

FLEX\_TES

## Design og etablering af damvarmelageret i Høje Taastrup



Foto: Ioannis Sifnaios, DTU

FLEX\_TES projektet har projektnummer: 64018-0134 hos EUDP

Deltagere i FLEX\_TES projektet:

- Vestegnens Kraftvarmeselskab I/S (VEKS), Projektleder [www.veks.dk](http://www.veks.dk)
- Høje Taastrup Fjernvarme a.m.b.a. [www.htf.dk](http://www.htf.dk)
- PlanEnergi [www.planenergi.dk](http://www.planenergi.dk)
- EA Energianalyse [www.ea-energianalyse.dk](http://www.ea-energianalyse.dk)
- Danmarks Tekniske Universitet (DTU) [www.dtu.dk](http://www.dtu.dk)

Rapporten vedrørende design og etablering af varmelageret i Høje Taastrup er udarbejdet af Plan-Energi:

Per Alex Sørensen (Redaktør)

Hendrik Wetzel

Leo Holm

Allan Rasmussen

Niels From

## Rapportens indhold

1	Indledning	4
2	Resumé	5
3	Det udbudte design	7
3.1	Placering af varmelageret	7
3.2	Varmelagerets geometri	8
3.3	Membran- og lågløsning	8
3.4	Ind- og udløb	9
3.5	Vandkvalitet	10
4	Risikovurdering	11
5	Valg af liner til bund og sider	12
6	Valg af lågløsning inkl. flydeliner	16
6.1	Isoleringsmaterialer	16
6.2	Arcon Sunmarks/Aalborg CSPs lågløsning	17
6.3	Valg af låg til damvarmelageret i Høje Taastrup	18
6.4	Konklusion	20
7	Etablering af lageret	22
7.1	Oprindelig tidsplan og forsinket byggestart	22
7.2	Etablering af udgravning og ind- og udløbsarrangementer	22
7.3	Etablering af linerentreprisen	23
7.3.1	Lækage 1	24
7.3.2	Lækage 2	24
7.4	Genetablering af linerentreprisen	25
7.5	Vandpåfyldning og beskyttelse af lineren under påfyldning	27
7.6	Lækage 3	29
7.7	Etablering af flydeliner	30
7.8	Etablering af låg og måleudstyr	30
7.9	Inspektion med undervands drone	34
8	Aflevering, test og indkøring	35
8.1	Tids- og aktivitetsplan for aflevering	35
8.2	Aflevering af jordarbejde	41
8.3	Aflevering af liner-entreprisen	41
8.4	Aflevering af låg-entreprisen	41
9	Økonomi	42
	Referencer	42

# 1 Indledning

I Varmeplan Hovedstaden 3 fra 2014, som blev udarbejdet af transmissionsselskaberne CTR, HOFOR og VEKS står bl.a. anført om varmelagre:

*"Varmeplan Hovedstaden 3 påviser et stort økonomisk potentiale for at investere i varmelagre i hovedstadsområdet. Næste skridt er at finde passende lokaliteter for etablering af varmelagre i forhold til nettilslutning og plads til termiske anlæg samt at vurdere, hvornår varmelagrene bedst etableres over de kommende 20 år."*

Efterfølgende analyser viste, at et varmelager på 70.000 m<sup>3</sup> kunne være rentabelt allerede med det eksisterende varmeproduktionssystem. Høje Taastrup Fjernvarme (HTF) fandt en egnet grund, og VEKS og HTF besluttede at gå i gang med processen inden Final Investment Decision (FID).

Det foreløbige budget viste en samlet investering på 74,1 mio. kr. og en forventet indtægt (driftsnytte) i 2025 på 6,3 mio. kr. Indtægten stammede fra 1) en bedre optimering af produktion i forhold til el-markedet, 2) øget produktion på billigere enheder (kraftvarmeanlæg og varmepumper) i det samlede københavnske varmeproduktionssystem og 3) øget produktion på affaldsforbrændingsanlæg om sommeren.

Varmelageret skulle oplades fra VEKS' transmissionssystem og aflades til HTF's distributionssystem. 47,1 mio. kr. af det samlede budget hidrørte fra udgifter til rør, varmevekslere mv. fra tilslutning til transmissions- og distributionssystemerne. Desuden indebar projektet nyudvikling, fordi lageret i top-øpen ville blive opvarmet til 90 °C alle årets timer, hvilket ikke tidligere var afprøvet og dermed bl.a. forudsatte en videreudvikling af de plastmembraner, som hidtil var anvendt. VEKS og HTF ansøgte derfor det Energiteknologiske Udviklings- og Demonstrationsprogram (EUDP) om støtte til projektets gennemførelse under projektnavnet FLEX\_TES.

Projektet bevilgedes en samlet støtte på knap 13,5 mio. kr. inkl. måleprogram. I EUDP-projektet afrapporteres:

- Driftsstrategi for varmelageret
- Design og etablering af varmelageret
- Måleresultater efter 1 og 2 års drift

Denne rapport omhandler design og etablering af varmelageret. Etableringen fandt sted i perioden fra FID i april 2019 til december 2022.

Projektet er gennemført i samarbejde mellem HTF og VEKS, som hver ejer 50% af varmelageret. Projektorganisationen har bestået af

- En **styregruppe** med ledelsesrepræsentanter fra HTF og VEKS samt projektlederne
- En **projektleder** fra VEKS og en **projektleder** fra HTF
- En **projektgruppe** med rådgivere, projektledere og relevante teknikere fra HTF og VEKS

Derudover har der været nedsat en styringsgruppe for FLEX\_TES projektet og en projektfølgegruppe bestående af repræsentanter fra CTR, HOFOR, Vestforbrænding, ARC, ARGO, Ørsted, Varmelast samt partnerne i FLEX\_TES projektet.

## 2 Resumé

I rapporten for "Design og etablering af damvarmelageret i Høje Taastrup" beskrives forløbet fra udbud af projektet til indkøring og aflevering. Herunder er beskrevet de konstruktionsændringer, som blev besluttet undervejs og de problemer, som opstod, og hvordan de løstes.

Rapportens første afsnit (3-6) indeholder det designmæssige udgangspunkt og de ændringer, som blev foretaget inden etableringen. Derefter beskrives etableringsfasen i afsnit 7, afleveringen i afsnit 8 og projektets økonomi, som den kom til at se ud, i afsnit 9.

### Det udbudte design

Det var fra begyndelsen lagt fast, at varmelagerets størrelse skulle være på 70.000 m<sup>3</sup>. Grunden, hvor varmelageret skulle ligge, er begrænset af en motorvej på sydsiden og en drikkevandsledning på nord-siden. Det medførte et utraditionelt design med et meget aflangt varmelager, hvor ind- og udløbsarrangementet er placeret i den ene ende af det 170 meter lange lager. Det var endvidere forventet, at lageret skulle indvendigt tætnes med en High Density PolyEthylen (HDPE)-membran, som for de damvarmelagre, som allerede var etableret i Danmark.

I forhold til tidligere etablerede damvarmelagre var diffusorsystemet ændret så både øverste og nederste diffusor er "halve" diffusorer, hvor låget, henholdsvis bunden udgør den anden halvdel.

### Designændringer

Den øverste del af lageret vil konstant blive udsat for 90 °C, hvis lagerets kapacitet skulle være som forudsat over for brugerne. Det stillede krav til HDPE-linerleverandøren, som tidligere havde givet Dronninglund Fjernvarme en 20 års garanti for holdbarheden af lineren ved op til 90 °C. Leverandøren ønskede ikke at give en tilsvarende garanti igen og foreslog i stedet en dobbeltlinerløsning med to linere oven på hinanden. Løsningen var dyr, langsom at etablere og ikke tidligere afprøvet. Fra forskningsprojektet giga\_TES i Østergård anbefales det at se på en Poly Propylen High Temperature Resistant (PP-HTR)-liner i stedet. Lineren var nyudviklet og ikke sat i produktion, men laboratorieforsøg viste meget lange levetider (33 år ved 95 °C) for PP-lineren. Projektet havde derfor valget mellem to uafprøvede løsninger og endte med at vælge PP-lineren til tætning af bund og sider samt tillige at indkøbe et lækageovervågningssystem.

Det udbudte design af varmelagerets låg var en revideret udgave af lågkonstruktionen i damvarmelageret i Dronninglund. Der havde vist sig problemer med de rustfrie stålankre, som var anvendt til at holde isoleringsmåtterne sammen i Dronninglund og med de grøfter, hvor der var placeret vægtrør. De problemer var løst i det udbudte design, men nye erfaringer fra Dronninglund viste problemer med isoleringens holdbarhed, vandansamlinger på låget samt fugt og ilt diffusion gennem den flydeliner, som adskiller lågkonstruktionen fra lagervandet. For at imødekomme disse problemer blev det udbudte design ændret. Samtidigt var udviklet en ny lågløsning, som var implementeret i damvarmelageret i Marstal. Løsningen markedsførtes af Aalborg CSP og blev sammenholdt med det reviderede design. Projektets styregruppe besluttede sig for Aalborg CSPs løsning.

Test af de polymermåtter, som anvendtes som lågisolering i Dronninglund, og som også anvendes af Aalborg CSP og i den reviderede lågløsning medførte, at der endte med at blive leveret en helt nyudviklet generation af isoleringsmåtter med betydeligt længere levetid til projektet i Høje Taastrup.

### Etablering af lageret

Etableringen af damvarmelageret indledtes i foråret 2020. Udgravning, etablering af ind- og udløbsarrangement, montering af lækageovervågningssystem, PP-liner samt en tynd PE-liner til beskyttelse mod snavs og UV-lys under vandpåfyldningen forløb som planlagt. Vandpåfyldningen med vand fra VEKS transmissionssystem påbegyndtes i november 2020.

I december 2020 kom alarm om lækage fra lækageovervågningssystemet. Det viste sig, at der manglede en svejsning. Derfor måtte vandstanden sænkes og lækagen udbedres.

I slutningen af januar 2021 kom der igen alarm fra lækageovervågningssystemet. Det viste sig at lineren var flækket fra top til bund på den ene side. Den udløsende faktor var formentligt, at beskyttelseslinerens var fastgjort med en træpløk, som gik igennem PP-lineren. Frostvejr havde gjort at PP-lineren var blevet glasagtig og sprang på grund af sammentrækning.

Skaden bredte sig og viste sig så omfattende, at hele lineren endte med at måtte udskiftes. Både leverandør og bygherre gennemførte derefter en række undersøgelser, som mandede ud i, at leverandørens forsikringsselskab dækkede levering og montering af en ny liner tilsat blødgøringsadditiv, men fortsat følsom over for frost.

Den nyudviklede liner blev monteret i juli-august 2021 nøje overvåget af bygherren og PlanEnergi.

For at undgå frostpåvirkning under vandpåfyldning udvikledes tillige et overrislingssystem. Vandpåfyldning foregik i perioden fra november 2021 til marts 2022.

PP-flydelineren skulle monteres fra april 2022. Under demontering af overrislingssystemet beskadigedes PP-lineren imidlertid, da en flænge gik 60 cm ned under vandoverfladen. Flængen kunne repareres ved hjælp af en "sænkekasse" som holdt vandet væk under reparationen.

Derefter monteredes PP-flydelineren på vandet og fra juli opbyggedes låget på PP-lineren.

### **Aflevering, test og indkøring**

Linerentreprisen afleveredes for bund og sider i marts 2022 og for flydelineren i juni 2022.

Lågentreprisen afleveredes i oktober 2022 og jordentreprisen i december 2022.

Fra slut oktober 2022 startede opvarmning af vandet og indkøring og test af styringsfunktioner. Lageret var opvarmet ved nytår 2022-23 og blev afleveret til kommerciel drift 15. februar 2023.

Der er et omfattende måleprogram i forbindelse med lagerets drift. Resultater herfra vil blive afrapporteret af DTU. Det kan dog allerede nu konstateres, at der både kan op- og aflades med de ønskede 30 MW, men at Høje Taastrups distributionssystem, har svært ved at aftage 30 MW. Dette er under udbedring. Temperaturgradienten i lageret er ens i begge ender på trods af den lange afstand.

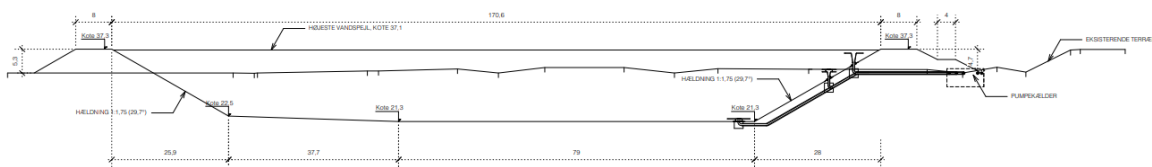




### 3.2 Varmelagerets geometri

Som det kan ses af Figur 1 er lageret klemt inde mellem bonnaledningen og Holbækmotorvejen. Det har været bestemmende for lagerets geometri foruden de forudsætninger, som normalt indgår ved udformning af et damvarmelager. Et damvarmelager etableres billigst med jordbalance. Det vil sige, at den opgravede jord komprimeres og anvendes som brink rund om lageret. Derudover skal skråningsanlæg helst ikke være stejlere end 1:1,5 af hensyn til membranarbejdet, og varmelageret skal være på 70.000 m<sup>3</sup>.

