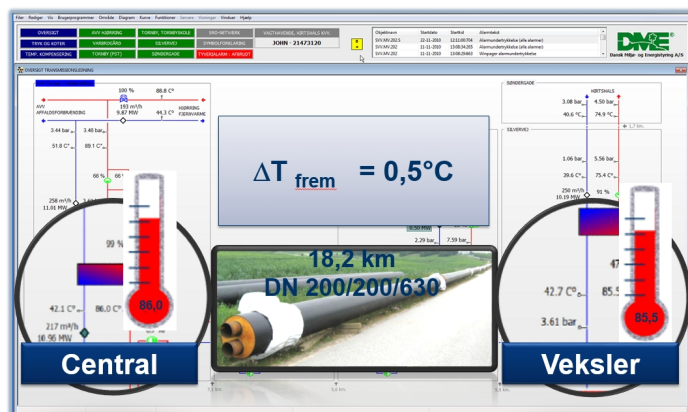
Varmetab – udfordring ved transmissionsledninger

LOGSTOR



Temperaturfald – praktisk måling

LOGSTOR

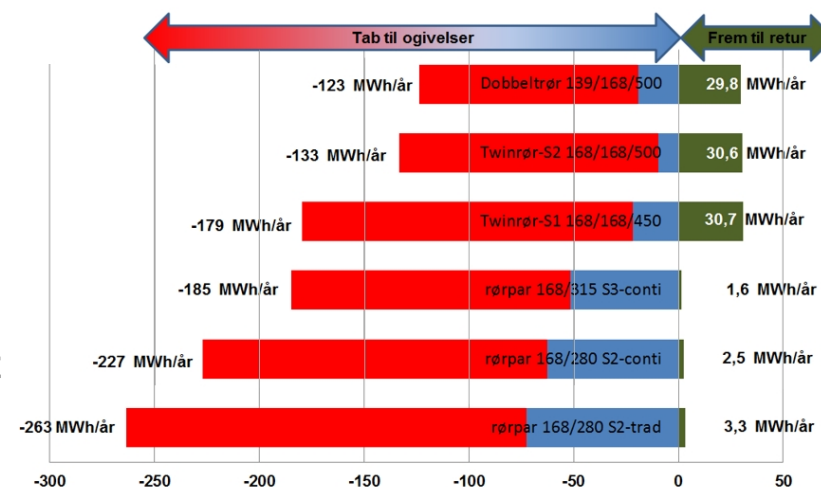


11 Varmetab

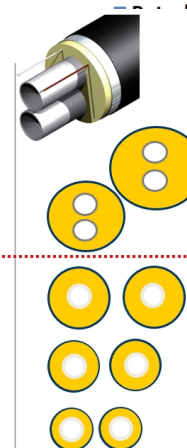
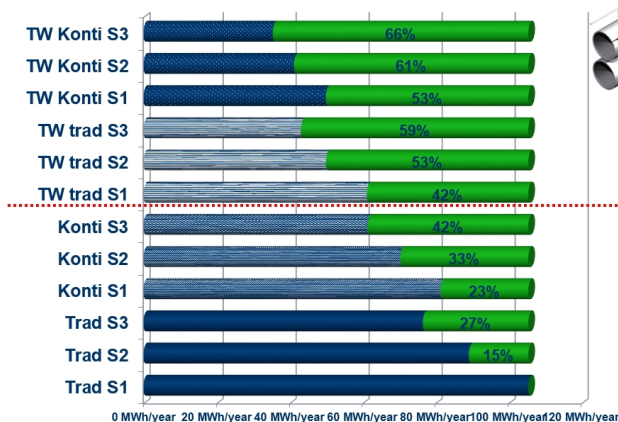
- a) Materiale egenskaber
- b) Levetidsomkostninger

Konstant flow / spids / lav
Temperaturfald
Afkøling

Kræver regne gymnastik at
finde optimale løsning



Varmetab - 1000 m DN 80 – gennemsnit 30 år



Udfordring!
mekaniske /
termiske
egenskaber

Lægningsteknik

- **Varmeforspænding:**
 - Med E-Comp
 - Varmeforspænding i åben grav.
- **Koldforlægning:**
 - Kan give store 1. gangs bevægelser.

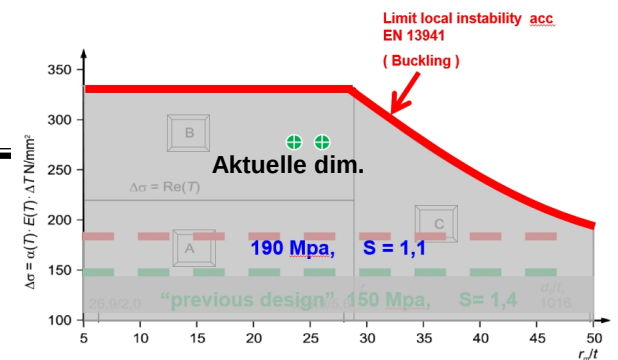
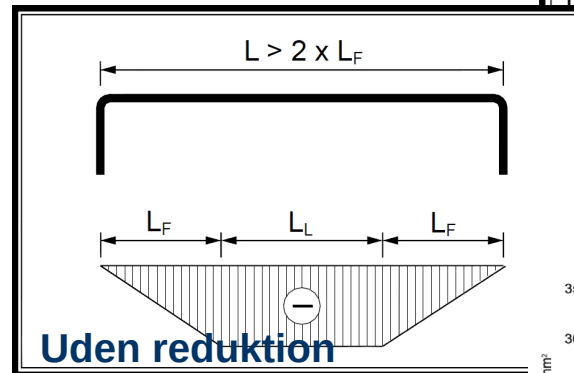
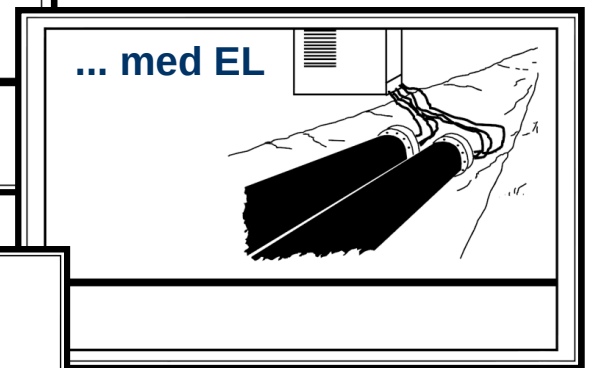
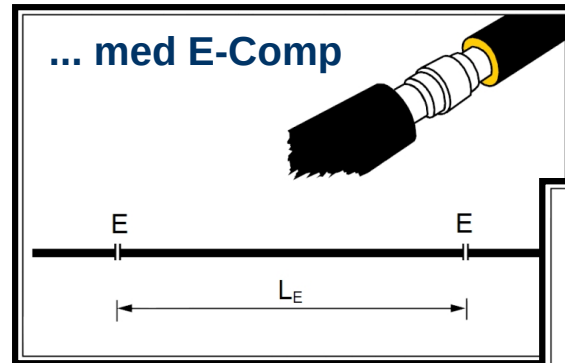
Overvej om det er nødvendigt at reducere:

Der er strækninger, hvor der ikke er mange andre ledninger.

Kombiner gerne tekniker

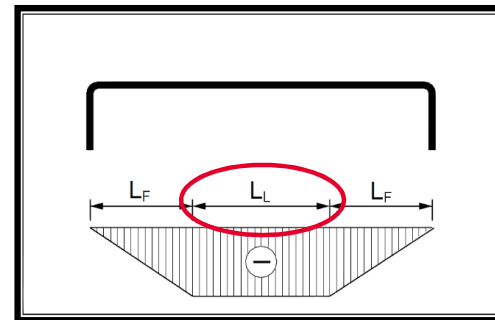
Planlæg forud

Videreudvikling af mekanisk forspænding af bøjninger.



Omkringfyld:

- Friktionszoner (L_F) har krav på et godt friktionsmateriale
- Transmissionsledninger har ofte lange zoner, der er låst af friktionen.
- Her er der ingen bevægelse, så ofte kan stedlige materialer genbruges. Potentiale for besparelser.



Boring gennem blødbundsområder:

- Boring med eller uden foringsrør. (risiko)
- Sikre at øget ekspansion kan optages
- Evt. sikre med dobbelt svejsemuffer eller dobbeltsvejste muffer.
- Enkle tiltag kan øge den samlede kvalitet og levetiden

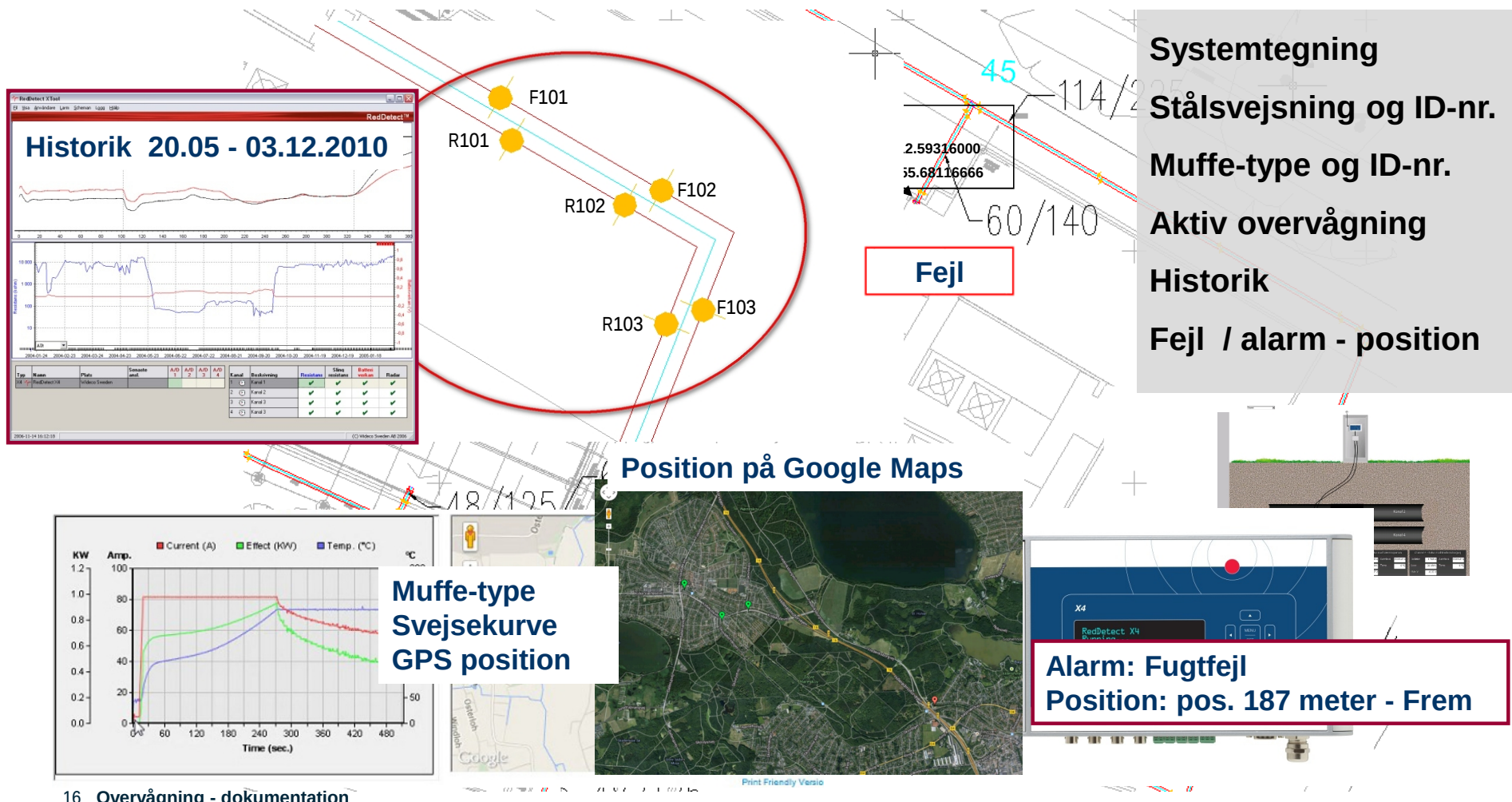


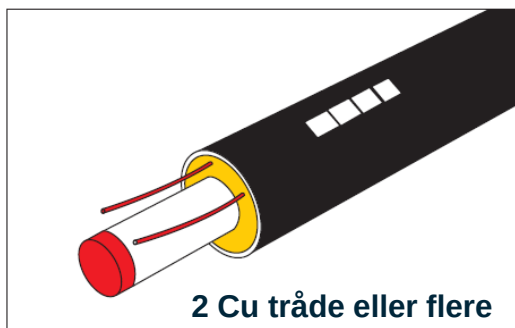
Stærkeste svejsemuffer ved DF test i 2013

Overvågning / garanti

Dokumentation / viden om systemets tilstand

LOGSTOR

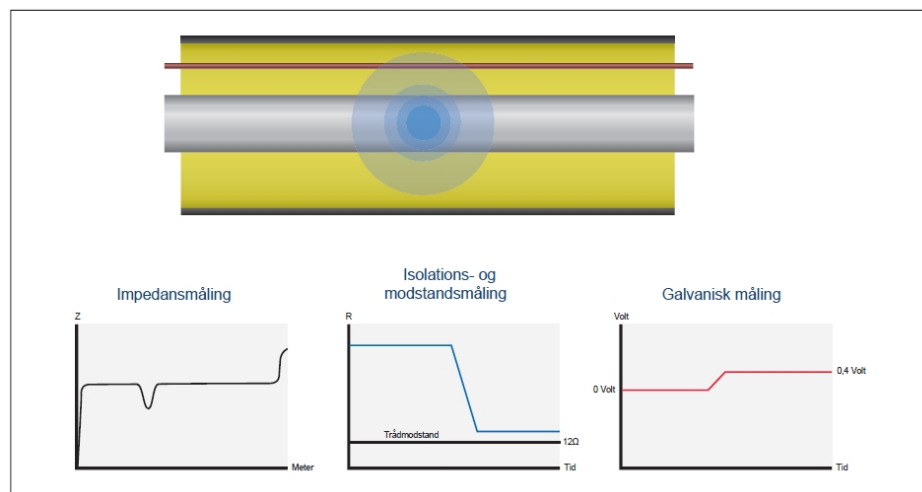




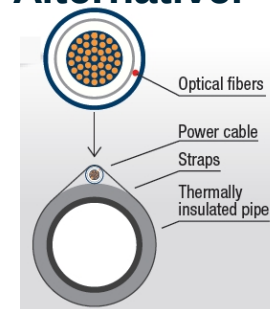
- Isolationsmåling.
- Galvanisk måling.
- Impedansmåling (position).