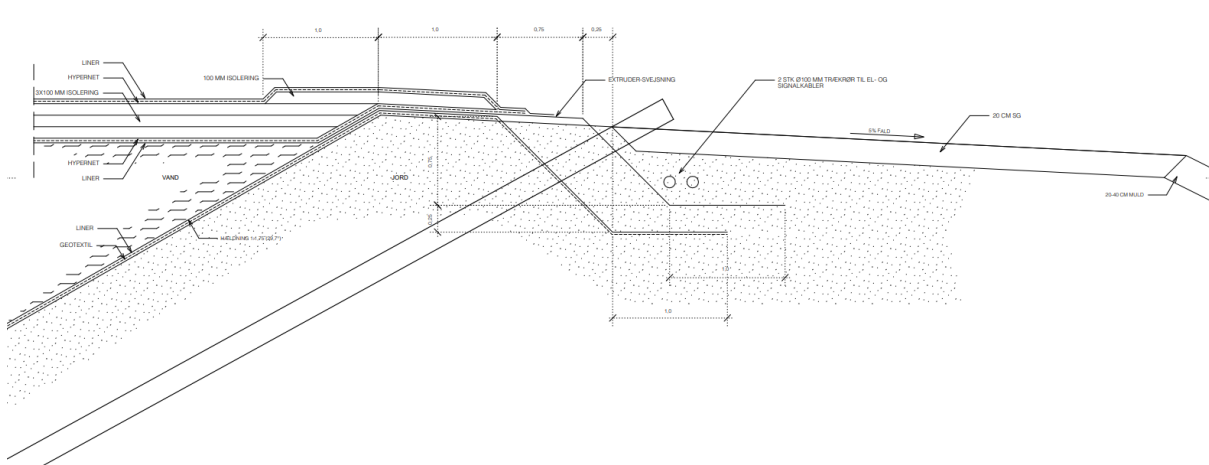
Det giver nogle snævre rammer for lagerets geometri og resulterer i et aflangt, fladt, ikke-rektangulært lager, hvor der er bedst plads til pumpebygningen i den østlige ende, hvor ind- og udløbsrør med diffusorer så også er placeret (se Figur 2).



Figur 2: Lodret snit på langs af varmelageret.

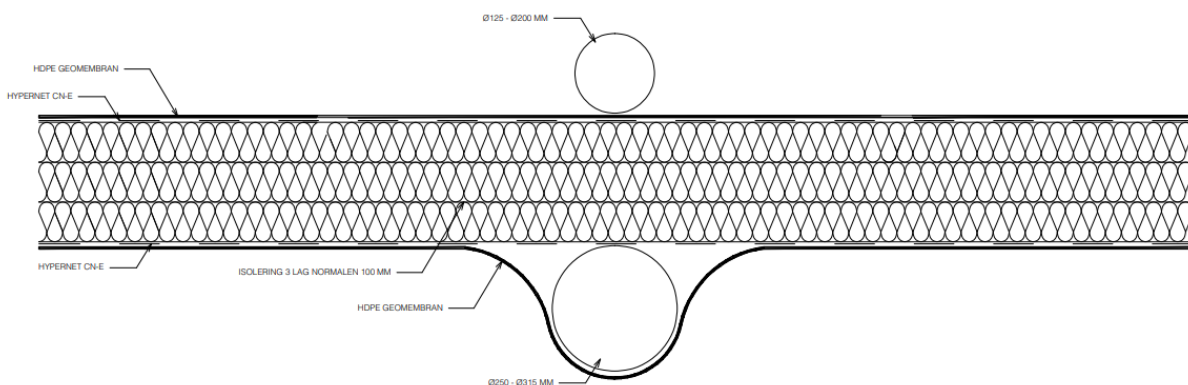
### 3.3 Membran- og lågløsning

Varmelageret var forudsat opbygget med en svejst HDPE-membran på sider og bund lagt på geotextil og låst i en låserende. Derefter påfyldes vand. Under vandpåfyldning placeres en PE-beskyttelsesmembran for at forhindre iltoptag og snavs i vandet. Derefter svejses en HDPE-membran (flydemembran) på land, og trækkes hen over vandoverfladen, hvorefter låget opbygges. Figur 3, Figur 4 og Figur 5 viser opbygningen af membraner og låg.

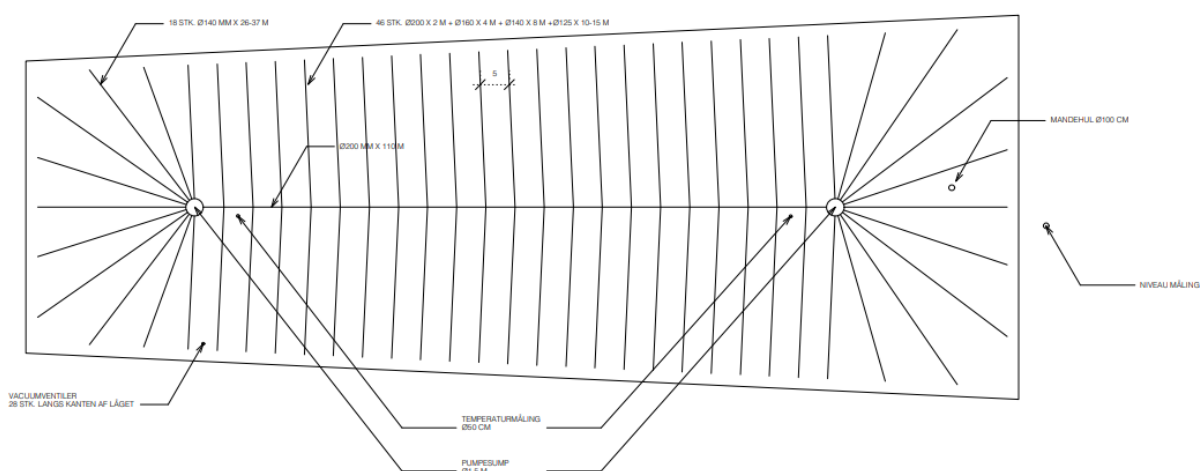


Figur 3: Lodret snit af kronekant med membraner og låserender.





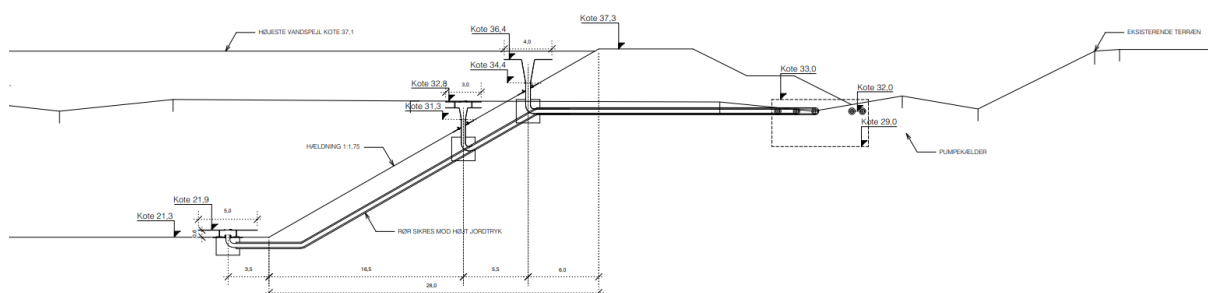
Figur 4: Lodret snit i låg med vægtrør.



Figur 5: Plan af låg med vægtrør.

### 3.4 Ind- og udløb

Kravet til ind- og udløb var, at man skulle kunne op- og aflade med 30 MW. Indløbstemperaturen forventes at være 90 °C og udløbstemperaturen 45 °C, så de 30 MW svarer til ca. 600 m<sup>3</sup>/time. Diffusorer ved ind- og udløb skal sørge for, at vandhastigheden reduceres til maks. 0,03 m/s ved udløb af diffusoren for at opnå en tilstrækkelig lav opblanding og et tilfredsstillende skillelag. Som noget nyt forsynes den øverste diffusor ikke med prelplade, idet lågets underside fungerer som prelplade. En tilsvarende løsning er valgt for den nederste diffusor. Placering af diffusorerne fremgår af Figur 6.



Figur 6: Lodret snit med placering af diffusorer.

### 3.5 Vandkvalitet

Erfaringer fra varmelagrene i Marstal og Dronninglund var, at der på grund af risiko for korrosion bør anvendes vand behandlet som afsaltet fjernvarmevand i varmelageret, især når der som i Høje Taastrup er anvendt sort stål til ind- og udløbsarrangement samt forbindelsesledningen. Kravene til afsaltet fjernvarmevand fremgår af Figur 7.

Kvalitet i fjernvarmesystemer		Ubehandlet	Blødgjort	Delafsaltet	Afsaltet
Udseende		klart	klart	klart	klart
Lugt		lugtfri	lugtfri	lugtfri	lugtfri
Partikel indhold	mg/L	<10	<10	<5	<1
Olie og fedt indhold	mg/L	<1	<1	<1	<1
pH værdi, ved 25 °C			9,8 ±0,2	9,8 ±0,2	9,8 ±0,2
Resthårdhed	°dH		<0,5*	<0,6*	<0,6*
Ledningsevne ved 25 °C	µS/cm		<1500	<500	<50**
Iltindhold	mg/L		<0,02	<0,02	<0,02
Klorid, Cl	mg/L	<300**	<300***	<50***	<3
Sulfatindhold, SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	mg/L				<2
Ammoniak indhold, NH <sub>3</sub>	mg/L		<10	<5	<5
Total jern, Fe <sub>total</sub>	mg/L		<0,1	<0,2	<0,05
Total kobberindhold, Cu <sub>total</sub>	mg/L		<0,02	<0,02	<0,01

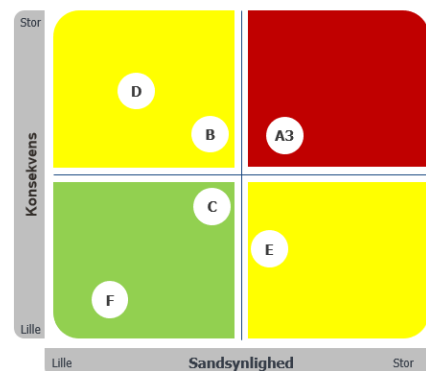
Figur 7: Krav til vandbehandling. Kilde: Dansk Fjernvarme.

## 4 Risikovurdering

Risikovurdering har været en integreret del af det forberedende arbejde. I regi af projektgruppen udarbejdedes et risikonotat, som bl.a. berørte risiko for utætheder, vandkvalitet, liner materialets levetid, kontrol af temperaturniveau, skadedyr og oversvømmelse ved internt læk. Risikonotatet dannede baggrund for en behandling i projektets styregruppe i forbindelse med beslutning om at gå fra analyse og planlægning til gennemførelse, hvor risikovurderingen blev sammenfattet i Figur 8, som styregruppen godkendte:

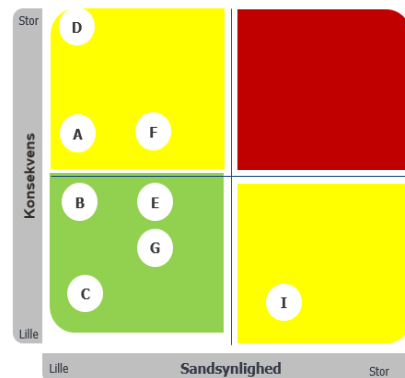
### Væsentligste risici – anlæg: Efter Faseskift

Beskrivelse af risiko og hvornår risikoen forventes at kunne indtræffe (tid/fase)	Håndtering	Ansvarlig
A3. Aftaleforhold m. ARC forsinkes	-A3, skal dog først foreligge efter FID Kan kapitaliseres til ekstra 4 mio. kr.	VEKS
B. Skybrud i forbindelse med gravearbejde	Starter med lågmontage fremrykket i udførelse samt kan pumpe væk hvis uheldet er ude.	PL
C. Fyldning af lager med VEKS vand	Planlægger tidspunktet for hvornår lageret fyldes 1. gang (ud fra 5 mdr. total.)	VEKS
D. Rørbrud fyldning af vekslercentral, også under drift	Monterer sikkerhedslukkeventiler på rørsystem, foreløbig merpris 500 Lkr	PL
E. Radius, ekstra omkostninger til elstik i <u>ft</u> budget 650 t.kr og for forsikelse i udførelse	Radius forsøger at få bekræftelse fra R's beslutningstager pt uden held	HTF
F. Oliepriser og dermed <u>plastprisindex</u> stiger kraftigt, medfører tvungen prisregulering	Tilbud skal opdateres. Sandsynlighed for lange leverancer på Liner	PE



### Væsentligste risici – Drift : Efter Faseskift Uændret

Beskrivelse af risiko og hvornår risikoen forventes at kunne indtræffe (tid/fase)	Håndtering	Ansvarlig
A. Lastfordeling bliver ikke optimal	Løbende opfølgning på driftsresultater, korrigerende handlinger iværksættes	VEKS, HTF, VL
B. Styringen af net/vekslere virker ikke optimalt relation til samspillet med HTF's Distributionsnet	Grundig test af styringskonceptet fra Varmelast imod styringsbeskrivelser til net/vekslere på distributionen.	VEKS, HTF
C. Skadedyr infiltration, nedbrud af linerudug eller låg	Varmestrålingen afskrækker skadedyr i bund og vægge. <u>Evt</u> skade på låg, kan repareres udefra. Forebygges med jævnlig rundring / besigtigelse af terræn omkring lagerets volde	HTF
D. Varmelager kollapser, <u>evt</u> overstrømning af motorvej?	WVM / Screening er gennemført uden at påpege <u>risikoen</u>	Er håndteret af miljømyndighed
E. Varmesalg i HTF øges ikke som forventet, og forventning til returtemperaturen afviger	Fokus på udviklingen i varmesalget, monitorering nye udbygninger. Samt program for returtemperatursænkning	HTF
F. Levetid af liner og låg er ikke afprøvet i praksis men kun på forsøgsbasis	Har udarbejdet et forbedret design med forstærket udgave af liner/ låg med øget godstykkelse og flere linerlag, som sandsynliggør levetid mere end 20 år i samarbejde m/m leverandør og DTI	Projekteringsansvarlige
G: Øget iltindhold i DVL vand	Kan give behov for øget behandling af vandet, dermed øget driftsomkostninger	PE og HTF
I: Ændret placering af Vx station	Kan have indflydelse på driftsparametre, hydrauliske forhold	VEKS, HTF



ENERGI TIL DIG PÅ VESTEGNEN

Figur 8: Risikovurderinger godkendt af projektets styregruppe

Som nævnt har risikovurdering været anvendt løbende. Et andet eksempel er risikovurderingen, da PP-linere skulle geninstalleres, og man i forbindelse med linerlækager var blevet meget opmærksom på, hvor sårbar linere er. Der blev derfor udarbejdet en særskilt risikovurdering til denne del af arbejdet, og risikoforebyggelse blev indarbejdet i Plan for Sikkerhed og Sundhed (PSS).

## 5 Valg af liner til bund og sider

Linere til tætning af damvarmelagre har været udviklet siden 90'erne. Arbejdet er samlet i rapporten "Udvikling af linere til damvarmelagre" [1] udgivet af PlanEnergi i januar 2015.

Både metallinere og polymérlinere har været vurderet og testet. Konklusionerne er:

**Aluminiumslinere.** Det var ikke muligt at få anvist metoder til sammensvejsning af aluminiumsbanerne og installation fra leverandøren. Desuden skal vandets pH-værdi være 6,5-8, hvis korrosion skal undgås. Det anses derfor ikke muligt at anvende aluminium.

**Rustfri stållinere.** Stållinere (0,5-0,9 mm) leveres i forholdsvis smalle coils (1,5 m) og koster fra 200 kr./m<sup>2</sup> og opefter ekskl. montage. Montagen (svejsning af linere) er kompliceret. Svejsprøver viste, at induktionssvejsning var den bedste metode, men f.eks. ESAB havde ikke en induktionssvejsmaskine på produktprogrammet på daværende tidspunkt (2014). Alt i alt vurderes stållinere som for dyre og besværlige at arbejde med.

**High Density PolyEthylen (HDPE) linere.** Leverandører af linere har peget på HDPE som den bedste mulighed, og fem forskellige HDPE-linere har været testet af Teknologisk Institut i perioden 2000-2018. Resultaterne har været levetider på op til 6 år ved 90 °C. Den seneste liner er endvidere testet af RISE (svensk akkrediteret prøvningsinstitution), hvor resultatet er 25 års levetid. Testbetingelserne er forskellige, så leverandøren af denne liner vurderer, at linerens levetid er mindst 12 år under forholdene i Høje Taastrup, og at en løsning med to linere derfor må tages i anvendelse. Polymérlinere har bl.a. den fordel, at de fås i brede ruller (5-7,5 m), og at de er nemme at svejse. Derudover er prisen lav. Polymérlinere (HDPE) har derfor været anvendt i de danske damvarmelagre.

### Nye muligheder

Professor Gernot Wallner, Institute of Polymeric Materials and Testing, University of Linz i Østrig, har de seneste 6 år arbejdet på at udvikle en PP (polypropylén)-liner, som i højere grad er i stand til at modstå høje omgivelsestemperaturer. Årsagen til, at der arbejdes med PP frem for HDPE er, at PP nedbrydes langsommere i vand end HDPE (det modsatte er tilfældet i luft). Udviklingen foregår ved, at der skrælles 0,05-0,1 mm strimler af en PP-plade. Strimlerne udsættes for høje temperaturer (fugtig luft, som er det værste) i et sæt af ovne. Da polymerer nedbrydes hurtigere, jo tyndere de er, kan der opnås forholdsvis hurtige resultater. Der foretages mange tests samtidigt. På Figur 9 er vist én af testovnene.



Figur 9: Testovn hos University of Linz.

Prøverne udtages jævnlige og testes for bl.a. brudforlængelse og indhold af antioxidant. Levetiden for en 2 mm PP-liner er ifølge Gernot Wallner 33 år ved 95 °C i luft. Levetiden for en PP-liner er teoretisk længere i vand.

I Høje Taastrup-projektet blev tilbudt to forskellige linerløsninger (hhv. 2 lag HDPE og 1 lag PP) til bund og sider. I det følgende sammenlignes linerens egenskaber vedrørende kvalitet/holdbarhed, egnethed og sikkerhed i monteringsfasen, egnethed og sikkerhed i driftsfasen og pris.

### Kvalitet/holdbarhed

**HDPE-liner:** En tilsvarende liner er anvendt til lagrene i Marstal, Dronninglund, Gram, Vojens og Toftlund.

Levetiden ved 90 °C er som tidligere nævnt af leverandøren vurderet til 12 år, hvorfor en dobbeltliner løsning blev tilbudt.

Der gives ikke fra leverandøren garanti for levetiden.

**PP-liner:** Levetiden ved 95 °C er af leverandøren angivet til 20-47 år på luftsiden, som er den svageste del. Resultaterne stammer fra accelereret test på 50 my teststrimler. Resultaterne er opskaleret til 2 mm linere.

Der gives ikke fra leverandøren garanti for levetiden.

### Egnethed og sikkerhed i montagefasen

HDPE-linieren er svejsbar. Maskinsvejsningerne prøves med lufttryk (dobbeltøm) og ekstruderings-svejsningerne med vakuumprøvning. Efterfølgende test af det forseglede område kan udføres med en såkaldt arc-test (se Figur 14). Der er gode erfaringer med de etablerede linerens tæthed. I Marstal var der en svejsefejl, som lappedes under vandet på et senere tidspunkt. Marstal var ikke arc-testet. I de øvrige lagre har man ikke konstateret lækager i bund og sider.

HDPE udlægges i 2,5 mm tykkelse med en rullebredde på f.eks. 7,50 m. Linieren er robust, men skarpe sten skal fjernes, og leverandøren anbefaler en særlig beskyttelseslag mellem jord og liner.

Det var ikke afklaret, hvordan lækagetest ud over trykprøvning skulle foretages af den inderste liner mod vandsiden. Det var heller ikke afklaret i detaljer, hvordan man kan komme af med evt. kondens mellem de to lag linere.

Montage blev tilbudt udført af leverandørens medarbejdere i henhold til den tyske DVS-standard (som er skrapere end de danske DS/INF 466 standarder for plastsvejsning).

PP-lineren er ligeledes svejsbar, og maskinsvejsningerne trykprøves (dobbeltsøm), og ekstruderings-svejsningerne vakuumprøves. Efterfølgende test af det forseglede område ved hjælp af arc-test (se figur 11). Desuden blev tilbudt et permanent lækageovervågningssystem.

PP-lineren er stivere end HDPE-lineren. Det går ifølge leverandøren ikke ud over svejsningernes kvalitet.

PP udlægges i 2,5 mm tykkelse med en rullebredde på f.eks. 5 m.

Montage blev tilbudt udført af leverandørens egne folk efter tyske DVS-standard (som er skrapere end de danske DS/INF 466 standarder for plastsvejsning).

### **Egnethed og sikkerhed i driftsfasen**

HDPE-lineren nedbrydes hurtigst fra vandsiden. Det forventes, at den yderste liner tager over, når den inderste er nedbrudt. Om der ophobes vand mellem linerne i driftsfasen er usikkert. Det er ilt og høje temperaturer, som forårsager nedbrydningen.

PP-lineren nedbrydes hurtigst fra luftsiden. Ilt og høje temperaturer forårsager nedbrydningen. Fra vandsiden forventes en levetid på omkring 50 år ved 95 °C.

PP-lineren har større fugtgennemtrængning end HDPE-lineren, men det betyder næppe noget ved bund- og sidelinere.

### **Konklusion**

PP-lineren har betydeligt længere levetid, vi kunne undgå dobbeltliner-løsningen, som er montage-mæssig besværlig, og PP-løsningen er ca. 900.000 kr. billigere. Vi fandt ikke væsentlige kvalitetsforskelle i svejsning og montering, og PP-linerens større fugtgennemtrængning forventer vi ikke er et problem for bund og sider.

Det besluttedes derfor at vælge PP-løsningen til bund og sider.

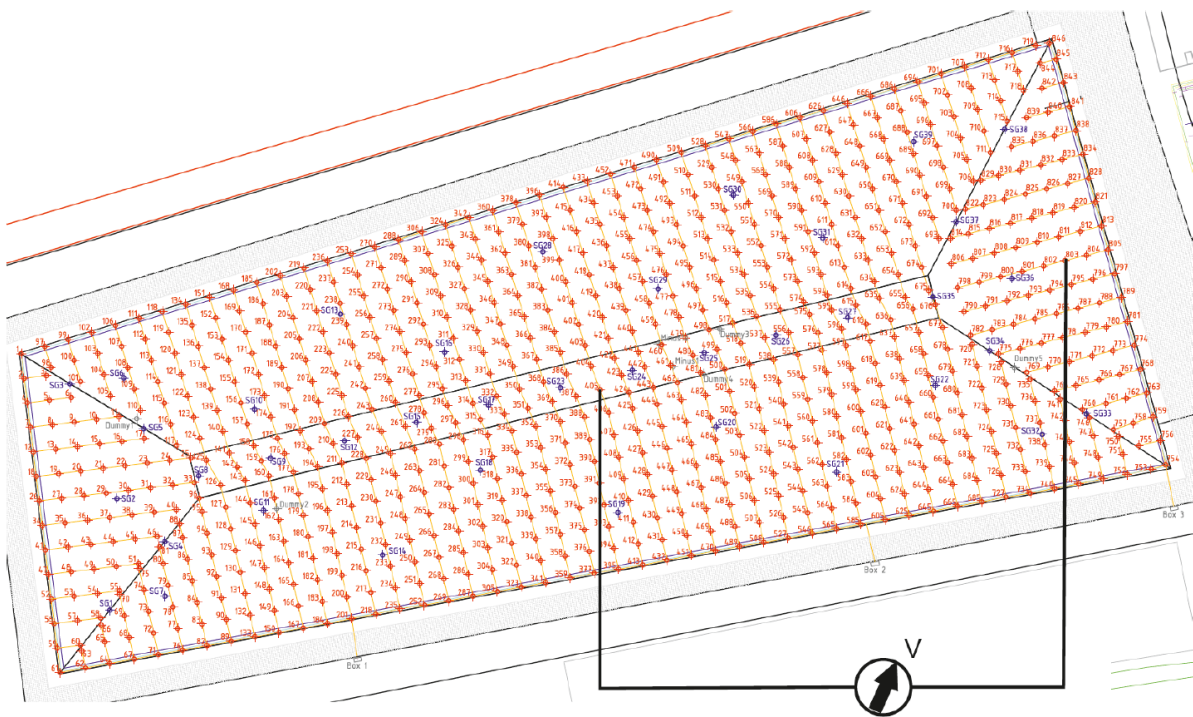
### **Lækagesporingsystem**

Det besluttedes samtidigt at indkøbe et lækagekontrolsystem. Lækagesporingssystemet består af mere end 1000 sensorer, som lægges i et mønster med 2 x 2 meters afstand inden lineren monteres. Ved læk vil strømstyrken mellem sensorerne stige og lækken kan lokaliseres.

Leverandøren tog dog forbehold i forhold til effektiviteten i Høje Taastrup, da ledningsevnen i lager-vandet er meget lav, da vandet skulle leveres fra fjernvarme transmissionsnettet.

Figur 10 viser placeringen af sensorerne:





e.g.: potential difference between  
Sensor 405 and 803 = 324mV

Figur 10: Placering af sensorer i lækagekontrolsystem i Høje Taastrup. Kilde: SENSOR-DKS gmbh.



## 6 Valg af lågløsning inkl. flydeliner

### 6.1 Isoleringsmaterialer

For at begrænse varmetabet fra lageret, etableres der et isolerende låg, som flyder ovenpå vandet i lageret. Tidligere beregninger viser, at det ikke er rentabelt at isolere lagerets sider og/eller bund.

Lågets primære formål er at begrænse varmetabet fra lageret, men låget skal også sikre, at vandkvaliteten i lageret ikke reduceres.

Et varmeisoleringsmateriale er kendetegnet ved, at det leder varmen meget dårligt. Det er hovedsageligt den stillestående luft i isoleringsmaterialerne, der giver denne egenskab og desuden er med til at gøre de fleste isoleringsmaterialer meget lette. Fælles for alle typer isolering er, at luft er en vigtig bestanddel, da stillestående luft har en rigtig god isoleringsevne og derfor holder godt på varmen.

Vand i isoleringen er generelt uønsket, dels fordi det oftest vil reducere isoleringsevnen, og dels fordi vand kan nedbryde nogle isoleringsmaterialer.

Erfaringer fra de etablerede lagre viser, at det ikke kan undgås, at der kommer vand ind i låget, enten ifm. etableringen, lækager og/eller vanddampdiffusion. Isoleringsmaterialet skal derfor kunne tåle at blive vådt uden at det ødelægges. Dette krav udelukker i praksis alle organiske isoleringsmaterialer, herunder:

- Halm
- Papiruld
- Træfiber
- Hør
- Fåreuld
- Hamp
- Isonat (hamp og bomuld)
- Kork
- Ålegræs

men også **mineraluld** (stenuuld/Rockwool og glasuld/Isover) kan ødelægges af vand, hvilket bl.a. skete i pilotlageret i Marstal.

Et andet krav til isoleringen er, at det skal kunne holde til en temperatur på mindst 90°C i mindst 20 år. Dette krav kan **EPS** (flamingo) og **XPS** ikke leve op til.