Mange muligheder for information om tilstand i dag på et højt niveau.

TVIS har stor focus på overvågning - kender værdien.
Andre kunne lære noget – for at sikre lang levetid.



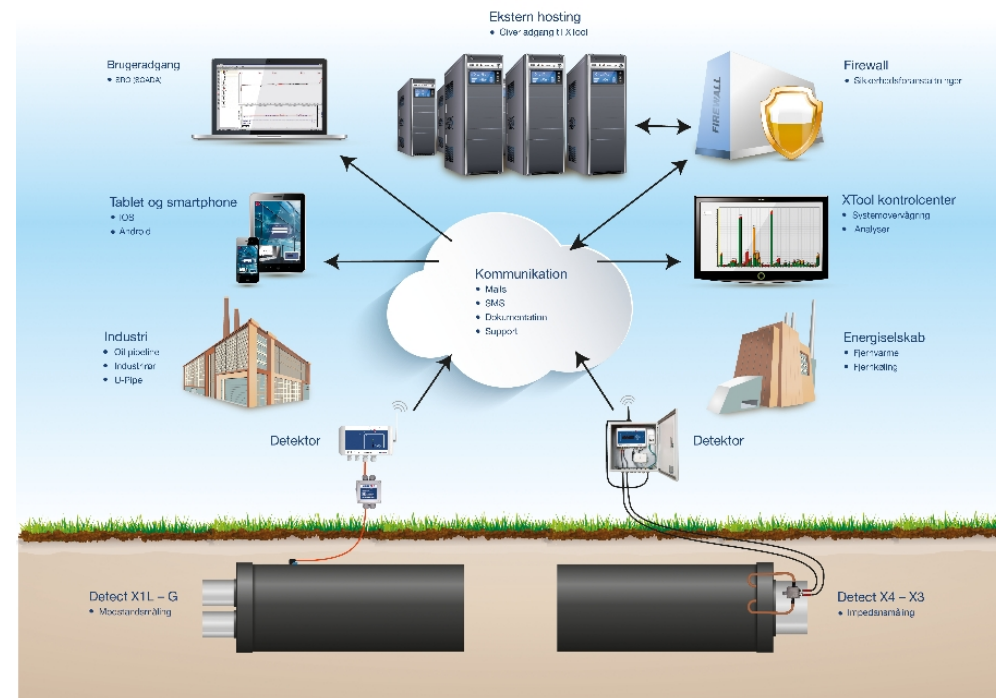
Alternativer



LOGSTOR Olie og Gas
arbejder med optisk fiber

- Vi leverer og installerer alle Detektorer
- Vi forbinder alle Detektorer til “Global Connect Hosting”
- Vi overvåger systemet 24 timer
- Vi leverer månedlig rapport på systemets status

- Tilgang med:
- PC, tablet eller smartphone
- Kommunikation:
- SMS – E-mail – rapporter

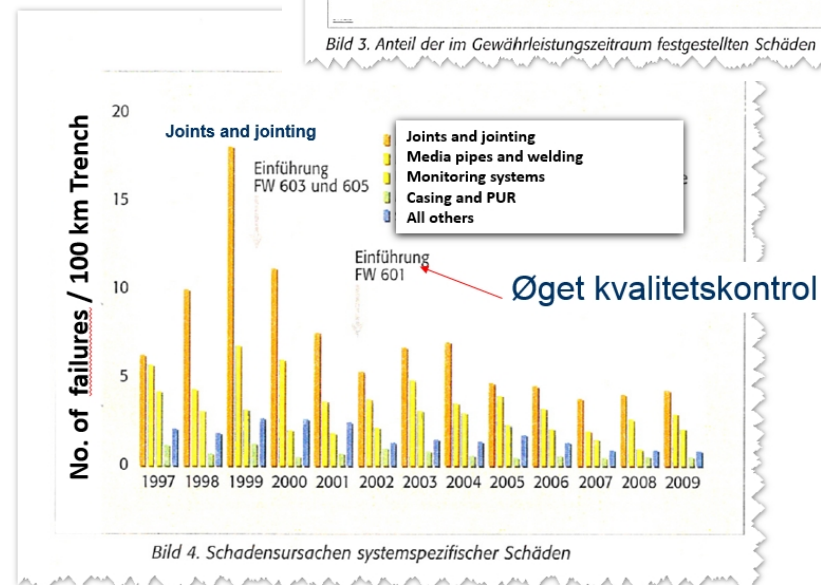


Med styr på kvalitet og historik
à reduceres antallet af fejl
det viser bl.a. tyske statistikker.

Når LOGSTOR er med til:

- Systemdesign
- Egen installation af muffer
- Sikring af historik
- Total koncept for overvågning

Mulighed for
udvidet garantiperiode!



Kan den nuværende
rørteknologi og
installationskonceptet
videreudvikles og
forbedres?

Ja der er stadig
muligheder!

Flex Cities 2

Bjarne K. Jepsen

15 November 2016

3 INPUT FRA ISOPLUS

3.1 Bilaterale drøftelser

FlexCities2

Møde d. 16/6-2016

Deltagere:

Bjarne Hunderup - BH	Fjernvarme Horsens
Anders Jepsen - AJ	TVIS
Jesper Ferslev - JF	COWI
Jan Sundgaard - JS	isoplus
Jens Rasmussen - JR	isoplus (referent)

Kopi: deltagere + Verner Rosendal isoplus

Dagsorden

1. Kort orientering om FlexCities2
2. Præsentation af rørtrace
3. Projektets tekniske krav og specifikationer
4. Tekniske løsninger
 - a. Traditionelle løsninger
 - b. Nye innovative løsninger
5. Økonomi
 - a. Traditionelle løsninger
 - b. Nye innovative løsninger
6. Eventuel

Referat

1. AJ orienterede kort om projektet
2. JF gennemgik traceet og de specielle forhold omkring jernbanekrydsning i Hedensted.
3. Tekniske specifikationer – 102°C – 80° - 25 bar.

JR der er tale om et PED projekt hvilket gør projektet mere omkostningstungt i forhold til den krævede dokumentation.

4. a. Twinrør blev afvist som en mulig løsning.
- b. Muligheden for at anvende to fremløbsledninger, således at den ene fremløbsledning tages ud af drift i sommerperioden skal undersøges.

Muligheden for EL-traceede rør blev diskuteret som en mulighed for at varme fjernvarmevandet op når strømprisen er lav, umiddelbart vurderes det til at være en økonomis dårlig løsning i forhold til at anvende strømmen i en varmepumpe, hvor virkningsgraden vil være langt bedre.

JR på de friktionsfikserede strækninger vil jorden kunne genanvendes, så længe jorden er fri for store og eller skarpe genstande.

Der bør indgå en jordentreprenør i gruppen da jordentreprenørens omkostninger typisk udgør 50 – 70% af anlægsomkostninger til en fjernvarmeledning.

Entreprenøren skal bla. komme med ideer til en løsning hvor rørene ”pløjes” og løsninger til underboring i sumpet område, m.m.

5. a/b. Der skal regnes på at opnå den optimale isolerings serie, er minus isolering en mulighed på returløbet?

Serie 4 på fremløbet?

Prisforskel på varmemforspænding med EL og forspænding med engangskompensatorer skal undersøges.

Der udføres varmetabsberegning på de forskellige løsningsmodeller.

6. Formular for registrering af timer kan rekvireres på p.kristensen@outlook.com

20 Juni 2016
Jens Rasmussen

3.2 Præsentation på workshop

Kan den nuværende rørteknologi og
installationskonceptet
videreudvikles og forbedres?

Jens Rasmussen

Teknisk chef

isoplus Fjernvarmeteknik A/S

Teknologisk udvikling

- Historisk set er det største spring sket her:



Og hvad så nu?

Teknologisk udvikling

- **I dag:**

De præisolerede rørsystemer vi har i dag, er en gennemprøvet teknologi som gennem lang erfaring er dokumenteret til at kunne holde i 30 år og som opfylder EN253



Hvis der ændres på systemerne, skal der være en risikovillighed til at afvige fra de kendte og veldokumenterede komponenter der anvendes i dag

Teknologisk udvikling

- Innovationen skal drives under 3 faktorer

Grønnere løsninger

Rentable løsninger

På markedsvilkår

Resulterende i **BEDRE** og **BILLIGERE** løsninger

Hvem vil have den dyre, grønne løsning?

Som eksempel havde en grønnere løsning været mulig til Flex Cities 2, ved at vælge rør med en højere isoleringsklasse.

Teknologisk udvikling

- Med de komponenter der er til rådighed i dag, set i forhold til
 - Kappematerialer
 - Skum
 - Medierør

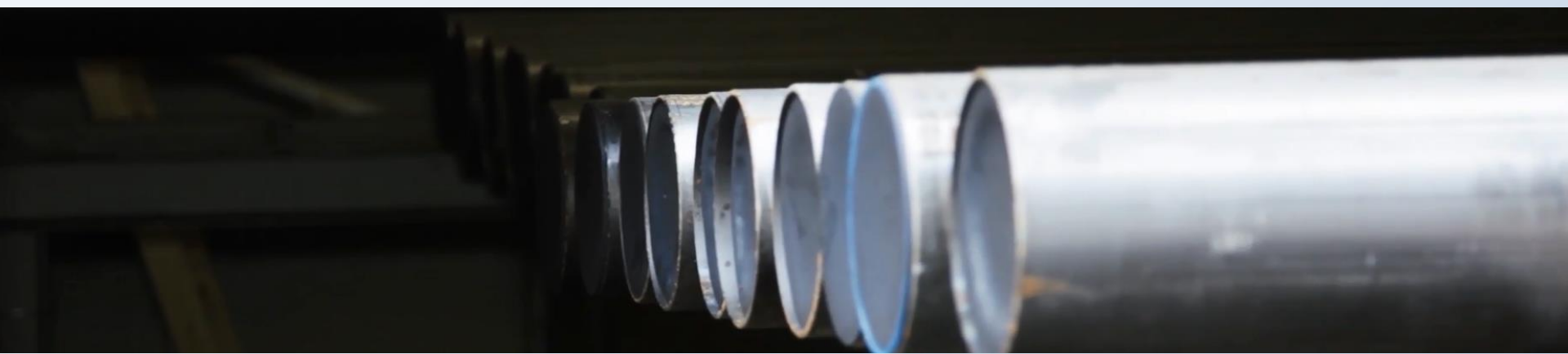


Ligger der så store innovative spring lige for på rørteknologien?

Hvordan kan man optimere/være innovativ?

Innovation - Stålrør

- Vi anvender de mest økonomiske materialer
- I teorien kunne anvendes rør med mindre godstykkelse.
 - Begrænses af EN253
 - Vil være dyrere at fremskaffe, da det ikke er standardvare



Innovation - Isolering

- Der er store krav til isoleringens fysiske egenskaber
- Der findes andre materialer på markedet, men de er generelt for dyre, mindre gode for arbejdsmiljøet, og lever ikke op til normen
- EN253 foreskriver polyurethanskum
- Lambdaværdierne forbedres tilsyneladende marginalt, men bliver mere og mere stabile

Hvor meget vægtes varmetabet?



Innovation - Isolering

- Lambdaværdien indgår i en samlet kalkuleret økonomisk prisbetragtning

- Tildelingskriterier
 - Pris inkl. varmetab
 - Leveringstid
 - Teknisk værdi
 - Garanti og ansvar
 - Service og teknisk bistand



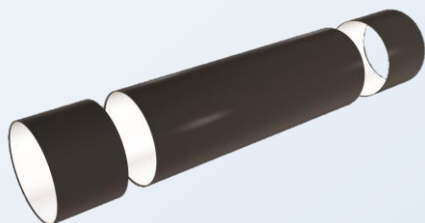
Innovation - Kapperør

- Fantastiske egenskaber
- Mindre godstykker ville være muligt, men begrænses af EN253
- Diffusionsspærre $\leq \varnothing 355$ kappe



Innovation – Muffer og fittings

- Diffusionsspærre på muffer og fittings
 - Har i princippet på muffer været på markedet altid, men fravælges pga. merprisen
 - Fittings på mindre dimensioner
 - På fittings bruges der allerede i dag tykkere kapperør end på lige rør



Innovation - andet

- Indbygget intelligens i produkterne
 - Tags på muffe; kan udnyttes til geografisk placering, hjælp til fejlsøgning, fakturering, svejsekurver
 - Tags på stålrør; kan udnyttes til information om stålrørssvejsninger, information om chargenumre, produktionsår med mere
- Lyslederkabler til overvågning og varmetabsmåling
 - En mulighed; dog bør vedligeholdelsesomkostninger overvejes nøje, samt krav til mere specialiseret personale til at udføre fejlsøgning



Teknologisk udvikling

MEN!