De fleste isoleringsmaterialer kan fås som plader (f.eks. EPS) og/eller som granulat (f.eks. Leca). Erfaringer med granulat (Leca) viser, at det kan være vanskeligt at styre udlægningen, således at den ønskede lagtykkelse opnås. Dette kan bl.a. give udfordringer ifm. bortledning af regnvand fra låget.

Den største udfordring ved granulater er dog, at der er stor risiko for konvektion i isoleringen, fordi isoleringsstrukturen er åben for luftcirkulation, og fordi temperaturgradienten i låget vender samme vej som tyngdekraften. Dette betyder, at det varme vand under låget vil opvarme luften i den nederste del af isoleringen, og at denne opvarmede luft herefter kan stige op igennem isoleringen (termik). Anvendelse af granulat forudsætter derfor, at designet forhindrer konvektion, enten ved anvendelse af meget finkornet granulat, ved komprimering (hvilket ikke anses muligt) eller ved anvendelse af horizontale konvektionsbarrierer.

Disse udfordringer gør, at det ikke kan anbefales at anvende granulater, hvilket derfor bl.a. udelukker følgende materialer:

- Letklinker/Leca
- Perlite
- Celleglas granulater/Foamglas gravel
- Muslingeskaller

Følgende isoleringsmaterialer fravalgtes, fordi de vurderedes at være for dyre:

- Celleglas plader/Foamglas plates
- Reflektiv isolering
- Vakuumpaneler

Og endelig fravalgtes følgende isoleringsmaterialer pga. manglende erfaringer ifm. damvarmelagre:

- Porebeton
- Letbeton
- Armatec plader
- PUR- eller PIR-skumplader

Ovenstående argumenter medførte, at det fortsat anbefalede at anvende **Nomatec**-måtter som isoleringsmateriale (som også er anvendt i Dronninglund, her hed det blot Nomalén). Nomatec'en var desuden videreudviklet ift. den i Dronninglund anvendte, da fugt og tryk i Dronninglund havde medført, at isoleringen i nogle tilfælde var reduceret kraftigt i tykkelse.

## 6.2 Arcon Sunmarks/Aalborg CSPs lågløsning

Arcon Sunmark havde samtidigt udviklet deres egen lågløsning til damvarmelagre. Løsningen adskilte sig fra det budte koncept i Høje Taastrup på flere punkter:

- Låget er modulopdelt, bygget op på samme type liner som foreslået i Høje Taastrup.
- I stedet for vægtrør er anvendt sten til at tynde modulmidten ned.
- Regnvand pumpes fra hvert modul.
- Isoleringen er udskiftet med lag med højere densitet (Nomatec) forned og XPS foroven.
- Der er anvendt en semipermeabel tagdug, som tillader vanddamp af komme igennem fra lågsiden (som i en tagkonstruktion).

Konceptet er patentanmeldt og certificeret af Lloyds. Efter lukning af Arcon Sunmark er rettighederne til lågkonstruktionen overtaget af Aalborg CSP, så efterfølgende kaldes lågløsningen Aalborg CSPs lågløsning.

På Figur 11 er vist et tværsnit af låget.

## PTES Design Improvements

Full scale prototype in Marstal

The lid design is build up in app. 30 x 30 meters modules



Figur 11: Tværsnit af mock-up model af Aalborg CSPs lågkonstruktion.

### 6.3 Valg af låg til damvarmelageret i Høje Taastrup

Fra april til september 2020 arbejdede en arbejdsgruppe med deltagelse af rådgiver og bygherre med at modificere den udbudte lågkonstruktion, da der i løbet af projektet var kommet nye oplysninger om problemer med lågløsningen i Dronninglund, og da Aalborg CSP-løsningen umiddelbart forekom dyr. Arbejdet blev sat i gang for om muligt at anvende samme type PP-liner, der er anvendt til tætning af bund og sider, som flydeliner i låget.

Udviklingsarbejdet skulle løse følgende problemer:

- **Fugt gennemtrængning.** PP-linieren formodes at have 5-10 gange større fugtpermeabilitet end HDPE-linieren.
- **Ilt gennemtrængning.** Iltning af vandet i damvarmelageret formodes at ske, men størrelsen er ukendt (også et problem for HDPE-linieren).
- **Vandsamlinger** på låg.
- **Bæreevne og levetid for nyt isoleringsmateriale, Nomatec 30HT86L.**
- **Vægtrør** på flydelinieren, som har vist sig at være en sårbar løsning.

I løbet af arbejdet undersøgtes problemerne og et nyt revideret lågdesign blev udviklet:

**Fugt gennemtrængning.** Teknologisk Institut udførte 3 forsøg, hvor vanddampdiffusionen ved 90 °C gennem en 2 mm PP-liner måltes. Resultatet var 7,4 g/m<sup>2</sup>/dag, hvilket er væsentligt lavere end formodet, sammenlignet med forventet 5 g/m<sup>2</sup>/dag for en HDPE-liner.

PlanEnergi udførte test af ventilationsmodstand i geonet (placeret mellem flydeliner og låg). Forsøget viste, at låget uden problemer kan ventileres for gennemtrængende fugt, men det forudsætter etablering af mekanisk ventilation. Det kan løses med tre tagventilatorer i midten af låget og indsugningsventiler i kanten af låget.

**Iltgennemtrængning.** Teknologisk Institut har udviklet en forsøgsopstilling og udført forsøg med ilt-diffusion fra tør side til 90 °C varmt vand. Der er usikkerhed om resultatet, men alt tyder på, at iltningen sker betydeligt hurtigere, end et afltningsanlæg, som kan afilte 5 m<sup>3</sup> vand i timen, kan følge med til.

Iltgennemtrængningen kunne standses af en aluminiumsliner, men aluminium korroderer ved pH 9,8. Derfor undersøgte, om fugten, som kom gennem lineren, medførte korrosion af aluminium lagt oven på lineren. Resultatet var et vægttab på 10% efter 1.000 timer, så konklusionen var, at aluminium ikke kan bruges som iltspærre.

FORCE blev forespurgt om anbefalede krav til ilt i vandet. De anbefalede, at man holder iltkoncentrationen under 20 mikrogram/liter. FORCE mente ikke, at det er muligt at undgå korrosion ved at anbringe offeranoder og evt. kombinere med katodisk beskyttelse. FORCE kunne dog meddele, at der dannes et beskyttelseslag af magnetit på sort stål ved pH 9,6-10. Hvis pH opretholdes, vil eventuelle sprækker i magnetitlaget blive udbedret løbende, så magnetitlaget vil beskytte mod korrosion også ved højere iltkoncentrationer.

**Vandsamlinger på låg.** Det udbudte design blev ændret, så vægtrørene på flydelineren blev fjernet. Vægtrørene på låget er udlagt med stigende masse ind mod midten af låget, så der kommer et naturligt fald mod de to pumpestationer. I forhold til tidligere anlæg er vægtrørene i Høje Taastrup lagt tættere og gjort tungere for at minimere problemet med regnvandspytter oven på låget. Vandansamlinger spottes nemt og kan med transportabel dykpumpe ledes til pumpebrønd. Dette vil være en del af den normale drift og vedligehold.

Vandansamlinger kunne helt undgås, hvis en tagløsning – som for overdækkede gylletanke – blev introduceret. Ifølge Landbrugsrådets Rådgivningscenter koster en løsning 340 kr./m<sup>2</sup> for 2.000 m<sup>2</sup>. Denne løsning blev opgivet på grund af prisen, da Høje Taastrup skal dække 11.000 m<sup>2</sup> med en større spændvidde.

**Bæreevne og levetid for isoleringsmaterialet, 30HT86L.** Isoleringsmaterialet er et forbedret produkt fra Termonova. Materialet er testet af Aalborg CSP efter samme metode, som tidligere blev anvendt af Arcon-Sunmark. Resultatet er, at den nye isoleringstype ikke presses sammen som den gamle, men det forudsætter, at isoleringen er tør.

Levetiden af isoleringsmaterialet er efterfølgende testet af JKU Linz. Det medførte, at producenten udviklede en endnu bedre udgave, som endte med at blive anvendt i lågløsningen i Høje Taastrup.

**Vægtrør.** Vægtrør på flydelineren har vist sig at være en sårbar løsning, da revnedannelse i flydelineren har fundet sted på anlægget i Marstal. De er derfor blevet droppet, men tungere og tættere vægtrør på toplineren vil sørge for det nødvendige fald, så luft på undersiden ledes til kant, mens regnvand ledes til pumpestationerne på midten af låget.

Undersøgelserne resulterede i et revideret lågdesign, som prissattes og blev sammenlignet med Aalborg CSPs løsning. For begge løsninger er det et krav, at der jævnligt måles pH, iltindhold samt jern i vandet, da der ikke fjernes ilt fra vandet eller etableres iltspærre.

## 6.4 Konklusion

I nedenstående tabel er fordele og ulemper for den udviklede løsning sammenlignet med Aalborg CSPs løsning.

	Projektets løsning		Aalborg CSP	
	PRO	CON	PRO	CON
<b>Drift og vedligeholdelse</b>		Periodevis vedligeholdelse ved regnskyl.	Ingen daglig vedligeholdelse.	
	Drift og vedligeholdelse af 2 pumper.			Drift og vedligeholdelse af 10 pumper.
		Drift og vedligeholdelse af mekanisk ventilation.	Vand i isoleringslaget drænes mod pumpebrønd.	
<b>Topliner</b>		Begrænset fald giver større risiko for vandpytter.	Veldefineret fald minimerer risikoen for vandpytter.	
	Vandpytter kan nemt spottes og fjernes manuelt med dykpumpe.		Ikke relevant.	
	Udfald af pumpe vil ikke medføre ophobning af vand, da den anden pumpe vil fjerne vandet over tid.		Ved udfald af pumpe er der lagerkapacitet nok til afhjælpning kan iværksættes.	
	Ingen behov for "sekundærpumpe" for sikring mod vandophobning.		Der er mulighed for at installere redundanspumper i brøndene til sikring mod pumpeudfald.	Sikring mod pumpeudfald kræver 10 sekundærpumper.
<b>Flydeliner</b>	Luftlommer og vandpytter forventes at forsvinde efter større regnskyl, da regnvandet vil tynde låget ned i midten.	Ekspansion af flydeliner ved opvarmning kan forårsage små luftlommer på undersiden.		Ekspansion af flydeliner ved opvarmning kan muligvis afstedkomme luftlommer langs kanten for en kort stund.
	Nemmere at tilgå flydeliner ved reparation.			Større arbejde for at tilgå flydeliner ved reparation.

<b>Vand i låg</b>		Vandindtrængen gennem revnet flydeliner kan sprede sig.	Vandindtrængen gennem revnet flydeliner vil forblive i sektionen.	
		Vandindtrængen vil på et tidspunkt blive opfanget ved pumpeaktivitet i tørvejsperioder.	Vandindtrængen vil blive registreret hurtigt, da pumpe i brønd vil blive aktiveret for bortskaffelse af mængden.	
<b>Kvalitet</b>	Løsningen er underbygget af notater og tests fra akkrediterede institutter.	Ingen certificering.	Løsningen er vurderet af uvidt certificeringsbureau (Lloyds).	
<b>Æstetik</b>		Låget kommer med tiden til at se trist ud, da overfladen ikke kan holdes ensartet og pæn (beskidt).	Låget vil fremstå ensartet og pænt i hele dets levetid.	

Det besluttedes at vælge Aalborg CSPs løsning, selv om den var en del dyrere end den til projektet udviklede løsning. Aalborg CSPs løsning blev modificeret, således at der anvendtes PP-flydeliner og PP-løsninger, hvor materialet er i kontakt med vandet i lageret eller udsat for høje temperaturer.

## 7 Etablering af lageret

### 7.1 Oprindelig tidsplan og forsinket byggestart

Udgravningsarbejdet var planlagt at skulle starte i marts 2019. VVM-screeningen for projektet var imidlertid ikke færdigbehandlet inkl. høring før slutningen af april, hvor Høje Taastrup Kommune meddelte undtagelse fra VVM-pligt. Projektets styregruppe turde ikke igangsætte udgravningsarbejdet i 2019, da der så ville være en risiko for, at linerarbejdet ville løbe ind i vintervejr. Arbejdet udsattes derfor et år til foråret 2020.

### 7.2 Etablering af udgravning og ind- og udløbsarrangementer

Entreprise A. Jord-, beton- og rørentreprisen er udført af Wicotec Kirkebjerg A/S som totalentreprenør. Wicorec Kirkebjerg A/S er ejet 100% af Per Aarsleff A/S

#### Varmelagerets geometri

Entreprenøren valgte at lave nogle mindre justeringer på varmelagerets geometri ift. det udbudte design, herunder:

- At reducere hældningen på lagerets indvendige sider,
- At øge hældningen på lagerets udvendige sider, samt
- At lade den vestlige vold følge matrikelskellet.

Som konsekvens heraf blev lagerets dybde reduceret, og lågarealet øget ift. det udbudte design.

Efter ønske fra entreprenøren for Linerentreprisen blev bredden på den østlige vold øget, idet denne skulle fungere som arbejdsområde ifm. sammensvejsningen af flydelineren (svejszone).

Et andet ønske fra linerentreprenøren var, at bunden i lageret blev ændret fra at være kileformet til at være 7 meter bred i hele lagerets længde (med et svagt fald fra vest mod øst). Dette blev gjort for at sikre, at bund- og sidelinjerne kunne udlægges og sammensvejses iht. DS466 (Dansk Standard for etablering af deponianlæg). Trods de geometriske ændringer blev lagerstørrelsen på 70.000 m<sup>3</sup> fastholdt.

I det udbudte design var der indbygget et drænsystem i bunden af lageret, hvis formål var at håndtere regnvand ifm. etableringsprocessen. Entreprenøren foreslog at droppe drænsystemet og i stedet håndtere regnvand med ad hoc drænpumpning, hvilket blev accepteret.

#### Ind- og udløbsarrangementer

Entreprenøren detailprojekterede ind- og udløbsarrangementerne, herunder diffusorerne, linergennemføringerne, fundamenterne og rørledningerne mellem lageret og pumpekælderen.

Rørdelen af linergennemføringerne, og de rørdele, som blev indstøbt i fundamenterne, blev udført i rustfast stål, mens selve ind- og udløbsarrangementerne, samt rørledningerne mellem lageret og pumpekælderen, blev udført i sort stål. Dette medførte nogle udfordringer med hvordan man, i jorden uden for fundamenterne, kunne korrosionssikre svejsningerne mellem de rustfaste rør og de sorte rør, bl.a. fordi der ikke var formonteret muffe på rørene inden de blev svejst sammen. Dette blev løst ved at pakke svejsningerne ind i tjæretape. Svejsarbejdet blev udført før linermontering, idet svejsning bør undgås efter linermontering.



Ind- og udløbsarrangementerne er designet med nogle hulplader, hvis primære formål er at sikre en homogen strømning fra diffusorerne og ud i lageret. Hulpladerne fungerer herudover som grovfilter mellem lageret og pumperne i pumpekælderens. Det var et designkrav, at hulforholdet i hulpladerne var 50%, hvilket også fremgik af produktionstegningerne. Det leverede hulforhold for top- og midterdiffusor var dog kun hhv. 20% og 18%, hvilket ville medføre et tryktab over hulpladerne, som var hhv. 10 og 12 gange større end designværdierne. Disse hulplader blev derfor udskiftet efter diffusorerne var monteret på fundamentene. Udskiftningen indebærer bl.a. brug af vinkelsliber og svejsninger, og der blev derfor lavet en grundig afdækning for at undgå, at gnister m.m. kunne ramme og beskadige bund- og sidelinjerne.

Efterfølgende blev bund- og sidelinjerne i hele lageret skiftet pga. revnedannelser i den første linerleverance, jf. de følgende afsnit. Dette medførte at de allerede monterede diffusorer måtte afmonteres og genmonteres.

### 7.3 Etablering af linerentreprisen

linerentreprisen blev påbegyndt i juni 2020 og afsluttet i august 2020. Derefter monteredes en beskyttelsesliner, som under vandpåfyldning beskytter mod nedfaldne blade, snavs og ilt diffusion.

Etablering af PP-lineren forløb planmæssigt. Der var i perioder meget varmt og temperaturen på lineren kunne derfor komme op på over 40 °C. Figur 12 viser linermonteringen:



Figur 12: Rapportering om linerarbejdet på styregruppemødet 8. juli 2020.

Påfyldning af vand indledtes i november 2020. Transmissionsledningen til vekslercentralen var ikke klar til anvendelse, så en midlertidig løsning måtte rigges til. Lageret fyldtes med vand fra VEKS' transmissionssystem.

### 7.3.1 Lækage 1

Lækage 1 opstod kort efter, at vandpåfyldningen påbegyndtes, hvilket udløste en alarm fra det installerede lækageovervågningssystem. Derefter blev det opdaget, at en svejsesøm ikke var fuldstændig svejset i det laveste område af skråningshjørnet mellem den sydlige og vestlige skråning. Vandstanden blev sænket og skaden udbedret i december 2020.

### 7.3.2 Lækage 2

Lækage 2 opstod også under påfyldning, hvilket i slutningen af januar 2021 atter udløste en alarm fra lækageovervågningssystemet.

Derefter opdagede en dykker skader i bunden af den sydlige skråning. I det videre forløb blev den midlertidige beskyttelsesliner (af HDPE-plast) åbnet, hvilket gjorde det muligt at se brudskader på PP-linieren forskellige steder.

En stor revne førte ud af bassinet på sydsiden, over skråningen og ind i ankerrenden. I ankerrenden var den midlertidige plastliner sikret med træpæle for at forhindre glidning. Nogle steder blev det konstateret, at træpælene også delvist var trængt ind i den PP-liner, der var begravet i ankerrenden. Ovennævnte store revne førte hen til en af disse træpæle. Der blev dog også fundet en revne i hjørnet mellem den vestlige og nordlige skråning.

For at gennemføre yderligere undersøgelser blev det besluttet at tømme lageret og fjerne den midlertidige beskyttelsesliner. Som et resultat af blotlæggelsen af PP-linieren opstod herefter yderligere revner over tid, og det blev besluttet at udskifte PP-linieren.

#### Iværksatte tests af leverandør

Forskellige undersøgelser og stresstest blev udført af producenten, både på prøver af det materiale, der blev brugt til den første installation (opstartsrulle første produktion) og med nye materialeadditiver, der blev optimeret til at modstå temperaturer under frysepunktet. Disse tests omfattede bl.a. Charpy-test (slagpendul), træk- og rivningstest, trækprøver samt sømhamring i klimakammer og uden dørs udsættelse for kolde temperaturer om vinteren med forskellige stressituationer (f.eks. hamring). Målet var at finde både praktiske påvirkninger og nye additiver med forbedret kuldeslagstyrke. Dette førte til en optimeret materialesammensætning med forbedrede egenskaber ved lave temperaturer.

#### Iværksatte tests af bygherre

##### SKZ

Fra bygherrens side blev materialetest også tilsendt SKZ (Kunststoff Zentrum Würzburg, Tyskland). Prøver fra lageret (på forskellige steder), reserveprøver af samme batch (fra en ubrugt rulle på byggepladsen) samt en prøve med den nye materialesammensætning, der blev optimeret af producenten, blev testet. Testene udført på SKZ omfattede bl.a. IR-spektroskopi, DSC-analyse, OIT, foldning ved lave temperaturer, punkteringsadfærd ved -10 °C, træktest ved 23 °C og -10 °C.

Polypropylen-typiske adfærdsmønstre blev fundet i disse tests. Det blev også konstateret, at materialedbrydning forekom på den side af prøverne, der blev udsat for UV-lys. Det kunne dog ikke længere fastslås, hvor længe prøverne havde været udsat for vejret (senere tests viste, at UV-udsættelse i 3 måneder ikke forringer materialeegenskaberne). Sammenlignet med prøverne fra den ubrugte rulle havde prøverne fra materialet installeret i bassinet lavere mekaniske materialeegenskaber, mens der på den anden side blev observeret signifikant bedre mekanisk opførsel for det nye materiale, især ved lave temperaturer.

**DTI**

Samtidigt med installationen af den forbedrede PP-liner blev det besluttet at gennemføre et testprogram for at bestemme levetiden i henhold til metoden på Teknologisk Institut [2]. Dette optimerede program omfatter, ud over flere års eksponering for varmt laboratorievand på 115 °C på den ene side af geomembranen og luft på den anden side af geomembranen, forudgående forvitring af prøverne i henhold til ISO 4892-3.

Afhængigt af den geografiske placering kan 18 måneders udendørseksponering normalt simuleres på 1.000 timer. Derfor planlagdes prøveudtagning efter 12 dage (simulering på ca. 3 måneder), 3 uger (ca. 9 måneder) og 1.000 timer (ca. 18 måneder). De indsamlede prøver udsættes derefter for accelereret ældning ved hjælp af DTI-metoden i op til 60 måneder. Der vil blive udtaget prøver med planlagte intervaller i løbet af de næste par år, og deres mekaniske egenskaber vil blive testet i trækprøvninger. Baggrunden for denne kombinerede eksponering er bedre at forstå indflydelsen på en liners levetid fra både UV-påvirkning under konstruktionsfasen og varmtvandspåvirkning i driftsfasen.

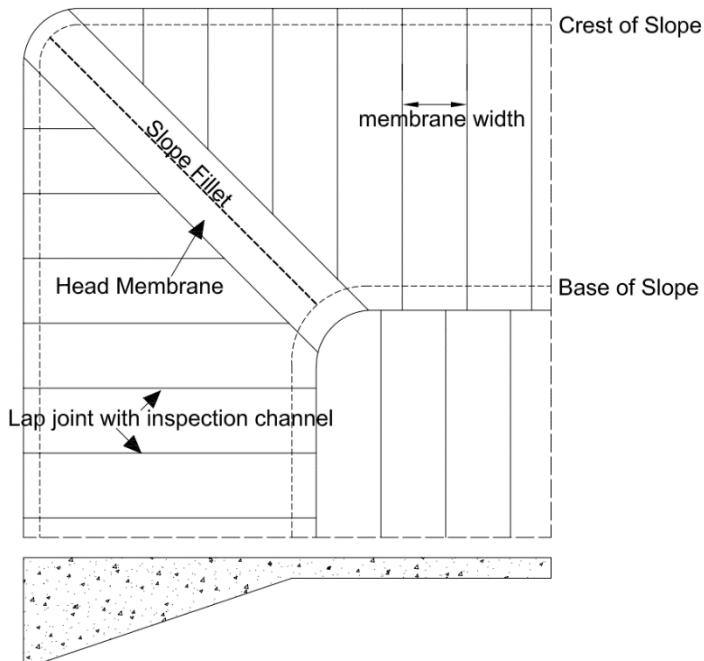
**7.4 Genetablering af linerentreprisen**

Geomembraner til byggeri er fabriksproducerede og testede byggematerialer. Det er installatøren på stedets ansvar at overføre de fremstillede materialeegenskaber bedst muligt til slutproduktet. Geomembraner af plast som den valgte væsentlige tætningskomponent til opbevaringsmediet (vand) i en PTES skal ikke kun være tæt, men også modstandsdygtig over for ældning ved permanent høje temperaturer. I Høje Taastrup har man valgt en geomembran lavet med polypropylen som råmateriale. Generelt har polypropylen ud over at have termoplastiske egenskaber, der er vigtige for nem installation, en signifikant højere smeltetemperatur end polyethylen. Dette gør PP mere velegnet til applikationer med høje temperaturer, men betyder også, at materialet mister fleksibilitet ved lave temperaturer.

Før lægningen af den forbedrede PP-liner blev tilstanden af overfladen og det beskyttende geotekstil-lag inspiceret under en inspektion på stedet. Det blev konstateret, at udvaskninger fra regn forårsagede skader, der gjorde det nødvendigt at reparere den underliggende jord for at opnå en så flad og stenfri overflade som muligt før implementering af geotekstil og PP-lineren. Disse reparationsaktiviteter blev udført successivt i tiden op til lægningen af PP-lineren under hensyntagen til sensorerne i det installerede lækageovervågningssystem, som også blev testet for funktionalitet.

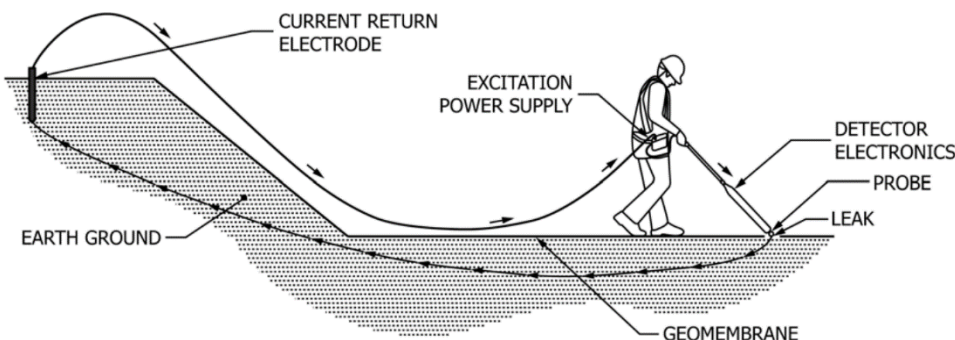
Ved den nye installation af PP-foringen blev der taget hensyn til erfaringerne fra den første installation og resultaterne af de efterfølgende materialetest. Dette omfattede blandt andet systematisk planlægning af panellægning, arbejdssekvens og svejsning for at opnå en installation så fri som muligt for spændinger. For eksempel var to forskelligt justerede overflader (f.eks. mellem to skråninger eller skråning og bund) forbundet udelukkende om morgenen for at minimere/undgå en trampolineffekt, der kan forekomme i geomembraninstallation som følge af temperaturrelateret krympning af plastmaterialet. Geomembranoverfladetemperaturen målt om morgenen i Høje Taastrup var omkring 15 °C, mens PP-linerens lysere overflade i løbet af dagen nåede op på 37 °C

Desuden blev liner (Figur 13) lagt i de fire skrånende hjørner, hvorved sømmene fra kanten blev flyttet længere ind. Derudover blev den daglige produktion af lagte baner på en skråning svejset sammen samme dag, mens tilslutningen til den sidste bane, blev udført den næste dag. Årsagen hertil var at give eventuelle produktionsrelaterede restspændinger i materialet (f.eks. på grund af eventuel afkøling i sammenrullet tilstand efter at have passeret produktionslinjen) tilstrækkelig tid til at slappe af i valset tilstand, før eventuelle lokale spændinger indføres som følge af svejsning.



Figur 13: Princip for linerinstallation.

Desuden blev elektrisk lækagedetektion for udsatte steder udført efter afslutningen af installation af PP-lineren ved hjælp af lysbuetestmetoden (se Figur 14).



Figur 14: Princip for lysbuetest (figuren er taget fra ASTM7953 Standard Practice for Electrical Leak Location on Exposed Geomembranes Using the Arc Testing Method).