Rørleverancen udgør kun ca. 15-20% af de samlede anlægsomkostninger ved etablering/renovering af fjernvarmenet

*Alle elementer i projektet bør optimeres,
også jord og smedearbejdet*

Flex Cities 2

Idéer og forslag til overvejelse
i forhold til det konkrete projekt

Mulige optimeringsforslag

- Sænkning af temperatur -

Længere levetid på rørene

- Tommelfingerregel: Når temperaturen sænkes 10°C, så fordobles den termiske levetid for polyurethanskummet

Undgå PED

- Minimere omkostninger til 3. parts kontrol
- Ingen trykberegning af fittings
- Ingen 3.1 certifikater = mindre administrationsomkostninger
- Minimere spændingsaflastning – forspændingselementer/varmeforspænding

Konkret kan der spares 140 forspændingselementer, herunder også materialeomkostninger til ekstra svejsninger /alternativt spares elektrisk forvarmning

Mulige optimeringsforslag

- Sænkning af temperatur -

Varmetabsbesparelse

Forudsætninger

- | | | | | | |
|--------------------|-------|---------------------|-------------|----------------------|------------|
| • Maks fremløb | 120°C | • 14,5 km ø273/500 | 25MW | • Tryk | 25 bar |
| (kræver PED) | | • 9,5 km ø219,1/400 | 15 MW | • Afstd. mellem kap. | 0,3 m |
| • Retur temperatur | 40°C | • Jorddække | 0,8 m | • Pris | 0,3 kr/KWh |
| • Jord temperatur | 8°C | • Lambda jord | 1,2 W/(m*K) | • Rente | 3% |

Temperatur Fremløb	Temperatur Retur	Dimension De første 14,5 km	Dimension De sidste 9,5 km	Tryktab	Varmetab MWh/år	Varmetab over 30 år
120°C	40°C	273/500	219/400	31,2 bar	7263	42,7 mio. kr.
110°C	40°C	273/500	219/400	40,5 bar	6758	39,7 mio. kr.
100°C	40°C	323/560	273/500	20,3 bar	6611	38,9 mio. kr.
90°C	40°C	323/560	273/500	29,0 bar	6078	35,7 mio. kr.

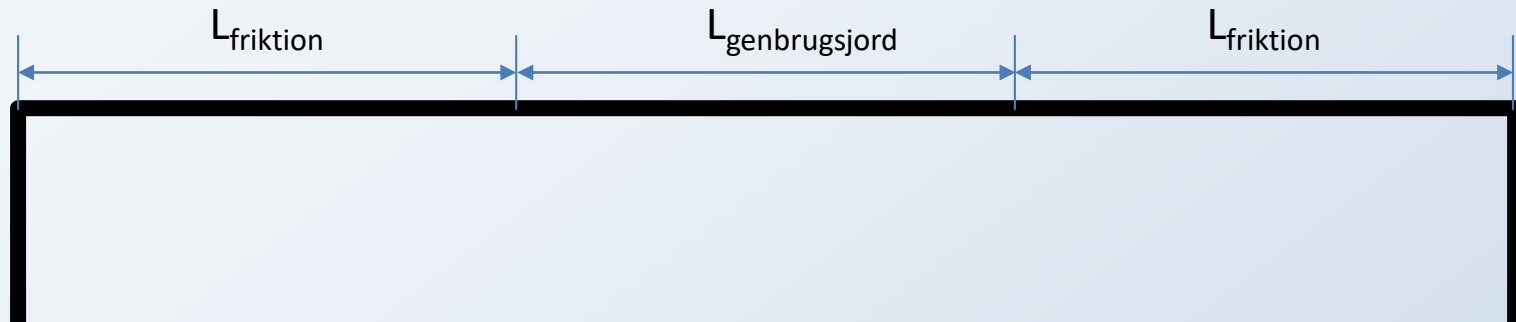
Ved reduktion af fremløbstemperaturen fra 120°C til 90°C opnås en varmetabsbesparelse over 30 år svarende til **7,0 mio. kr.**

Hertil skal besparelse på el og evt. færre pumpestationer også tages i betragtning.

Dobbelttrør vil umiddelbart være en fordel, hvis dimensionerne ikke ændres.

Mulige optimeringsforslag

- Anvendelse af genbrugsjord -



Mulige optimeringsforslag

- Stålrørssvejsninger -

- Kan der anvendes svejserobotter (kun enkeltrør)?
 - Kræver at de rette produktionsforhold kan etableres.
- Skifteholdsarbejde?
 - Med det formål hurtigere at gå i drift og opnå planlagt besparelse

Opsummering

- innovation -

- Vi har i dag rørsystemer af meget høj kvalitet som er veldokumenterede med stort erfaringsgrundlag
- Anvendelse af nye komponenter kan kun ske efter grundig risikovurdering og hvor produktet stadig er rentabelt i forhold til efterspørgslen
- Der er god grund til at lægge en ekstra indsats i de enkelte projekters optimering

Opsummering

- Flex Cities 2 -

- Kan der optimeres ved at kigge på dimensioner og temperaturer igen?
- Er det muligt delvist at anvende dobbeltrør?
- Diffusionsspærre på kapper $\leq \varnothing 355$
- Kan der anvendes genbrugsjord?
- Involver entreprenørerne på et tidligt tidspunkt
- Kan der anvendes svejserobotter?

4 INPUT FRA TEKNOLOGISK INSTITUT

4.1 Idekatalog



COWI A/S
Att. Jesper Ferslev Andersen
Jens Chr. Skous Vej 9
8000 Aarhus C

Teknologiparken
Kongsvang Allé 29
8000 Århus C
Telefon 72 20 20 00
Direkte 72 20 12 08
Telefax 72 20 20 19
www.teknologisk.dk

17. juli 2016
nhwn/-

Flex Cities 2 – fase 1

Forord

Teknologisk Institut er til ovenstående projekt blevet bedt om at foreslå en række innovative løsninger på en transmissionsledning mellem Vejle og Horsens. Når løsningerne skal være innovative, betyder det således, at et rørpar, evt. med reduceret fremløbsdimension, ikke er innovativ, da det er den mest traditionelle løsning.

Ofte er den mest traditionelle løsning også er den umiddelbart mest økonomiske i begyndelsen, men da den forventede levetid for en fjernvarmeledning er på mindst 30 år, er innovative og dermed umiddelbart dyrere løsninger ofte de billigste på sigt.

Et helt særligt fokusområde for os er ledningens varmetab. Gennem mere end 15 år har Teknologisk Institut udført varmetabsmålninger på præisolerede fjernvarmerør, og vi har gennem de mange prøvninger, der er udført i denne periode, kun set en relativ ringe udvikling i reduktionen af varmetabet fra traditionelle rør isoleret med PUR.

Baggrunden for de foreslåede løsninger er derfor, at de vil sikre et lavere ledningstab uanset at de umiddelbart er dyrere fra første færd. Løsningerne ligger inden for, hvad der er teknisk muligt og hvad der som sådan kan produceres i dag; det innovative ligger i måden, som teknologierne kombineres på.

Det er blevet os oplyst, at ledningens driftstemperaturer som udgangspunkt er $t_f = 120$ $t_r = 40$ °C.

På et indledende møde afholdt 6. juli 2016 hos COWI A/S blev endvidere bl.a. ledningens tracé gennemgået.



Idéforslag

1) To twinrør

De foreløbige beregninger fra COWI A/S giver en ledningsdimension fra Vejle til Hedensted på DN 350 og fra Hedensted til Horsens på DN 300. Effekttabet fra et sådant enkeltrørspar i serie 3 er for disse dimensioner ca. 38-39 W/m ved en jorddækning på 70 cm, en varmekonduktivitet for isoleringen på 0,025 W/(m·K) og for jorden på 1,6 W/(m·K) samt en jordtemperatur på 8 °C.

Ledningen foreslås lagt som to mindre twinrør i stedet for to store enkeltrør. Uden at have adgang til projektets relevante hydrauliske data i øvrigt, vil to twinrør med medierør som fx DN 150+200 kapacitetsmæssigt samlet være tæt på dimensionerne fra de foreløbige beregninger, idet der forudsættes differentierede medierørdimensioner af hensyn til den hydrauliske balance, hvor fremløbsdimensionen kan reduceres grundet vandets høje temperatur, lave viskositet og dermed samlede friktionstab. Emnet er nærmere beskrevet i fx Varme Ståbi 7, afsnit 8.5.6, hvor grundlaget for, at det for små og mellemstore rørdimensioner oftest er returledningen, der er dimensionsgivende, bliver gennemgået.

Da twinrør dels ikke fremstilles i de dimensioner, som de foreløbige beregninger giver, dels vil være særdeles store med et højt horisontalt inertimoment, der vil gøre lægningen vanskelig, er idéen at lægge to twinrør i stedet for to enkeltrør. Herved begrænses varmetabet og pumpeeffekten, og ledningen bliver 'variabel' i sin dimension. I sommerhalvåret vil det ene twinrør kunne sættes ud af drift, og når fyringssæsonen nærmer sig, tages de begge i brug. Udfordringen med den store mængde afkølede vand i det frakoblede twinrør skal naturligvis løses, idet det i rørets levetid vil give mange lastcykler, der dog fx vil kunne løses ved et omhyggeligt valgt trace, så spændingerne bliver acceptable under hensyntagen til den halvårslige opvarmning og afkøling.

Mens varmetabet fra et twinrør er lavere end fra to enkeltrør, er ulempen med twinrør en ikke ringe opvarmning af returvandet grundet den relativ tætte placering af medierørene med en lille isoleringsafstand mellem dem. Det traditionelle varmetab til jorden fra to enkeltrør ændres i et twinrør et reduceret varmetab til jorden samt en termisk indre kortslutning; energien bliver således i højere grad i røret end det forsvinder ud i jorden.

Effekttabet fra to twinrør i serie 3 som DN 150 vil være ca. 34 W/m og som DN 200 ca. 28 W/m, altså som ventet lavere end for et enkeltrørspar. En ledning med differentierede medierør som fx DN 150+200 vil da effekttabsmæssigt ligge et sted midt imellem disse to. Da ledningen uden for fyringssæsonen kan reduceres til ét twinrør i drift, vil effekttabet i denne periode derfor være betydeligt reduceret til ca. 15-16 W/m.

Rørene bør fremstilles i mindst isoleringsklasse 3 og gerne med komplet diffusionsspærre, dvs. rør, fittings og muffe, så det samlede system er uden diffusionsmuligheder for cellegasserne.

En eller flere større varmepumper på strækningen kan evt. udnytte energien i returvandet, så det afkøles, inden det når værket.



Nærmere beregninger af såvel de hydrauliske og de varmetabsmæssige aspekter vil naturligvis skulle udføres på baggrund af de i projektet relevante data, og ovenstående forslag er således blot en idé til kataloget over anderledes løsninger i forhold til et traditionelt rørpar.

2) **Bedst mulig isolering**

Som nævnt i forordet er udviklingen i en reduktion af varmekonduktiviteten for PUR ikke specielt imponerende set i forhold til andre teknologiske landvindinger fra samme tidsperiode, men der er dog relativ stor forskel på den isolering, som de enkelte producenter fremstiller.

Gennem de årlige prøvninger for Dansk Fjernvarme, som Teknologisk Institut udfører, og som offentliggøres i forbindelse med to temadage om præisolerede fjernvarmerør samt på hjemmesiden, ses forskellene mellem producenterne tydeligt, og det er vores ubetingede anbefaling, at anvende rør med lavest muligt effekttab gennem at vælge en producent med den laveste varmekonduktivitet; kombineret med en (komplet) diffusionsspærre vil det sikre ledningen et lavt effekttab gennem dens levetid.

3) **Særlig god isolering**

For et par år siden introducerede den svenske rørproducent Powerpipe et twinrør, hvor fremløbsmedierøret er omgivet af en 10 mm tyk måtte af aerogel/nanoisolering under vakuum. Disse rør har siden da indgået i den årlige prærørskontrol, og viste fx i 2014 tydeligt, at der for twinrør som DN 50 i serie 2 sker en reduktion af effekttabet fra fremløbsrøret på ca. 40 % i forhold til de øvrige producenter, vis rør udelukkende var isoleret med PUR.

Den anvendte PUR i dette specielle rør var dog ikke testens bedste, hvorfor det samlede effekttab fra røret placerede det på linje med testens i øvrigt bedste producent, men havde der været anvendt et PUR af samme gode kvalitet, ville røret ubetinget have klaret sig termisk bedst.

Varmekonduktiviteten for aerogel er på ca. $17 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ og under vakuum på ca. $4 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$, hvilket viser, at det er et særdeles velegnet materiale som isolering; anvendes det i relativ tynde skåle omkring det kritiske, dvs. varmeste, medierør i et twinrør, reduceres varmetabet mere, end der vil kunne opnås med traditionel PUR. Aerogel har ringe mekaniske men gode termiske egenskaber.

Idéen med et specielt godt isolerende materiale i umiddelbar nærhed af den kilde, der er årsagen til langt det største effekttab i såvel enkelt- og twinrør, er god, da temperaturen falder logaritmisk ud gennem rørets tværsnit, og det er derfor særdeles nyttigt at anvende en god isolator på en mindre del af det cirkulære tværsnit direkte omkring fremløbsrøret, uanset hvilket materiale det måtte være, men aerogel er kendt for at være en af de bedste termiske isolatorer overhovedet.

4) **Innovativ ledningsovervågning**

I stedet for de traditionelle metaltråde indstøbt i isoleringen foreslås en lysleder lagt umiddelbart under rørene. Det er en kendt teknologi, som ikke giver de samme meldefejl, som ofte ses med elektrisk virkende alarmtråde.