En anden foranstaltning var involvering af en tilsynsførende til kvalitativt at overvåge svejse- og installationsaktiviteterne på stedet på vegne af bygherren. Der blev ført tilsyn med overholdelse af tekniske kriterier for installation og svejsning af geomembraner i henhold til danske (DS/INF 466) og tyske (DVS) standarder, deres dokumentationskrav samt de særlige krav til den anvendte PP-liner.

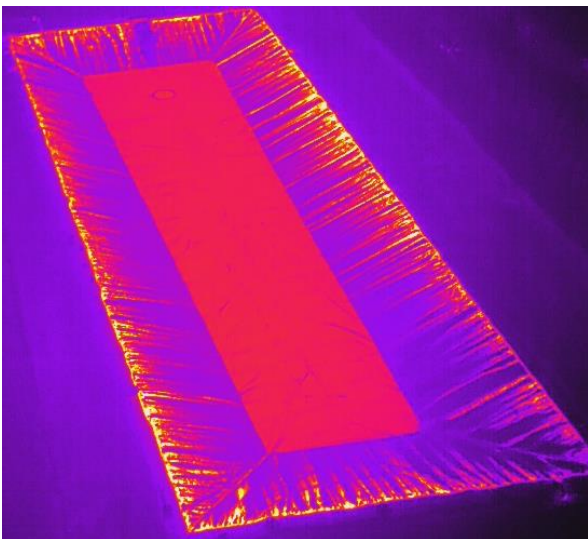
Ved installation af den midlertidige HDPE-beskyttelsesliner var svejse- og testdokumentation ikke påkrævet, hvilket førte til en hurtigere installation. Denne liner blev senere fjernet igen inden implementeringen af lågets PP-flydeliner næste forår. Formålet med beskyttelseslineren er på den ene side at opretholde vandkvaliteten af det tilstrømmende fjernvarmevand så vidt muligt under påfyldningsprocessen for at minimere eller helt undgå efterfølgende rengøringsindsats. På den anden side dækker dette lag PP-lineren og beskytter mod UV-påvirkning.

## 7.5 Vandpåfyldning og beskyttelse af lineren under påfyldning

Efter installation af PP-lineren og før installation af den midlertidige HDPE-liner blev der overalt i bassinet implementeret et vandingssystem. Dette system blev designet til at tillade opvarmet fjernvarmevand at komme ind i bassinet fra alle sider på samme tid fra toppen af skråningerne. Fjernvarmevandet kom fra samme forsyning som vandet, der blev indført gennem den laveste diffusor til påfyldning. Baggrunden for denne foranstaltning var temperaturanvendelsesområdet for polypropylen, hvilket gør det suverænt ved høje temperaturer men svagere ved lave temperaturer. Og selvom HTR PP-lineren til brug ved permanent høje temperaturer blev modificeret til at kunne modstå lave temperaturer, er PP som råmateriale og dets opførsel ved lave temperaturer for eksempel ikke sammenlignelig med polyethylen. Derudover er installationen af geomembraner udendørs grundlæggende vejrafhængig, og visse kriterier skal være opfyldt for at opnå en kvalitetssvejsning (tør, ikke for kold, ...). Derfor udføres installationsarbejdet grundlæggende i de varmere måneder af et år, mens vandpåfyldningen typisk er planlagt i de koldere vintermåneder.

Ved påfyldning stiger vandstanden langsomt. Som følge heraf er bunden af bassinet dækket af vand ret tidligt, mens overfladen af geomembranen i den øverste del af skråningen er dækket meget senere. De områder, der ikke er dækket af vand, udsættes derfor for omgivelsestemperaturer over en længere periode. Dette kan få temperaturen i den installerede liner til at komme under frysepunktet under meget kolde perioder. For overflader dækket af vand kunne temperaturer mellem 4 og 5 °C måles selv på de koldeste dage.

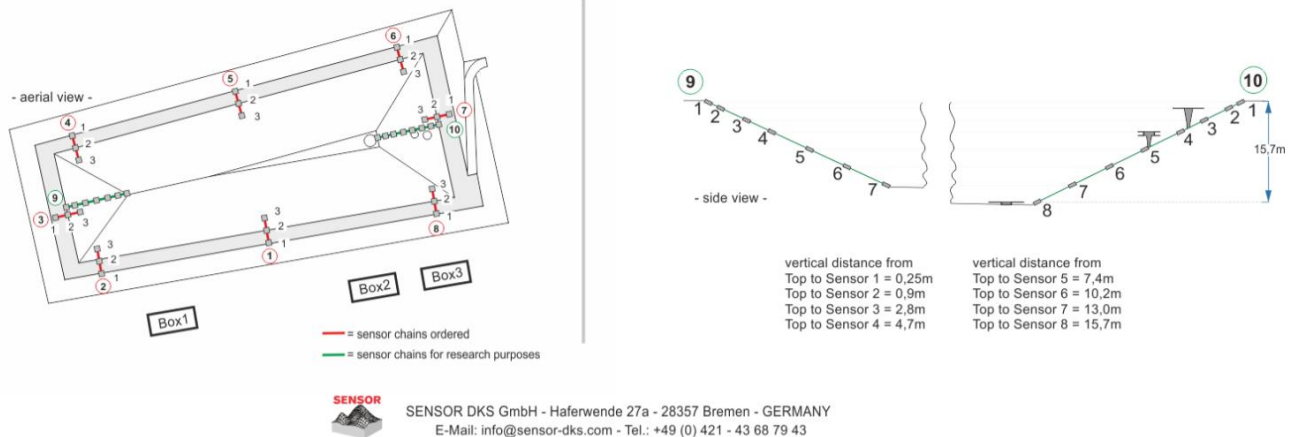
Overrislingssystemets funktionalitet blev verificeret med termofotos samt temperaturmålinger under toppen af dæmningen. (se Figur 15)



Figur 15: Termofoto af vandingssystem under påfyldning. November 2021.

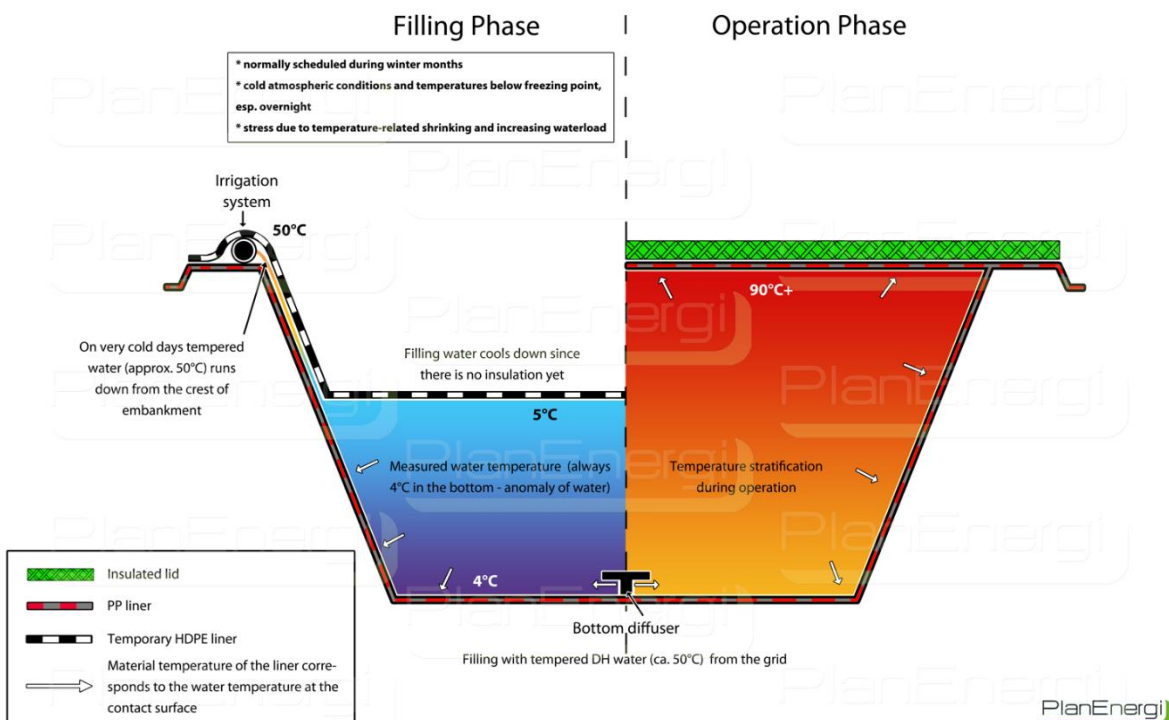


Damvarmelager Høje Taastrup - Temperature Sensors



Figur 16: Temperaturfølere til kontrol af funktionen af overrisslingssystemet.

Generelt kan det siges, at der kan skelnes mellem to faser med hensyn til belastningen på tætningen af en PTES. Påfyldningsfasen, hvor lineren er delvist nedsænket under (koldt) vand og delvist udsat for det omgivende miljø. Vandstanden stiger og dermed øges belastningen. Og driftsfasen, hvor lineren er helt nedsænket under opvarmet vand. Begge situationer fører til temperaturafhængige forlængelser/sammentrækninger. Afhængigt af den ønskede brug og valg af materialer anbefales det at være opmærksom på dette. (se Figur 17)



Figur 17: Illustration af forskellen i temperaturer mellem påfyldnings- og drift fasen samt tekniske foranstaltninger til beskyttelse af lineren under påfyldning.

## 7.6 Lækage 3

Lækage 3 opstod, efter at den midlertidige HDPE-liner blev fjernet, og før den flydende PP-liner blev installeret. Før den flydende PP-liner blev flådet ud på vandet, var det nødvendigt at demontere overrislingssystemet, der var fastgjort rundt om toppen af dæmningen. Rørene blev fastgjort til PP-sidelinieren med PP-stropper, der blev klæbet fast ved hjælp af varm gas. I løbet af demonteringen blev disse stropper delvist revet af i stedet for at blive skåret over. En varmgassvejsning er ikke en svejst samling, men denne type samling er ikke desto mindre en termisk fiksering af to plastoverflader til hinanden. Grov håndtering under demontering kan derfor forårsage beskadigelse af materialet. Sådanne skader på toppen af dæmningen resulterede i en revne, der strakte sig ind i bassinet ca. 50 cm under vandstanden.

Til reparationen blev en kasse lavet af plastplader. Neoprenforseglinger blev fastgjort til den nederste kant af kassen. Denne sænkekasse blev forsænket fra sidekanten over reparationsstedet, placeret på PP-linieren på skråningen og efterfølgende tynget ned for at presse kassen mod PP-membranen. Bag efter blev arbejdsområdet drænet og revnet blev lukket med en lap fastgjort med dobbelt ekstruder-svejsning.



Figur 18: PP strop fæstnet til PP-liner og revne i PP-liner.



Figur 19: Reparation af revne ved hjælp af sænkekasse.

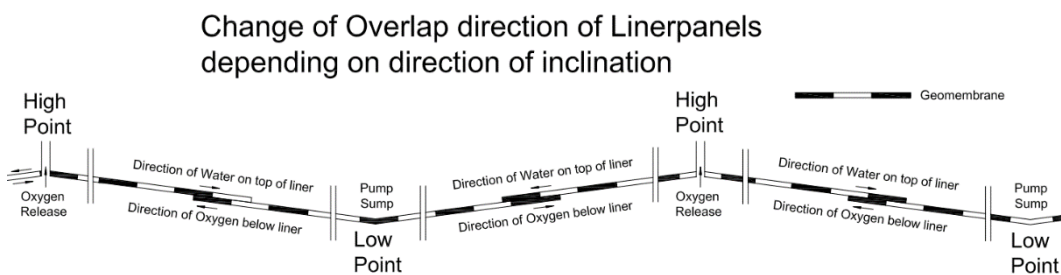


## 7.7 Etablering af flydeliner

Ved installation af PP-lineren som flydeliner blev svejsearbejdet udført på kronekanten af den østlige skråning. Bredden af kronekanten var ca. 12 m, hvilket gav tilstrækkelig arbejdsplads (svejsezone). Den underliggende jord blev glattet og dækket med geotekstil som beskyttelseslag. På kronekanten blev de enkelte baner af PP-lineren derefter svejst sammen (overlappende søm med testkanal) og trukket trin for trin over vandoverfladen. I samme periode blev den midlertidige HDPE-liner på den vestlige dæmning successivt trukket ud og fjernet.

Nogle ujævnheder såvel som sten under geotekstilet førte til, at der efter arbejdets start måtte foretages efterreparationer på den underliggende jord. Da alt svejse- og installationsarbejde på lågets PP-flydeliner udføres på denne svejsezone, er der meget bevægelse fra teknikernes side på denne overflade. Ujævnheder i svejsezonens underliggende jord kan derfor påvirke kvaliteten af lågets flydeliner negativt. For fremtidige projekter anbefales det kvalitativt at vurdere og godkende svejsezonens underliggende jord med hensyn til dens fladhed (komprimering) og frihed fra sten, inden linerarbejdet påbegyndes.

I overensstemmelse med Aalborg CSPs valgte lågløsning blev monteringsdele (mandehuller og ventilationsudtag til udluftning) svejset ind i geomembranen på udpegede steder. Der blev også sørget for, at overlappingsretningen ved overlappingsømmen på de enkelte baner var justeret med hældningsretningen, som den ville forekomme i lågets færdige installationstilstand. (se Figur 20)



Figur 20: Ændring af overlap retning af linerbaner i den flydende lågliner.

Ved montering trækkes PP-lineren over vandoverfladen såvel som over kronekanterne. Her er PP-lineren fra lagerets sider placeret. Når man trækker lineren trin for trin, er der risiko for, at (små) sten kommer mellem lineren på kronekanten og den trukne liner og føre til beskadigelse på linerne.

Som en konklusion på denne erfaring og indholdet i afsnit 7.6 vil en anbefaling være at overveje et ekstra beskyttelseslag placeret oven på kronekantens PP-liner. Dette kan reducere risikoen for skader under demontering af et overrislingssystem samt beskytte PP-lineren mod potentielle ridser, der opstår ved at trække i låglineren.

## 7.8 Etablering af låg og måleudstyr

Efter færdiggørelsen af den flydende PP-liner blev opbygningen af de enkelte lag af lågkonstruktionen påbegyndt.

Arbejdet indledtes med rengøring af nogle områder af den flydende PP-liner, fordi snavs og sten havde samlet sig over tid (især i nærheden af kanterne). Et beskyttelseslag (Geonet) blev derefter rullet ud, efterfulgt af de enkelte isoleringslag. De præfabrikerede pumpe-sumpe (lavpunkter) blev målt ind på forhånd, placeret i den respektive position på beskyttelseslaget, og isoleringslagene blev korrekt placeret hele vejen rundt bagefter. Til dræning og elektriske installationer blev tomrør lagt ind i isoleringen. Drænrørene fører ind i et opsamlingsrør lagt i kronekanten med forbindelse til et

nærliggende forsinkelsesbassin på 2.000 m<sup>3</sup>. Stenene og tilhørende komponenter blev derefter placeret. Udlægning af stenene blev udført ved hjælp af en vakuumbil.

Ved afslutningen af låginstallation, blev hældningen, der blev etableret på grund af ballasten, brugt til fjernelse af vand, der blev akkumuleret under installationen, idet vandet strømmede under isoleringslagene til de respektive pumpe-sumpe. I perioden med låginstallation var der ingen væsentlige kraftige regnhændelser, der ville have nødvendiggjort yderligere foranstaltninger.

Vindbeskyttelse blev udført med op til 5 sandsække pr. isoleringsmåtte og lag, hvilket betød, at ca. 6.000 sandsække var nødvendige under låginstallation.

### Montering af måleudstyr i låg

I FLEX\_TES-projektet indgår et måleprogram, hvor måleresultaterne skal afrapporteres efter 1 og 2 års drift. De nødvendige måleinstrumenter er specificeret af DTU og benyttes både til opfølgning på lagerets drift (temperaturprofiler, op- og afladning, stratifikation, vandkvalitet mm.) men også påvirkningerne af de nærliggende omgivelser (jordfugtighed og varmeledningsevne, temperaturgradienter i jordlagene uden for lageret). Nedenfor er listet måleinstrumenterne, der indgår i måleprogrammet.

Måleinstrumenter i måleprogrammet, der er nødvendige for driften af lageret:

- **Temperaturklokkestreng**, der er fæstnet til mandehullerne og hænger lodret ned i lageret – hver med 14 sensorer. På grund af det begrænsede antal sensorer, er det nødvendigt med et sæt af 2 klokkestreng for at dække hele lagereprofilen i højden. Temperaturprofilen indgår i beregningen af energi- og vandindholdet i lageret og benyttes til at lave prognoser for op- og afladning. Desuden overvåges maks. temperaturen, så levetidsforringelse af membran undgås. Det vurderes, at målingerne er så vigtige, at redundans med ekstra sæt klokkestreng i det andet mandehul anbefales.
- **Vandniveaufølere** (guidet radar og tryktransmitter) er placeret i ekstern målebrønd med rørforbindelse til lageret. Vandspejlsmålingen overvåger både, om lageret er utæt, og mængden af vand og sne på låget. Målingen indgår i beregningen af energi- og vandindholdet i lageret sammen med temperaturmålingerne. Det vurderes, at målingen er så vigtig, at det anbefales, at den guidede radar suppleres med en tryktransmitter.
- **Energi- og flowmetre**, der er vigtige driftsinstrumenter til opsamling af værdier for import og eksport af energi samt vandflow til og fra lageret.
- **pH- og ledningsevne-målere**, der er vigtige for overvågning af vandkvaliteten, så potentiel justering kan igangsættes.

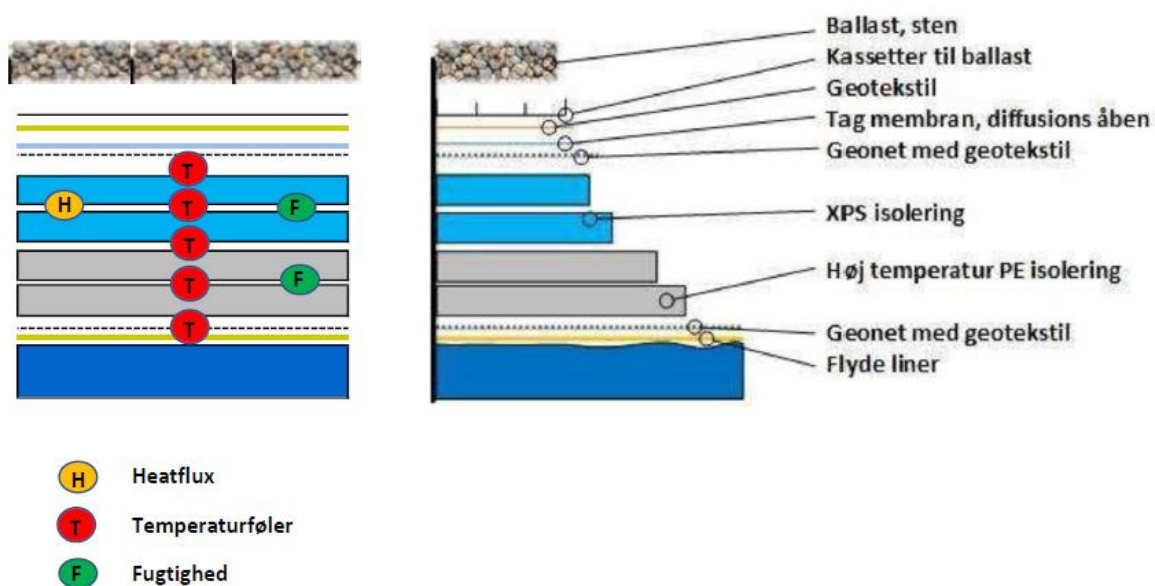
Måleinstrumenter i måleprogrammet, der ikke er nødvendige for driften af lageret.

- **Ekstra vandtemperaturfølere i lageret**, der er fastholdt til bunden af lageret med et lod men holdt i en bestemt afstand fra bunden via flydere. Målingerne sikrer DTU præcis viden om bundtemperaturen. Klokkestrengene giver ikke en eksakt information, da følerne bevæger sig med vandudvidelsen på grund af befæstelsen til mandehullerne.
- **Temperaturføler placeret i låg**, der måler temperaturen mellem de forskellige isoleringslag. Der måles i to felter med hver 5 temperaturfølere. Målingerne vil give DTU en indikation af varmetabet samt en overvågning af isoleringsegenskaberne (forringelse af isoleringsevne over tid).

- **Temperaturfølere i jord tæt på lageret**, der måler temperaturprofilen i hele lageret dybde. Der benyttes en temperaturklokkestreng som i lageret, der er nedsat lodret i kronekanten. Strengen har 10 temperaturfølere, der er fordelt jævnt i det 16 meter dybe hul.
- **Varmefluxmålere placeret i låg**, der måler varmetabet fra låget. Der måles i to felter med hver 3 varmeksemålere. Målerne er placeret i samme lag og forbundet i serie for at øge nøjagtigheden og få et gennemsnit over et (større) område, der dækkes af de tre følere.
- **Varmeledningsevnesensor i jord tæt på lageret**, der skal sikre DTU viden om langtidspåvirkningen af varmeledningsevnen i jorden over tid.
- **Fugtighedsmåler i jord tæt på lageret**, der er placeret tæt på varmeledningsevnesensoren. De to sensorer giver DTU viden om eventuelle ændringer af jordens egenskaber.
- **Fugtighedsmålere placeret i låg**, der måler fugtigheden mellem to isoleringslag. Der måles i to felter, hvor de to fugtighedsfølere er placeret i et øvre og et nedre isoleringslag. Målingerne kan sammenkobles med perioder med regnvejrr men også opfange brud på toplinieren; dog kun i det to felter, som er måleområder.
- **Vejrstation**, der monitorer vejrconditionerne lokalt ved lageret. Specielt registrering af nedbørsmængden kan indikere, om lågets pumper fjerner regnvandet fra låget sammenholdt med blandt andet vandspejlsmålingen og fugtighedsmålerne.

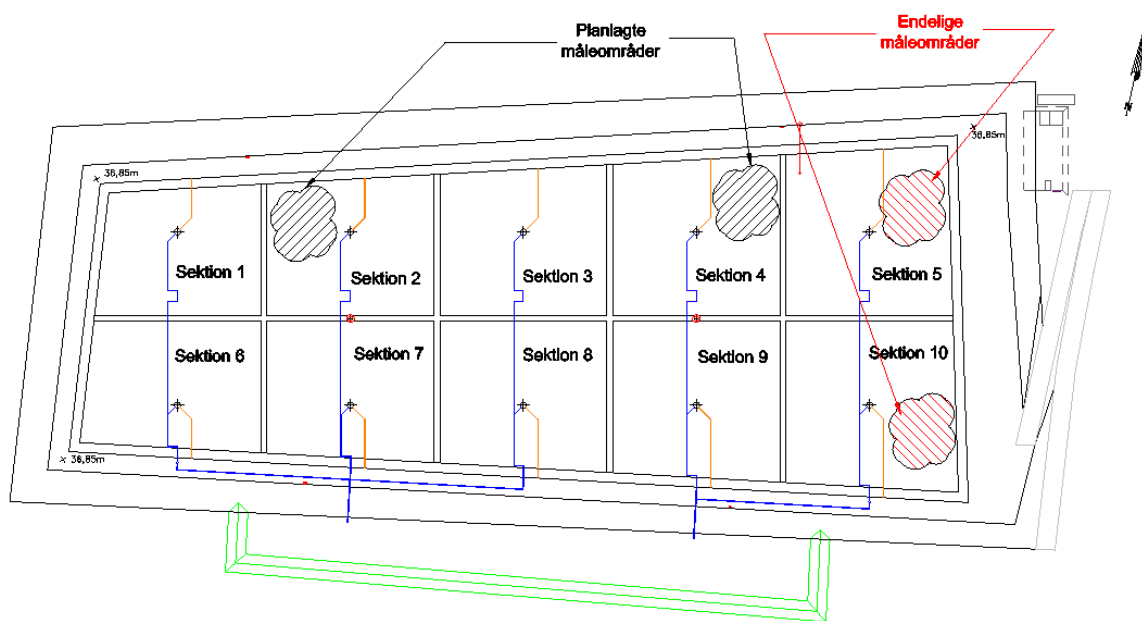
Programmets målværdierne indhentes og følges af DTU, og resultaterne afrapporteres årligt de to første driftsår.

I efterfølgende Figur 21 er vist placering af temperatursensorer, varmeksemålere samt fugtighedsensorer mellem de forskellige isoleringslag i låget.



Figur 21: Placering af følere mellem de enkelte isoleringslag

Lågkonstruktionen består af 10 sektioner, som er opbygget identisk. Der er ikke forskel på de enkelte sektioner, men det blev planlagt at foretage målingerne i hver sin ende af lageret i sektion 2 og 4 som vist i Figur 22, da afstandene til elskabene medførte kortere kabelføring.

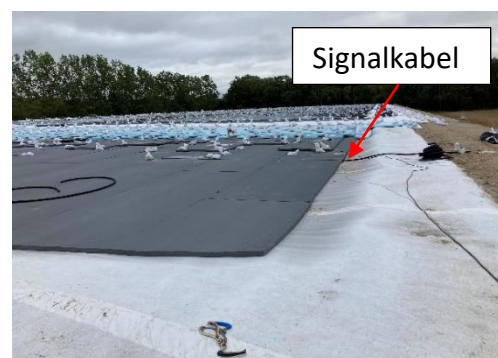


Figur 22: Planlagte og endelige målområder på låget.

Dele af måleudstyret havde uventet lang leveringstid, så den endelige placering af måleudstyret blev flyttet til sektion 5 og 10. Lågmontagen kunne påbegyndes med start i den østlige ende af lageret, uden at det forlængede den samlede montagetid.



Opbygning af låg fra den østlige ende



Placering af den første temperatursensor



PT100 sensor for temperaturmåling



Udskæring i isolering for fugtighedsensor af typen HygroS-

Figur 23: Eksempel på placering af temperatursensorer og fugtighedsensor





Figur 24: Placering af Hukseflux varme flux-målere i isoleringen (set fra oven).

## 7.9 Inspektion med undervands drone

En inspektion med en ROV (fjernbetjent køretøj) til ubådsdrift i varme temperaturer er blevet udført, efter at opvarmning af vandet inde i lageret blev påbegyndt. Inspektionen blev udført ved temperaturer under 80 °C for at se tilstanden inde i lageret ved højere temperaturer.

Der blev fundet sedimenter på bunden. Det viste sig også, at afstanden mellem låget og det øverste diffusortårn kun var ca. 20 cm, mens 40 cm var designet. Desuden blev der fundet små pletter ved diffusorerne, hvilket indikerer en startkorrosion. Beregninger viste, at sikkerhedsafstanden mellem låget og øverste diffusortårn er 6 cm, så de 20 cm udgjorde ikke umiddelbart en risiko. Korrosionen stammede formentligt fra at diffusorerne havde været monteret i en periode uden vand.

Temperaturmålinger viste, at der var ca. 50 °C i bunden af lageret på inspektionstidspunktet. Det var muligt at se, at lineroverfladen var glat, og at der ikke var opstået bemærkelsesværdige folder som følge af temperaturstigningen i forhold til installationstidspunktet.