Ovenstående fire idéforslag kan – som en slags femte forslag – kombineres, så der lægges to differentierede twinrør med markedets bedste PUR og særlig god isolering omkring fremløbsrørene kombineret med en lysleder som overvågning.

Vi står naturligvis gerne til rådighed for uddybende spørgsmål til og diskussion om idéerne, og vi ser frem til det fortsatte samarbejde omkring at skabe en transmissionsledning baseret på bedst mulige innovative idéer.

Teknologisk Institut
Energi og Klima

Aarhus, den 17. juli 2016


Niels Winther
Civilingeniør

4.2 Præsentation på workshop



TEKNOLOGISK
INSTITUT

FlexCities2

Fire idébidrag til **innovative rørsystemer**

© Niels Winther, 2016



TEKNOLOGISK
INSTITUT

Vores umiddelbare forslag set ud fra et hydraulisk og varmetabsmæssigt synspunkt:

- To twinrør
- Bedst mulig isolering
- Særlig god isolering
- Innovativ ledningsovervågning

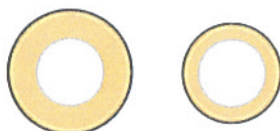
© Niels Winther, 2016

- To twinrør
- Bedst mulig isolering
- Særlig god isolering
- Innovativ ledningsovervågning



TEKNOLOGISK
INSTITUT

Vejle-Hedensted:



2×DN250, serie 3 + serie 1
(samlet 1.087 cm²)



2×DN200+150, serie 3
(samlet 1.097 cm²)

© Niels Winther, 2016

- To twinrør
- Bedst mulig isolering
- Særlig god isolering
- Innovativ ledningsovervågning



TEKNOLOGISK
INSTITUT

Hedensted-Horsens:



2×DN200, serie 3 + serie 1
(samlet 693 cm²)



2×DN150+125, serie 3
(samlet 679 cm²)

© Niels Winther, 2016

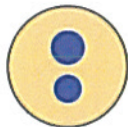
- To twinrør
- Bedst mulig isolering
- Særlig god isolering
- Innovativ ledningsovervågning



TEKNOLOGISK
INSTITUT



Vinterdrift: Varme



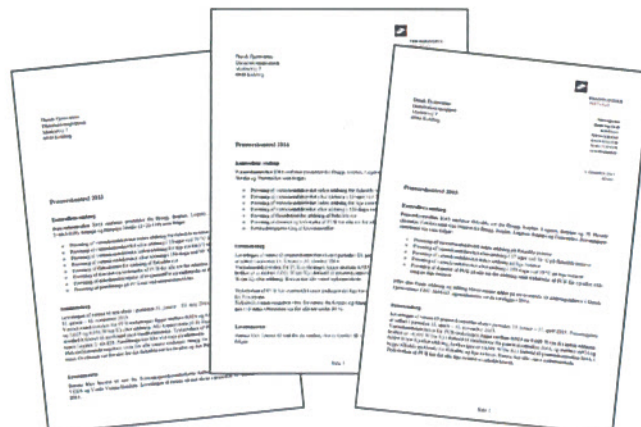
Sommerdrift: Varme og køling

© Niels Winther, 2016

- To twinrør
- Bedst mulig isolering
- Særlig god isolering
- Innovativ ledningsovervågning



TEKNOLOGISK
INSTITUT

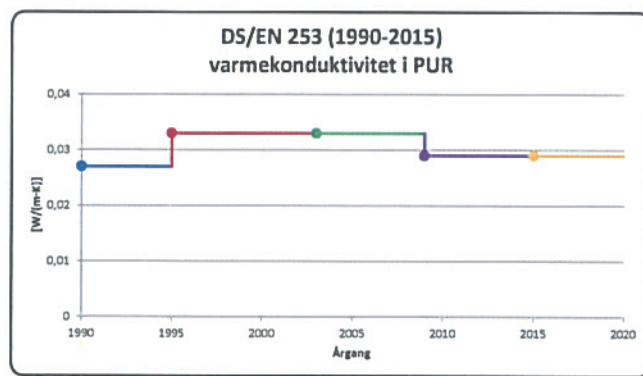


© Niels Winther, 2016

- To twinrør
- Bedst mulig isolering
- Særlig god isolering
- Innovativ ledningsovervågning



TEKNOLOGISK
INSTITUT



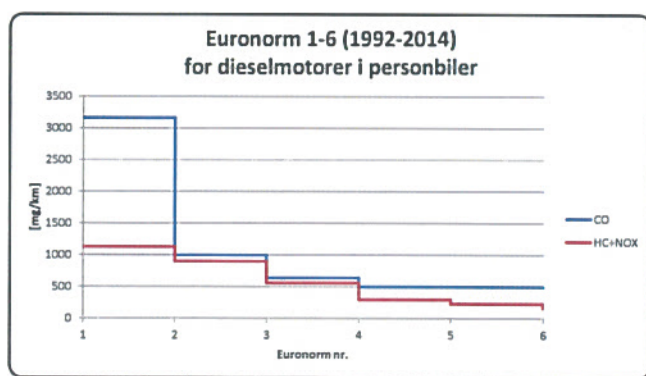
Ikke just den store udvikling at spore i normen...

© Niels Winther, 2016

- To twinrør
- Bedst mulig isolering
- Særlig god isolering
- Innovativ ledningsovervågning



TEKNOLOGISK
INSTITUT



...mens udviklingen er gået stærkt med fx dieselemmissioner

© Niels Winther, 2016

- To twinrør
- **Bedst mulig isolering**
- Særlig god isolering
- Innovativ ledningsovervågning



TEKNOLOGISK
INSTITUT



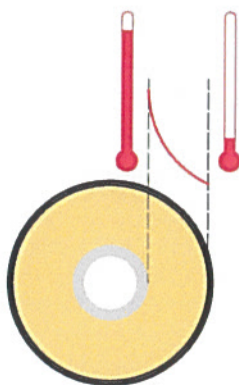
...og mobiltelefoner

© Niels Winther, 2016

- To twinrør
- **Bedst mulig isolering**
- Særlig god isolering
- Innovativ ledningsovervågning



TEKNOLOGISK
INSTITUT



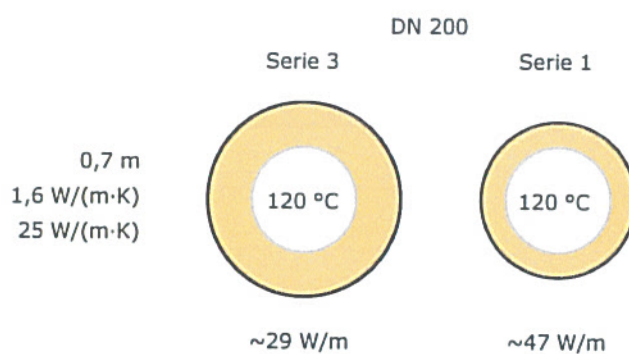
**...og vælg
meget af det**

© Niels Winther, 2016

- To twinrør
- Bedst mulig isolering
- Særlig god isolering
- Innovativ ledningsovervågning



TEKNOLOGISK
INSTITUT



© Niels Winther, 2016

- To twinrør
- Bedst mulig isolering
- Særlig god isolering
- Innovativ ledningsovervågning



TEKNOLOGISK
INSTITUT

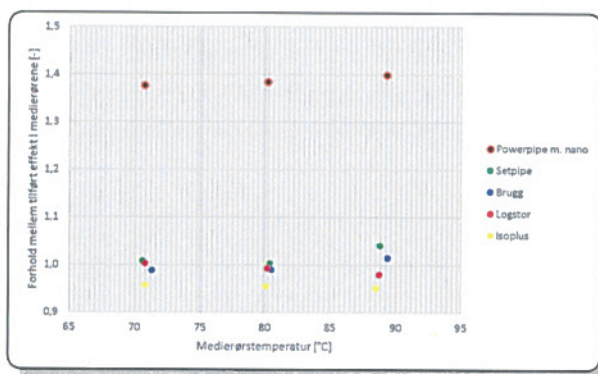


© Niels Winther, 2016

- To twinrør
- Bedst mulig isolering
- **Særlig god isolering**
- Innovativ ledningsovervågning



TEKNOLOGISK
INSTITUT



Dansk Fjernvarmes præerørskontrol 2014

© Niels Winther, 2016

- To twinrør
- Bedst mulig isolering
- **Særlig god isolering**
- Innovativ ledningsovervågning



TEKNOLOGISK
INSTITUT

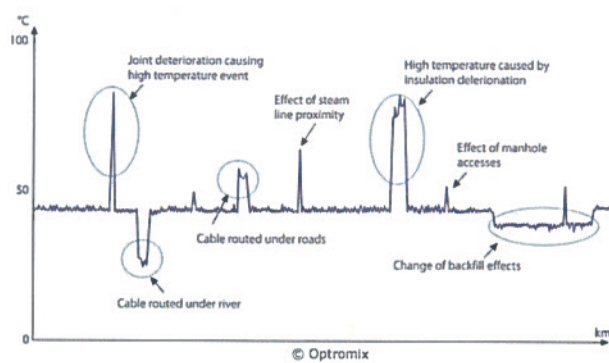


© Niels Winther, 2016

- To twinrør
- Bedst mulig isolering
- Særlig god isolering
- Innovativ ledningsovervågning



TEKNOLOGISK
INSTITUT



© Niels Winther, 2016

- To twinrør
- Bedst mulig isolering
- Særlig god isolering
- Innovativ ledningsovervågning



TEKNOLOGISK
INSTITUT



© Niels Winther, 2016



TEKNOLOGISK
INSTITUT

...og så er der tid til spørgsmål 😊

© Niels Winther, 2016

5 INPUT FRA AAU

5.1 Kravspecifikation for styring

Kravsspecifikationer for styring – FlexCities 2

Indledning

I blandt andet varmeplan Danmark fra 2010 og IDA's Energivision 2050 er det belyst, at store varmepumper har en central plads i et fremtidigt "Smart Energy System" (Dyrelund & Lund, 2010; Mathiesen et al., 2015).

Af IDA's Energivision 2050 fremgår det, at den fremtidige fjernvarmeproduktion vil inkludere en stor kapacitet af store varmepumper. Det vurderes at op mod 2.450 MW (varme) med fordel kan implementeres i energisystemet allerede i 2035 (Mathiesen et al., 2015). Energistyrelsen er lidt mere konservativ i deres fremskrivning af varmepumpernes betydning i det fremtidige energisystem. I "fjernvarmeanalysen" findes det, at ca. 650 MW med fordel kan implementeres i 2035 og op mod 1.050 MW i 2050 (Energistyrelsen, 2014).

Den fremtidige fjernvarmeproduktion i hhv. IDA's Energivision og to af Energistyrelsens scenarier er illustreret i Figuren herunder.

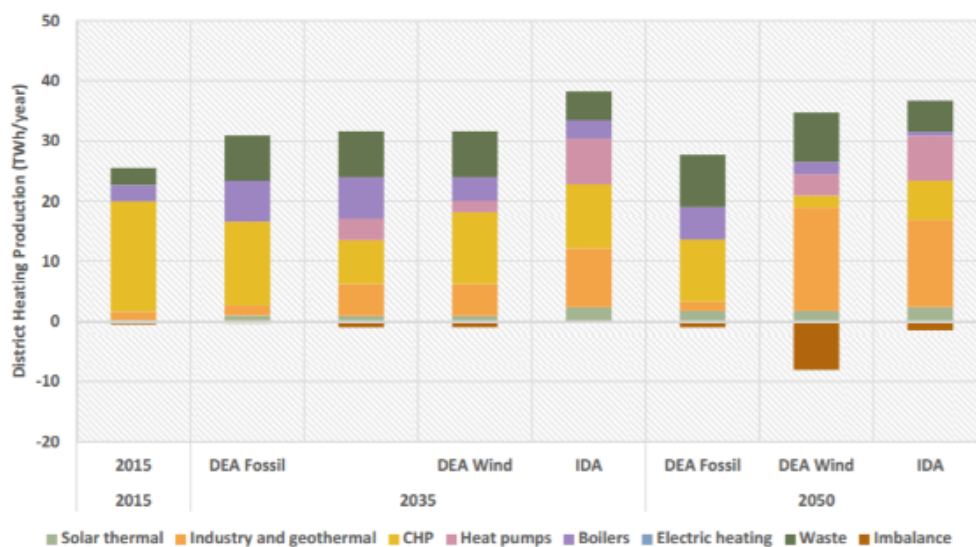


Figure 52. District heating production in the 2015, 2035 and 2050 scenarios

Store varmepumper har to primære funktioner i et fremtidigt energisystem:

- 1) Effektiv varmeproduktion baseret på el
- 2) Skabe fleksibilitet i energisystemet, hvilket muliggør indpasning af en større mængde fluktuerende elproduktion.

For at begge disse kan forenes, og samtidig sikre en fornuftig projektøkonomi for varmepumperne er der behov for et varmeproduktionsplanlægningsværktøj som tager højde for begge aspekter.

Kravsspecifikation:

- **Afbrydelighed**

Med udgangspunkt i et fremtidigt smart energisystem, hvor store dele af elproduktionen er baseret på fluktuerende produktionsenheder, såsom vindmøller og solceller, er der i højere grad behov for at kunne regulere behovssiden. Specielt i perioder med lav elproduktion kan der være behov for at reducere elbehovet, hvilket store varmepumper kan bidrage til, hvis fjernvarmesystemet designs så disse kan substitueres af alternative produktionsenheder eller varmeaftag fra lager. Derfor er det vigtigt, at systemet designs og styres så dette er muligt, også hvis uforudsete forhold skulle ændre elproduktionsprofilen.

- **Mulighed for at planlægge produktion for hele området**

For at sikre den mest effektive varmeproduktion er det vigtigt, at den samlede produktion i hele systemet optimeres. Dette vil kræve at der findes en passende samarbejdsform, hvor en central aktør påtager sig opgaven med at optimere det samlede fjernvarmesystem. Dette vil blive betydelig nemmere hvis alle producenter anvender samme balanceansvarlige, da prognoserne derved vil være identiske.

Produktionsplanlægningsværktøjet for denne overordnede produktionsplanlægning skal udformes så det kan håndtere og automatisk opdatere prognoser fra hhv. elpriser og varmebehov.

Kraftvarmeeenhederne bliver allerede optimeret ift. disse prognoser, med det formål at optimere deres indtjening på elmarkederne. Der er derfor vigtigt at styringen af varmepumperne kan baseres på de prognoser, som allerede anvendes af kraftvarmeværkerne.

Der er to muligheder for dette:

- 1) Hvert enkelt værk optimerer deres drift individuelt og melder derefter en varmeproduktionspris ind til den centrale aktør, som herefter vælger de billigste producenter indtil behovet er dækket.
 - a. Fordele:
 - Reducerer kompleksiteten af det samlede styringssystem, da en del af optimeringen udføres decentralt.
 - Driftmestrene på de enkelte værker må antages at kende værkerne bedst
 - Værkerne kan beholde deres nuværende balanceansvarlige aktør
 - Nemmere at implementere
 - b. Ulemper:
 - Risiko for suboptimering af fx lagerstatus da denne optimeres uafhængigt af det samlede fjernvarmesystem.
 - Større risiko for upræcise prognoser, da lokale forhold har større indvirkning, når antallet af forbrugere er lavt.
- 2) Hele fjernvarmesystemet betragtes som "et samlet værk", hvor alle produktionsenheder betragtes individuelt og optimeringen foretages for det samlede system.
 - a. Fordele:
 - Risikoen for suboptimering reduceres
 - Større sandsynlighed for præcise prognose grundet større antal forbrugere
 - Kan i højere grad automatiseres
 - Reducerer datastrømmene

b. Ulemper:

- Håndteringen af elsalg for "det samlede system" kræver at alle værker har samme balanceansvarlige
- Især for større fjernvarmesystemer kan kompleksiteten blive høj

Hvilken model der er mest egnet vil langt hen ad vejen afhænge af partnernes ønsker og størrelsen af fjernvarmesystemet.

- **Transmissionsbegrænsninger og varmetab**

Produktionsplanlægningsværktøjet skal være i stand til at optimere fjernvarmesystemet under hensyntagen til eventuelle transmissionsbegrænsninger og varmetabet i transmissionsledninger. Der kan muligvis inkluderes en funktion så spidslastkedlerne kan begrænses til kun at producere til det område hvor de fysisk er placeret og ikke til transmission mellem nettene (dette burde den økonomiske optimering sikre ikke sker, grundet varmetabet i transmissionsledningen)

- **Lagerstatus**

For at opnå en optimal drift af fjernvarmesystemet er det vigtigt, at produktionsplanlægningsværktøjet kan inkludere varmelagerstatus i alle varmelagre i fjernvarmesystemet, dog begrænset af transmissionsbegrænsninger samt varmetabet.

- **Automatisk placere bud på elmarkederne**

Produktionsplanlægningsværktøjet bør automatisk være i stand til at placere bud på elmarkederne på baggrund af pris- og varmebehovsprognoser, både i forhold til spot markedet og regulerkraftmarkedet. Der bør kunne differentieres mellem hvilke budtyper der skal placeres for hvert enkelt produktionsenhed, da en elpatron fx kan afgive prisafhængige bud på timebasis, mens en stor kraftvarmeenhed eller en stor varmepumpe er mere egnet til at afgive blokbud over flere timer. De forskellige produktionsenheders muligheder bør afspejles.

I forhold til varmepumpen bør der automatisk bydes ind med opregulering, hvis varmepumpen kører og hvis den ikke kører bør der bydes ind med nedregulering (forøge produktionen).

Prisen på disse bud kan udregnes som:

Samlet omkostning for fjernvarmesystemet → gentag optimeringen uden en given enhed → forskellen mellem de to optimeringer bør som minimum kunne dækkes af indtjeningen fra regulerkraftmarkederne. (offeromkostning)

- **Opstilling af algoritme for varmepumper**

Der bør opstilles en algoritme for varmepumperne som er i stand til at tage højde for, at varmepumpens COP afhænger af de konkrete temperaturforhold. Dette bør afspejles i produktionsplanlægningsværktøjets optimering, så en ændring af temperaturforholdene afspejles i varmepumpens produktionspris.

Hvad gør man andre steder?

Varmelast.dk:

Varmelast.dk er en sammenslutning af VEKS, HOFOR og CTR og har siden 2008 varetaget varmeproduktionsplanlægningen i hovedstadsområdet. Det skal bemærkes at varmelast.dk ikke er balanceansvarlig, hvorfor værkerne eller deres respektive balanceansvarlige selv indmelder bud til elmarkederne.

Det storkøbenhavnske fjernvarmenet inkluderer fire integrerede fjernvarmesystemer, som består af en række produktionsenheder med forskelligt ejerskab, herunder:

- Tre (centrale) kraftvarmeværker
- Tre affaldsforbrændingsanlæg
- Et geotermisk anlæg
- Reserve og spidslastkedler
- To varmeakkumulatorer med en samlet kapacitet på 600 MW

Heraf er affaldsforbrændingsanlæggene samt geotermien politisk prioriteret, hvorfor disse som udgangspunkt skal producere, hvis der er et varmebehov (grundlast). Det samme gør sig gældende for industriel overskudsvarme, som dog udgør en begrænset andel.

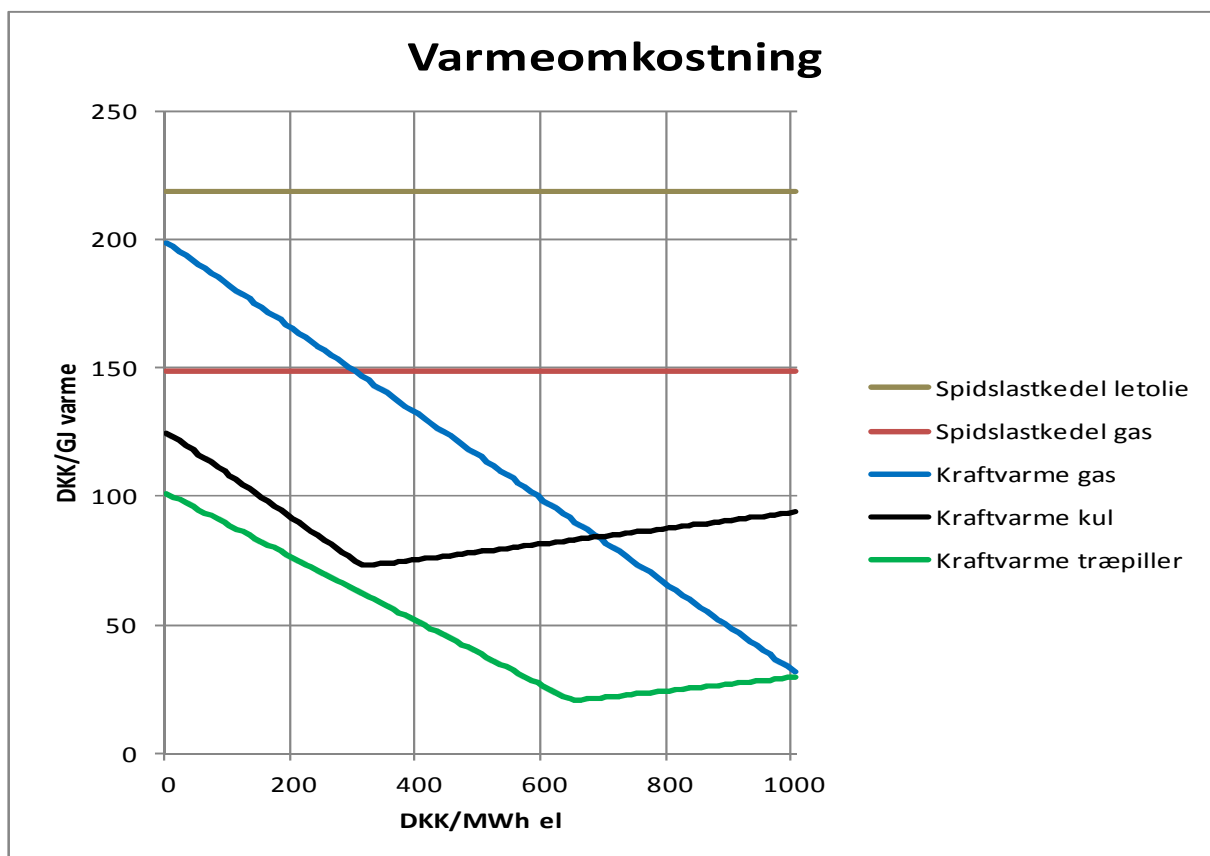
Disse produktionsenheder producerer varme til omtrent 500.000 slutbrugere, hvilket svarer til en årlig varmeproduktion på ca. 34.500 TJ (ca. 15 % af det samlede varmebehov i Danmark)

Den samlede produktion optimeres på baggrund af følgende variable omkostninger:

- Brændselsomkostninger
- CO₂-kvoter
- Drift og vedligeholdelsesomkostninger
- Energiafgifter

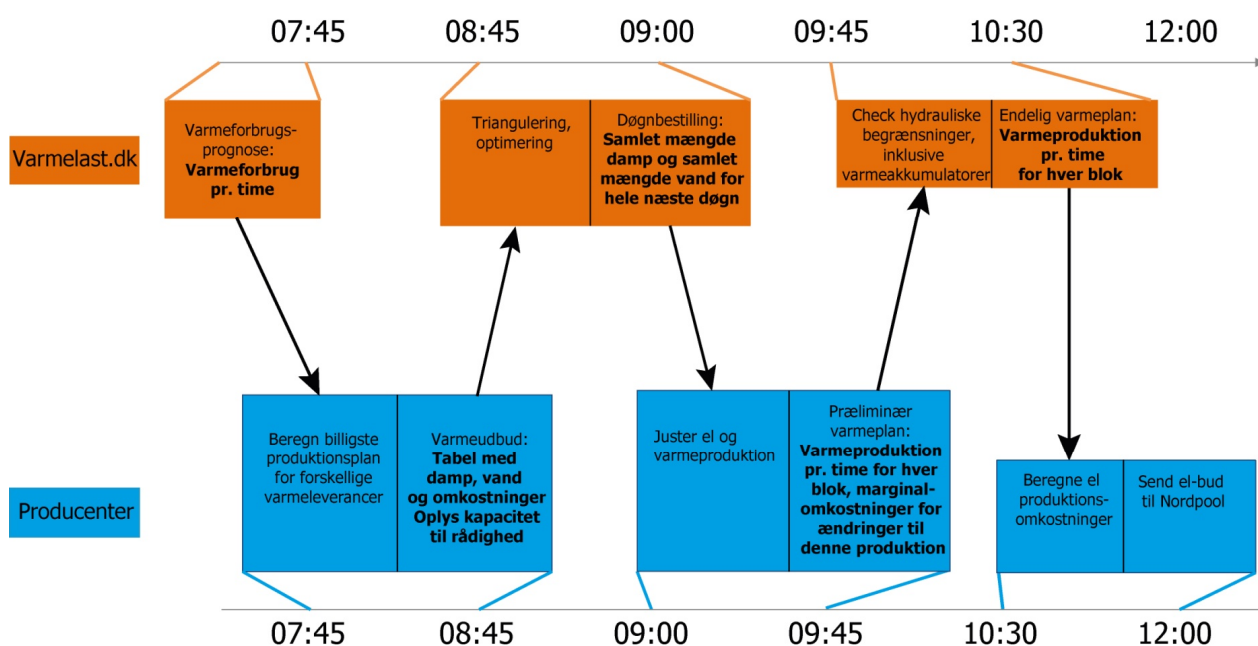
Dertil kommer der en række indtægter fra kraftvarmeværkernes elproduktion, som både indeholder indtægter fra salg af el til spot markedet samt tilskud til elproduktion på biomasse.

De samlede variable omkostninger fratrasket eventuelle indtægter fra elsalget inkl. subsidier udgør derved varmeomkostningen, som illustreret i nedenstående figur. Som illustreret i figuren vil varmeomkostningen falde ved høje elpriser da indtjeningen fra elsalget derved vil stige. (Varmelast.dk, n.d.)



(Varmelast.dk, n.d.)

På baggrund heraf udregnes en varmeplan forud for den faktiske produktion (day-ahead) efter følgende procedure:



Denne day-ahead plan tilpasses tre gange i løbet af det efterfølgende døgn, hvor varmen faktisk produceres. Dette sker i forhold til opdaterede prognoser for varmebehovet, hvilke anlæg der er til rådighed samt elpriserne. Derudover er der mulighed for at revidere planen hvis der skulle opstå uforudsete situationer såsom afvigelser fra prognoserne eller havarier af anlæg i fjernvarmesystemet.

Denne produktionsoptimering foregår uafhængigt af afregning mellem aktørerne. (Varmelast.dk, n.d.)

Stockholm varmeproduktion

I Stockholm har de ligeledes et stort sammenkoblet net, hvor fire forsyningsselskaber dagligt lastfordeler for at optimere den samlede produktion. Det samlede net distribuerer 12 TWh varme årligt.

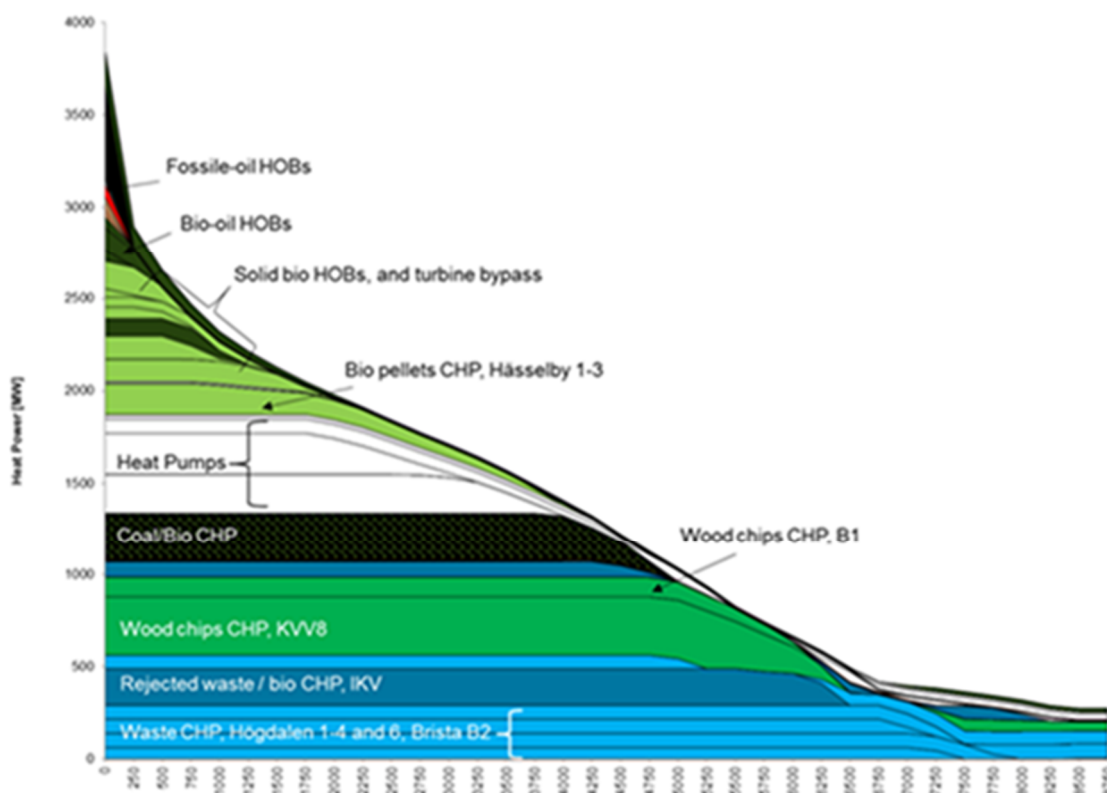
Det Stockholmske produktionsplanlægningssystem er baseret på en overskudsdeling, hvor produktionsomkostningerne først udregnes separat for hvert enkelt forsyningsselskab, hvilket også er gældende for Varmelast.dk. Herefter udregnes den samlede omkostning til at forsyne det samlede net (billigst muligt). Eventuelle forskelle mellem produktionsomkostningerne og den samlede pris fordeles vha. en omfordelingsnøgle.

Dette fjernvarmesystem inkluderer ca. 10 MW industriel overskudsvarme, som enten tilbydes en fleksibel afregningsform, hvor prisen fastsættes i forhold til de øvrige produktionsenheder, hvorefter det er op til virksomhederne at beslutte om de ønsker at producere eller ej. Alternativt kan de afregnes til en fast kapacitetsbetaling, hvorved det bliver Fortum som afgør hvorvidt varmen udnyttes eller ej.

Fortum Värme, som har en årlig varmeproduktion på 8 TWh og derved er det største af de fire forsyningsselskaber, står for den daglige driftsoptimering. Den anvendte model optimerer den samlede varmeproduktion, så det samlede varme- og kølebehov dækkes til den laves mulige omkostning på baggrund af bl.a.:

- 1) Brændselspriser, herunder elpriser
- 2) Start/stop omkostninger
- 3) Minimum nedetid
- 4) Opstarts- og nedlukningstid
- 5) Optimal udnyttelse af både varme og kølelagre

Der er muligt at definere begrænsninger for el forbruget og produktionen i produktionsplanlægningsværktøjet.



På denne baggrund udarbejdes der en to ugers produktionsplan, som løbende opdateres. (Fabian Levihn, 2016)

TVIS

TVIS er udelukkende et transmissionselskab, som derved ikke ejer produktionskapacitet, men derimod køber og distribuerer varmen til ca. 183.000 forbrugere i Trekantsområdet.

Varmeproduktionsplanlægningsværktøjet optimerer den samlede varmeproduktion hos TVIS, så den laveste varmepris sikres. De primære varmekilder i fjernvarmesystemet er industriel overskudsvarmen fra Shell-Raffinaderiet samt affaldsvarme fra affaldsforbrændingsanlægget Energnist i Kolding. Derudover "fyldes der op" med varme fra Skærbækværket, så varmebehovet til hver en tid dækkes.

Produktionsoptimeringen i forhold til elmarkedet varetages ikke af TVIS, da denne udføres internt på Skærbækværket, hvorefter de melder en varmepris ud for hver time, som anvendes til optimering af det samlede fjernvarmesystem.

Den daglige produktionsplan beregnes for en periode på 5 til 7 dage på baggrund af prognoser for:

- Det forventede varmebehov
- Vejrprognoser
- Lagerbeholdning i fjernvarmesystemet

Derudover har det anvendte produktionsplanlægningsværktøj mulighed for at inkludere både vejrprognoser og prognoser for spotmarkedspriser. Dette er dog ikke relevant i forbindelse med TVIS, da der i dette tilfælde anvendes varmebehovsprognoser, som allerede inkluderer prognoser for vejrforhold.

Derudover foregår optimeringen i forhold til elmarkederne internt på Skærbækværket, hvilket afspejles i den varmepris som de udmelder. Derfor vil der heller ikke være behov for at inkludere prognoser for spotmarkedspriser i TVIS's produktionsplanlægning.

I forhold til optimering i forhold til varmelagrene adskiller TVIS's produktionsplanlægningsværktøj sig ligeledes fra de to øvrige i og med at Skærbækværkets varmelager anvendes til værkets interne produktionsplanlægning, i de tilfælde hvor værket leverer til TVIS. Derfor indgår dette varmelager ikke i den daglige optimering af fjernvarmesystemet, når Skærbækværket leverer varme til TVIS.

I sommerperioden er der perioder hvor der ikke er behov for varme fra Skærbækværket og i disse tilfælde har TVIS råderet over varmelagret og det indgår derfor i den daglige varmeproduktionsoptimering.

Den foreløbige produktionsplan opdateres løbende, med 15. minutters interval, efterhånden som prognoserne bliver mere sikre. Det er dog kun én gang dagligt at der udsendes faktiske "købsbud" ud til producenterne. Denne optimeringsproces er i høj grad automatiseret.

Optimeringen tager højde for transmissionsbegrænsninger samt varmetab. (Tarnbjerg, 2016)

Dyrelund, A., & Lund, H. (2010). Heat Plan Denmark 2010 : a road map for implementing the EU directive on renewable energy (Varmeplan Danmark). EJOUR, Rambøll and Aalborg University. Retrieved from [http://vbn.aau.dk/en/publications/varmeplan-danmark-2010\(0480328d-8f23-45d5-804f-90dde1f5cde6\).html](http://vbn.aau.dk/en/publications/varmeplan-danmark-2010(0480328d-8f23-45d5-804f-90dde1f5cde6).html)

Energistyrelsen. (2014). *Fjernvarmen Fjernvarmens rolle i den fremtidige energiforsyning*. Retrieved from https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Vindenergi/fjernvarme_-_analyse_2014_web.pdf

Fabian Levihn. (2016). Mail korrespondance.

Mathiesen, B. V., Lund, H., Hansen, K., Ridjan, I., Djørup, S., Nielsen, S., ... Østergaard, P. A. (2015). *IDA's Energy Vision 2050*. Aalborg University.

Tarnbjerg, L. H. (2016). Møde med EMD.

Varmelast.dk. (n.d.). Hovedstadsområdets fjernvarmesystem i et frit elmarked.

5.2 Præsentation på workshop

KRAVSSPECIFIKATIONER FOR VARMEPUMPER

SILAS ALVIN PETERSEN



AALBORG UNIVERSITET

Varmepumper i et fremtidigt energisystem

- Stor enighed om store varmepumpers fordelagtighed
- Energistyrelsen
 - 650 MW i 2035
 - 1050 MW i 2050
- IDA Energivision 2050
 - 2450 MW (varme) allerede i 2035

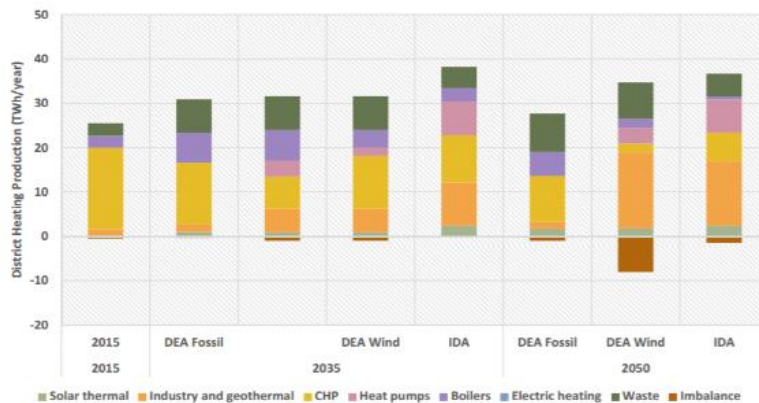
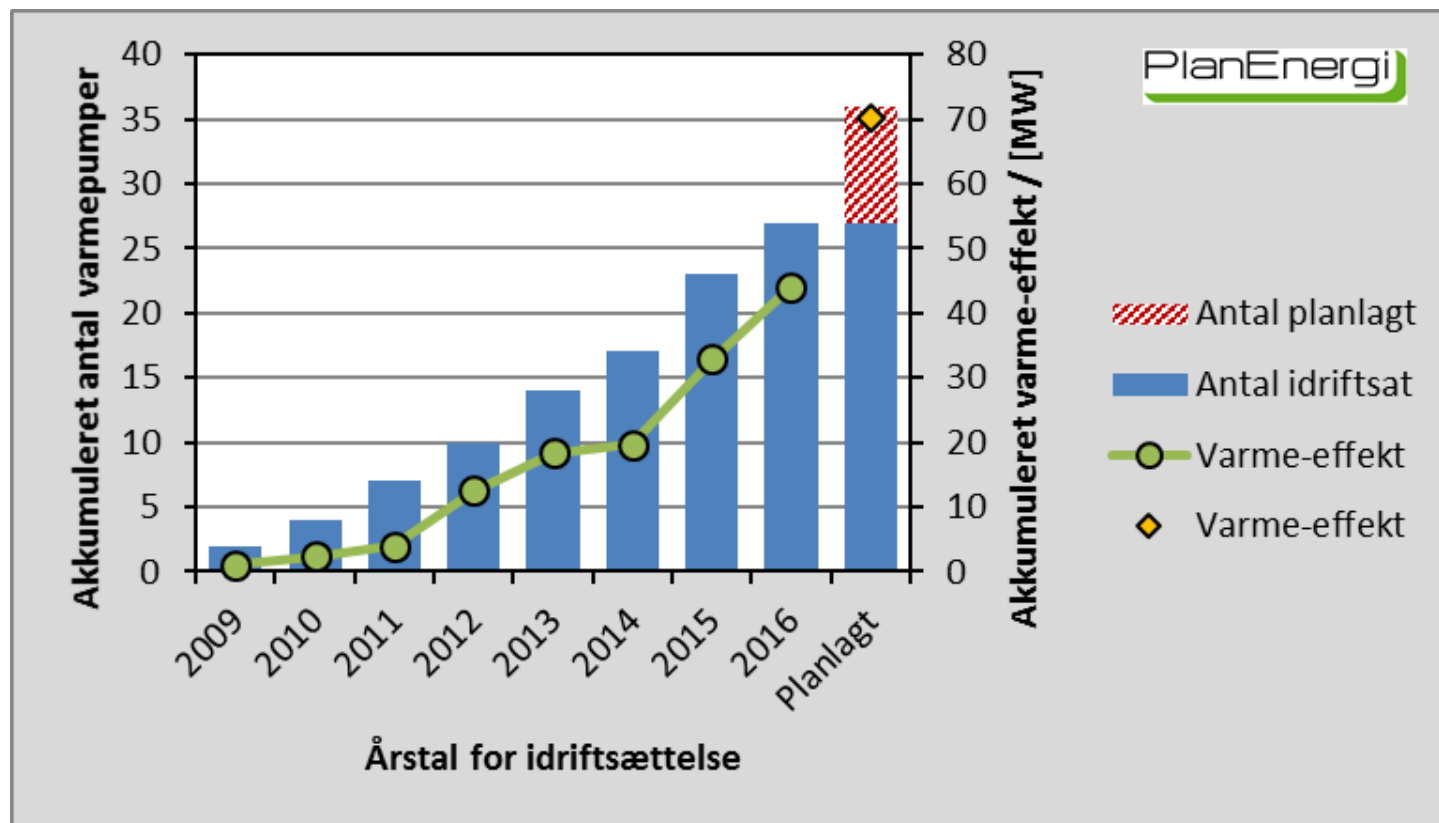


Figure 52. District heating production in the 2015, 2035 and 2050 scenarios

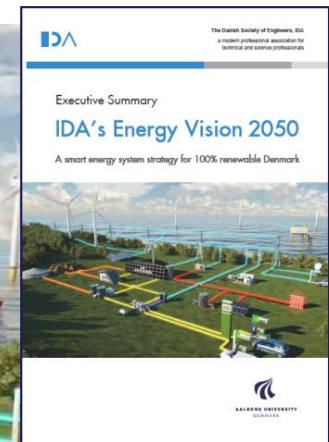
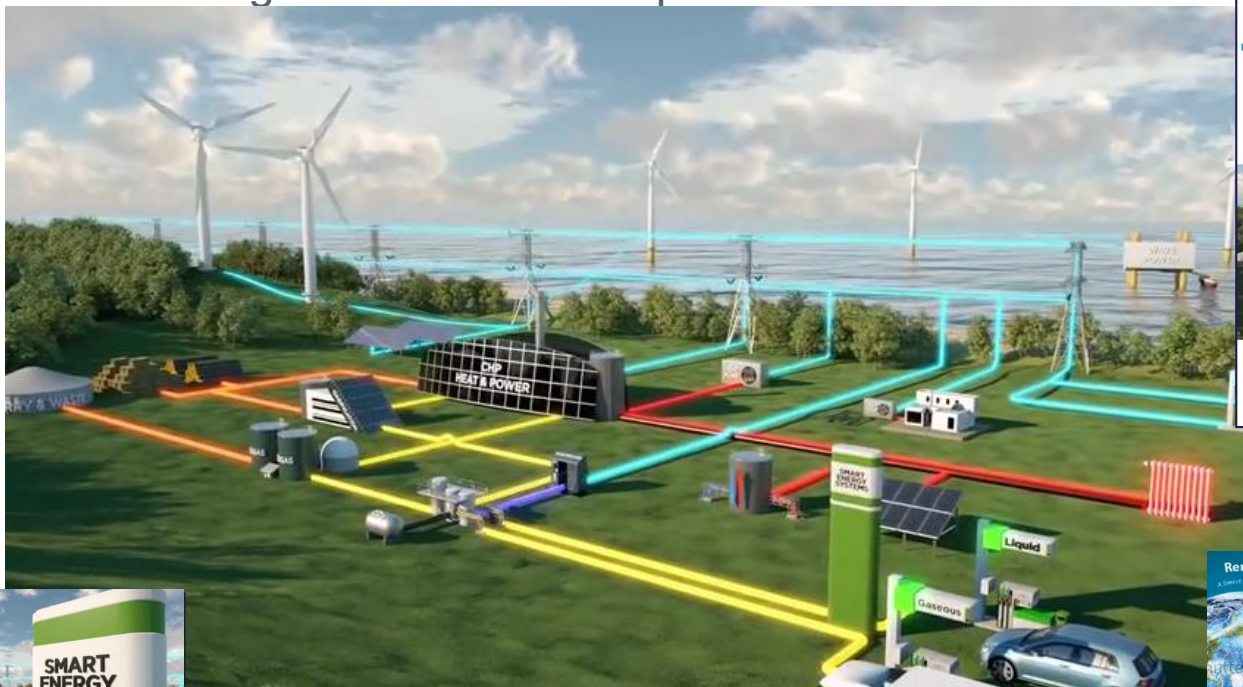


Status for udbygningen med varmepumper

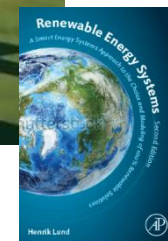


Varmepumpers rolle i et fremtidigt energisystem

- Store varmepumper har to primære funktioner i et fremtidigt energisystem:
 - Effektiv varmeproduktion baseret på el
 - Skabe fleksibilitet i energisystemet, hvilket muliggør indpasning af en større mængde fluktuerende elproduktion.

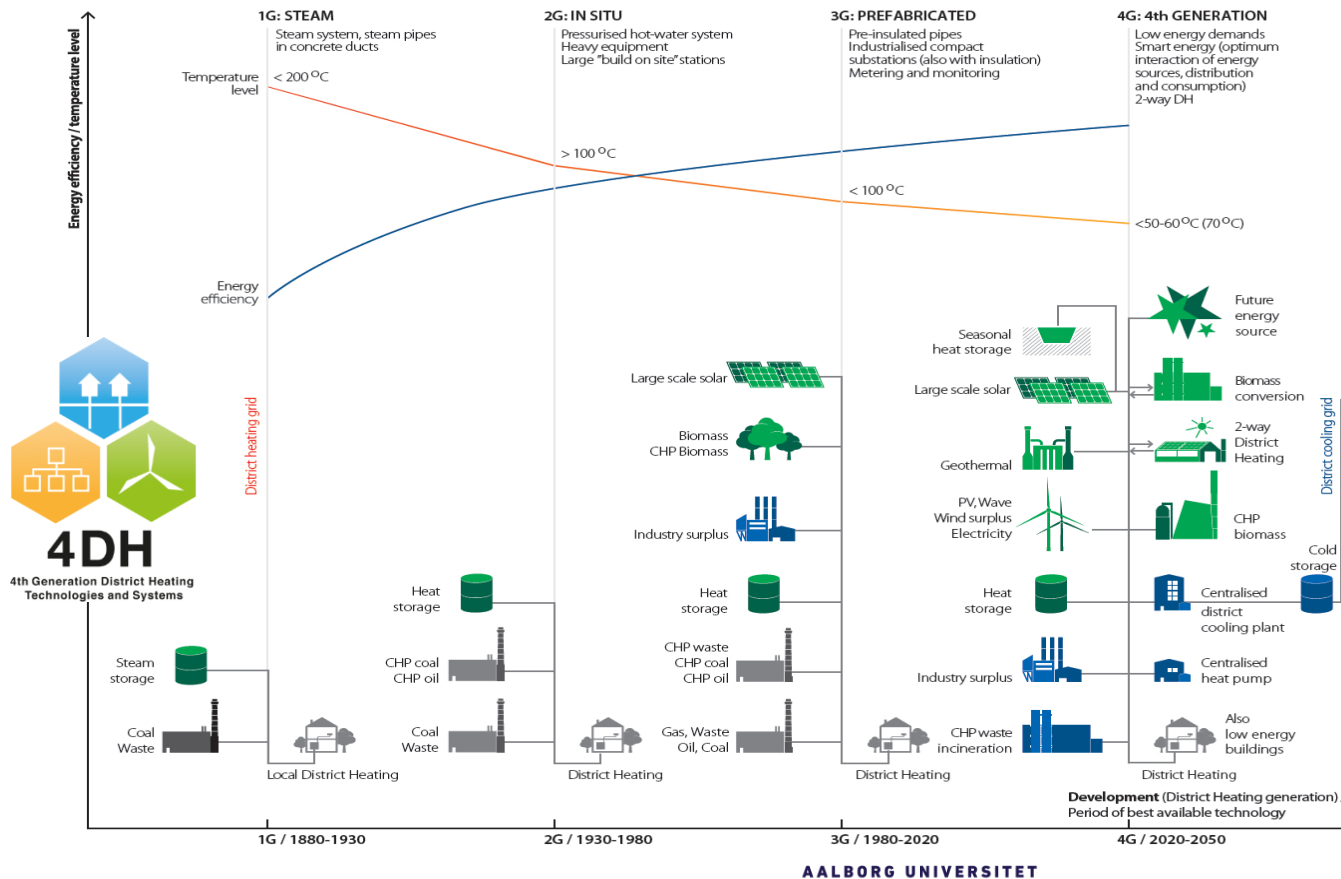


AALBORG UNIVERSITET



Varmepumpers rolle i et fremtidigt energisystem

- Øget kompleksitet giver øget behov for styring af enheder



Kravsspecifikation til varmepumpe – FlexCities 2

- **Afbrydelighed**
 - Større andel fluktuerende elproduktion = større behov for fleksibelt forbrug
 - Varmepumper skal kunne afbrydes
 - Alternative produktionsenheder eller lager
- **Mulighed for at planlægge produktion for hele området**
 - Kræver central aktør som påtager sig varmeproduktionsplanlægningen for det samlede fjernvarme system
 - Balanceansvar?
 - Bør kunne anvende prognoser som allerede udarbejdes til kraftvarmeenheder



- To overordnede tilgange
- 1) Hvert værk optimeres separat og melder varmepris ind, som den samlede varmeproduktionsplanlægning baseres på
 - Fordele
 - Reducerer kompleksiteten, da en del af optimeringen udføres decentralt.
 - Driftmestrene på de enkelte værker kender værkerne bedst
 - Værkerne kan beholde deres nuværende balanceansvarlige aktør
 - Nemmere at implementere
 - Ulemper:
 - Risiko for suboptimering af fx lagerstatus da denne optimeres uafhængigt af det samlede fjernvarmesystem.
 - Større risiko for upræcise prognoser, da lokale forhold har større indvirkning, når antallet af forbrugere er lavt.



- 2) Hele fjernvarmesystemet betragtes som "et samlet værk", hvor alle produktionsenheder betragtes individuelt og optimeringen foretages for det samlede system.
 - Fordele:
 - Risikoen for suboptimering reduceres
 - Større sandsynlighed for præcise prognose grundet større antal forbrugere
 - Kan i højere grad automatiseres
 - Reducerer datastrømmene
 - Ulemper:
 - Håndteringen af elsalg for "det samlede system" "kræver" at alle værker har samme balanceansvarlige
 - Især for større fjernvarmesystemer kan kompleksiteten blive høj



- **Transmissionsbegrænsninger og varmetab**
 - Optimering af fjernvarmesystemet under hensyntagen til eventuelle transmissionsbegrænsninger og varmetabet i transmissionsledninger.
 - Eventuelt begrænsning af spidslastkedlerne, til kun at producere til det område hvor de fysisk er placeret og ikke til transmission mellem nettene
 - Burde den økonomiske optimering sikre grundet varmetabet i transmissionsledningen
- **Lagerstatus**
 - Den samlede lagerkapacitet i fjernvarmesystemet skal inkluderes
- **Opstilling af algoritme for varmepumper**
 - Tager højde for COP´ens afhængighed af konkrete temperaturforhold
 - Bør afspejles i varmepumpens produktionspris og derved indgå i optimeringen



- **Automatisk placere bud på elmarkederne**
- Automatisk bud på elmarkederne på baggrund af pris- og varmebehovsprognoser,
 - både i forhold til spot markedet og regulerkraftmarkedet.
- Differentierede budtyper for hver enkelt produktionsenhed
- Varmepumpe bør automatisk bydes ind med opregulering, hvis varmepumpen kører og hvis den ikke kører bør der bydes ind med nedregulering
- Prisen på disse bud kan udregnes som:
 - Samlet omkostning for fjernvarmesystemet → gentag optimeringen uden given enhed → forskellen mellem de to optimeringer bør som minimum kunne dækkes af indtjeningen fra regulerkraftmarkederne. (offeromkostning)



Eksempler på varmeproduktionsplanlægningssystemer

- Varmelast.dk
- Stockholm
- TVIS



Varmelast.dk

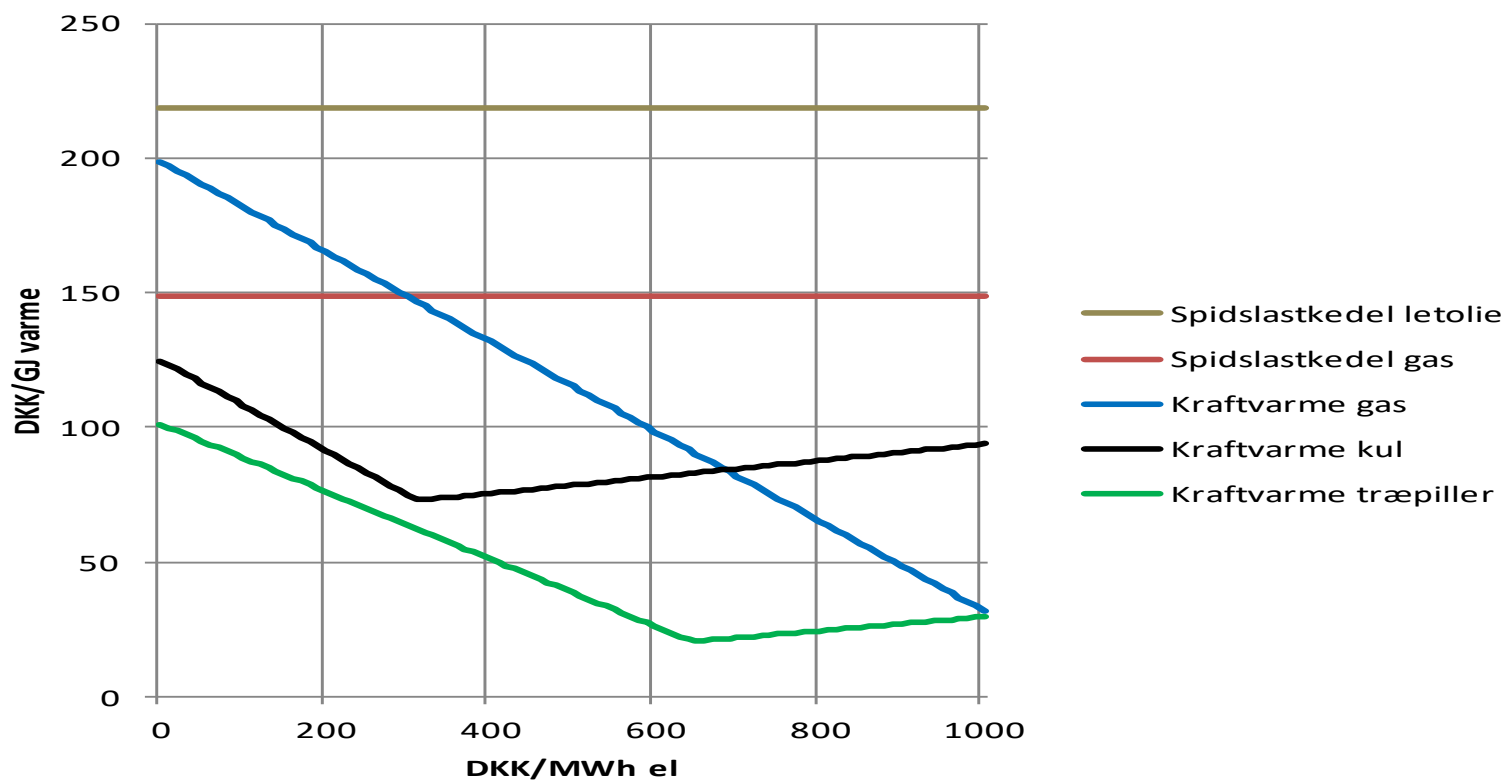
- Sammenslutning af VEKS, HOFOR og CTR
- Har siden 2008 varetaget varmeproduktionsplanlægningen i hovedstadsområdet.
- Ikke balanceansvarlig
 - værkerne eller deres respektive balanceansvarlige indmelder selv bud til elmarkederne.
- Det storkøbenhavnske fjernvarmenet inkluderer fire integrerede fjernvarmesystemer,
 - Tre (centrale) kraftvarmeværker
 - Tre affaldsforbrændingsanlæg
 - Et geotermisk anlæg
 - Reserve og spidslastkedler
 - To varmeakkumulatorer med en samlet kapacitet på 600 MW
- Producerer varme til omtrent 500.000 slutbrugere, hvilket svarer til en årlig varmeproduktion på ca. 34.500 TJ (ca. 15 % af det samlede varmebehov i Danmark)

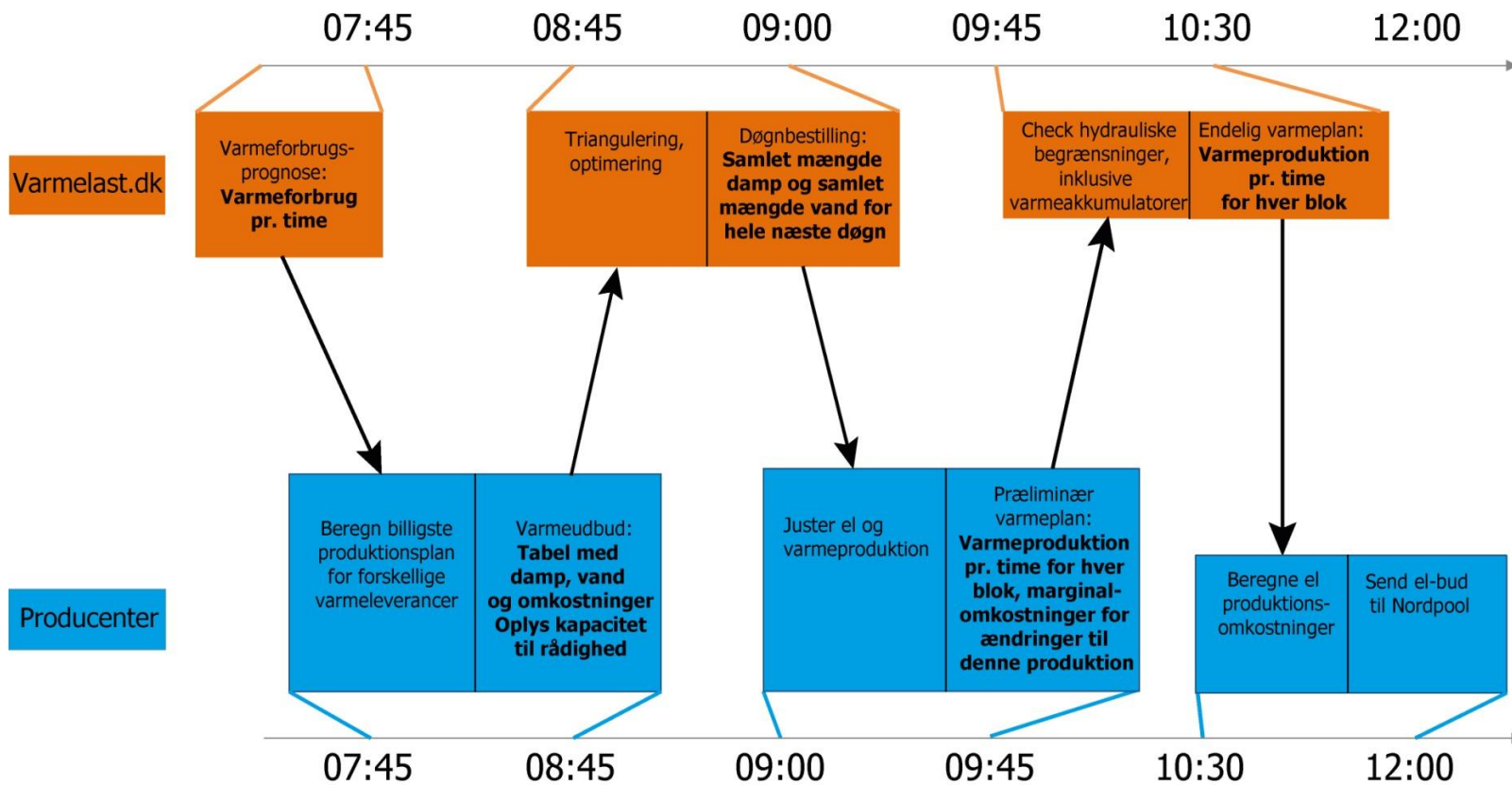


- Den samlede produktion optimeres på baggrund af følgende variable omkostninger:
 - Brændselsomkostninger
 - CO₂-kvoter
 - Drift og vedligeholdelsesomkostninger
 - Energiafgifter
 - Indtægter fra kraftvarmeværkernes elproduktion
 - Indtægter fra salg af el til spot markedet
 - Tilskud til elproduktion på biomasse.
- Samlede variable omkostninger - indtægter fra elsalget inkl. subsidier = varmeomkostningen
- Affaldsforbrændingsanlæggene og geotermien er politisk prioriteret,
 - Skal som udgangspunkt producere, hvis der er et varmebehov (grundlast).
- Det samme gør sig gældende for industriel overskudsvarme, som dog udgør en begrænset andel.



Varmeomkostning





- Day-ahead planen opdateres 3 gange i løbet af produktionsdøgnet
 - Opdaterede prognoser for varmebehovet
 - Tilgængelige anlæg
 - Elpriser
- Driftsopfølgning
 - Daglig sammenligning mellem optimal plan og faktisk produktion
 - Forskelle ligger indenfor 2 til 3 pct.



Stockholm

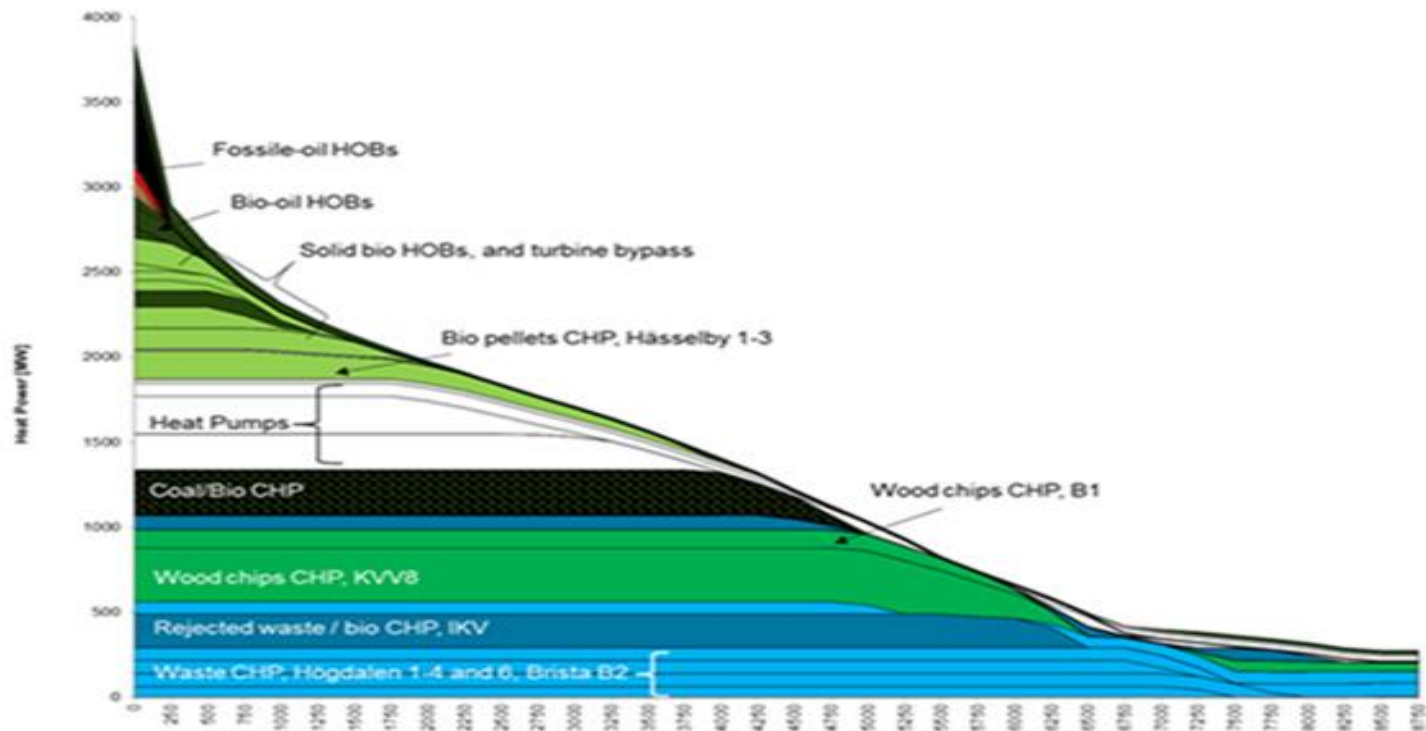
- **Stort sammenkoblet net**
 - Fire forsyningsselskaber dagligt lastfordeler for at optimere den samlede produktion.
 - Det samlede net distribuerer 12 TWh varme årligt.
- Fortum Värme, (årlig varmeproduktion 8 TWh) står for den daglige driftsoptimering
- Det Stockholmske produktionsplanlægningssystem er baseret på en overskudsdeling, hvor produktionsomkostningerne først udregnes separat for hvert enkelt forsyningsselskab.
- Herefter udregnes den samlede omkostning til at forsyne det samlede net (billigst muligt).
- Eventuelle forskelle mellem produktionsomkostningerne og den samlede pris fordeles vha. en omfordelingsnøgle.
- Inkluderer ca. 10 MW industriel overskudsvarme,
 - fleksibel afregningsform, hvor prisen fastsættes i forhold til de øvrige produktionsenheder, hvorefter det er op til virksomhederne at beslutte om de ønsker at producere eller ej.
 - Fast kapacitetsbetaling, hvorved det bliver Fortum som afgør hvorvidt varmen udnyttes eller ej.



- Optimerer den samlede varmeproduktion, så det samlede varme- og kølebehov dækkes til den laves mulige omkostning på baggrund af bl.a.:
 - Brændselspriser, herunder elpriser
 - Start/stop omkostninger
 - Minimum nedetid
 - Opstarts- og nedlukningstid
 - Optimal udnyttelse af både varme og kølelagre
- Der er muligt at definere begrænsninger for el forbruget og produktionen i produktionsplanlægningsværktøjet.



- To ugers produktionsplaner, som løbende opdateres



TVIS

- TVIS er et transmissionsselskab, som køber og distribuerer varmen til ca. 183.000 forbrugere i Trekantsområdet.
- Varmeproduktionsplanlægningsværktøjet optimerer den samlede varmeproduktion hos TVIS, så den laveste varmepris sikres.
- Primære varmekilder
 - industriel overskudsvarmen fra Shell-Raffinaderiet
 - affaldsvarme fra affaldsforbrændingsanlægget Energnist i Kolding.
 - Derudover "fyldes der op" med varme fra Skærbækværket, så varmebehovet til hver en tid dækkes.
- Produktionsoptimeringen i forhold til elmarkedet varetages ikke af TVIS, da denne udføres internt på Skærbækværket, hvorefter de melder en varmepris ud for hver time, som anvendes til optimering af det samlede fjernvarmesystem.



- Den daglige produktionsplan beregnes for en periode på 5 til 7 dage på baggrund af prognoser for:
 - Det forventede varmebehov
 - Lagerbeholdning i fjernvarmesystemet
- Derudover har det anvendte produktionsplanlægningsværktøj mulighed for at inkludere
 - vejrprognoser og
 - prognoser for spotmarkedspriser.
 - Ikke relevant i forbindelse med TVIS,
 - anvendes varmebehovsprognoser, som allerede inkluderer prognoser for vejrforhold.
 - optimeringen i forhold til elmarkederne sker internt på Skærbækværket, hvilket afspejles i den varmepris som de udmelder.



- Varmelager på Skærbækværket anvendes til intern driftsoptimering
 - Indgår ikke i den daglige optimering af fjernvarmesystemet når Skærbækværket leverer varme til TVIS
- I sommerperioden er der perioder hvor der ikke er behov for varme fra Skærbækværket
 - I disse tilfælde har TVIS råderet over varmelagret og det indgår derfor i den daglige varmeproduktionsoptimering.
- Den foreløbige produktionsplan opdateres løbende, med 15. minutters interval.
 - "Købsbud" udsendes kun én gang dagligt.
 - Denne optimeringsproces er i høj grad automatiseret.
- Optimeringen tager højde for transmissionsbegrænsninger samt varmetab.