Figur 25: Phantom XTL undervandsdrone

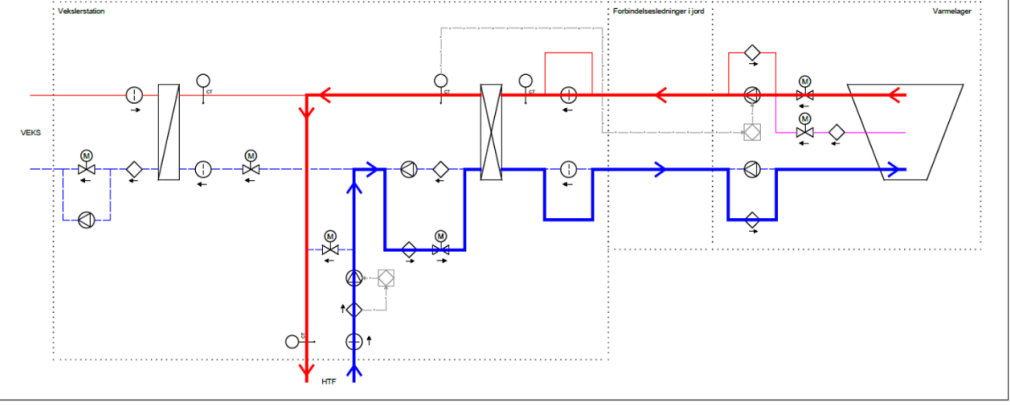
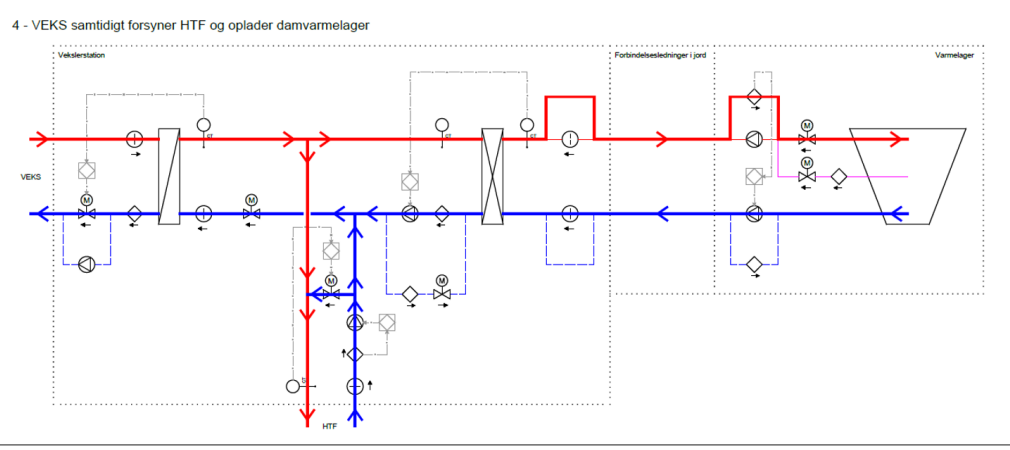
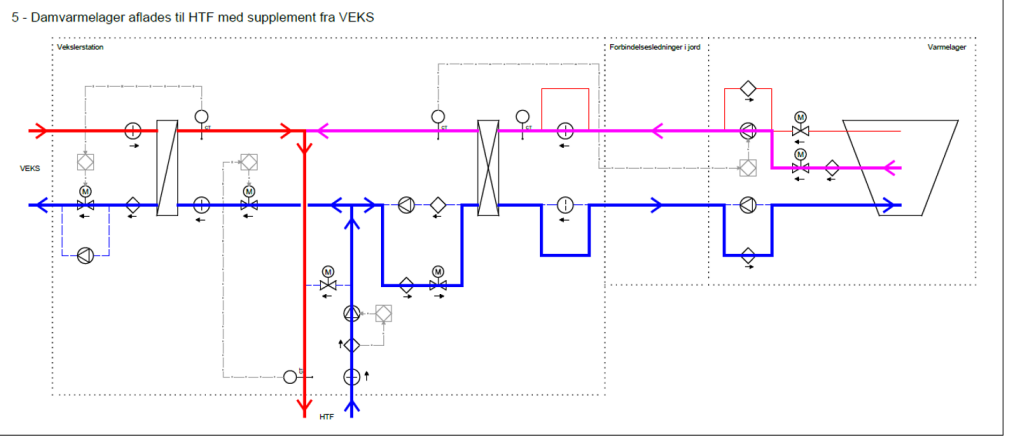
## 8 Aflevering, test og indkøring

### 8.1 Tids- og aktivitetsplan for aflevering

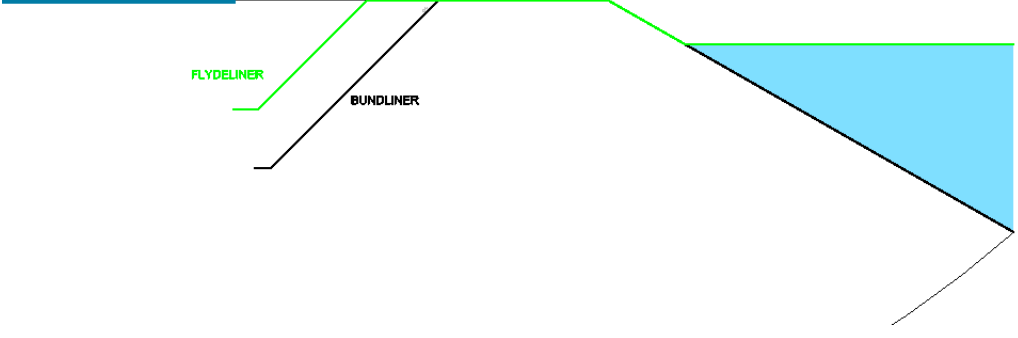
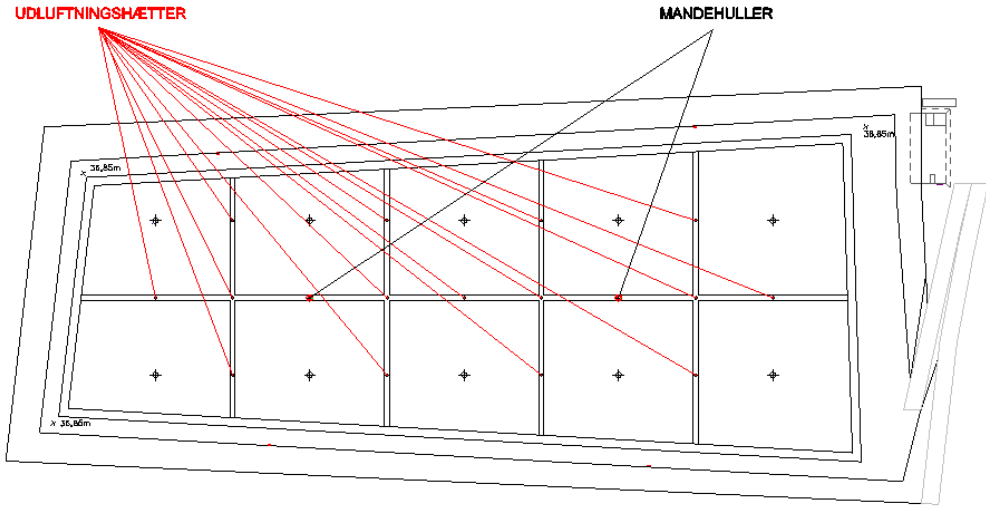
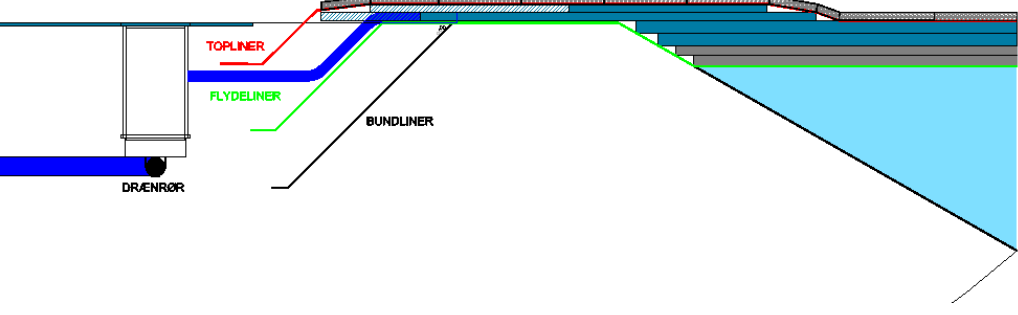
I forbindelse med planlægning af afleveringen blev der med baggrund i projektets overordnede styringsnotat udarbejdet en tids- og aktivitetsplan som en Pixi-bog, der viser de enkelte processer som skulle afprøves og tidsplanen for disse.

Pixi-bogen for tids- og aktivitetsplan ses herunder:

ID		
1	<b>VEKS FORSYNER HTF</b>	<b>Bygherre</b>
		<p><b>Koldtest af hydraulikken</b></p> <p><b>Start uge 17 2022</b></p>
2	<b>VEKS FORSYNER DAMVARMELAGER</b>	<b>Bygherre</b>
		<p><b>Koldtest af hydraulikken</b></p> <p><b>Start uge 17 2022</b></p>
3	<b>DAMVARMELAGER AFLADES TIL HTF</b>	<b>Bygherre</b>

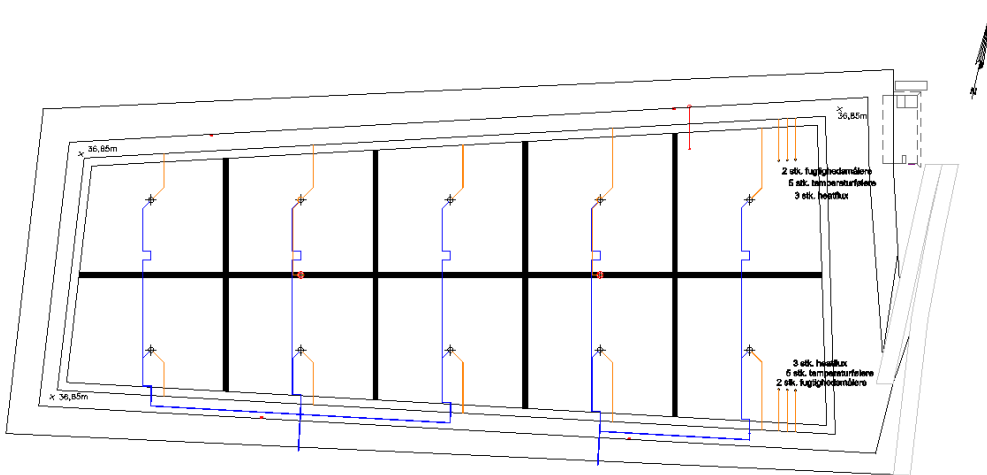
	<p>3 - Damvarmelager aflades til HTF</p> 	<p><b>Koldtest af hydraulikken</b></p> <p><b>Start uge 17 2022</b></p>
<p><b>4</b></p>	<p><b>VEKS SAMTIDIGT FORSYNER HTF OG OPLADER DAMVARMELAGER</b></p>	<p><b>Bygherre</b></p>
	<p>4 - VEKS samtidigt forsyner HTF og oplader damvarmelager</p> 	<p><b>Koldtest af hydraulikken</b></p> <p><b>Start uge 17 2022</b></p>
<p><b>5</b></p>	<p><b>DAMVARMELAGER AFLADES TIL HTF MED SUPPLEMENT FRA VEKS</b></p>	<p><b>Bygherre</b></p>
	<p>5 - Damvarmelager aflades til HTF med supplement fra VEKS</p> 	<p><b>Koldtest af hydraulikken</b></p> <p><b>Start uge 17 2022</b></p>
<p><b>6</b></p>	<p><b>GENNEMGANG OG OVERDRAGELSE AF BYGGEPLADS OG FLYDELINER</b></p>	<p><b>Alle</b></p>



		<p>Tjek af dokumentation og kvalitetssikring af arbejde. (Kontroller og protokoller)</p> <p>Uge 24 2022</p>
<p>7</p>	<p><b>TJEEK AF PLACERING AF MANDEHULLER OG VENTILATIONSHÆTTER</b></p>	<p>PBJ/ACSP/HTF/PE</p>
		<p>Placering af mandehuller og ventilationshætter i henhold til tegning</p> <p>Uge 24 2022</p>
<p>8</p>	<p><b>AFLEVERING AF BRØNDE OG DRÆNSYSTEM SAMT KRONEKANT</b></p>	<p>ACSP/HTF/PE/WK</p>
		<p>Aflevering af brønde og drænsystem Uge 42 2022</p> <p>Aflevering af kronekant/kørevej Uge 42 2022</p>
<p>9</p>	<p><b>KONTROL AF EL OG INSTRUMENTER FOR DRIFT</b></p>	<p>HTF/PE</p>

		<p>Er der forbindelse og er værdier retvisende?</p> <p>Uge 44 2022</p>
<p>10</p>	<p><b>KONTROL AF INSTRUMENTER FOR DTU MÅLEPROGRAM</b></p>	<p>HTF/DTU/PE</p>
		<p>Er der forbindelse og er værdier retvisende?</p> <p>Uge 44 2022</p>
<p>11</p>	<p><b>KONTROL AF DRÆNPUMPESYSTEM</b></p>	<p>ACSP/HTF/PE</p>
		<p>Kontrol af afvandingsystem Uge 46 2022</p>
<p>12</p>	<p><b>AFLEVERING AF LÅG</b></p>	<p>ACSP/HTF/PE</p>

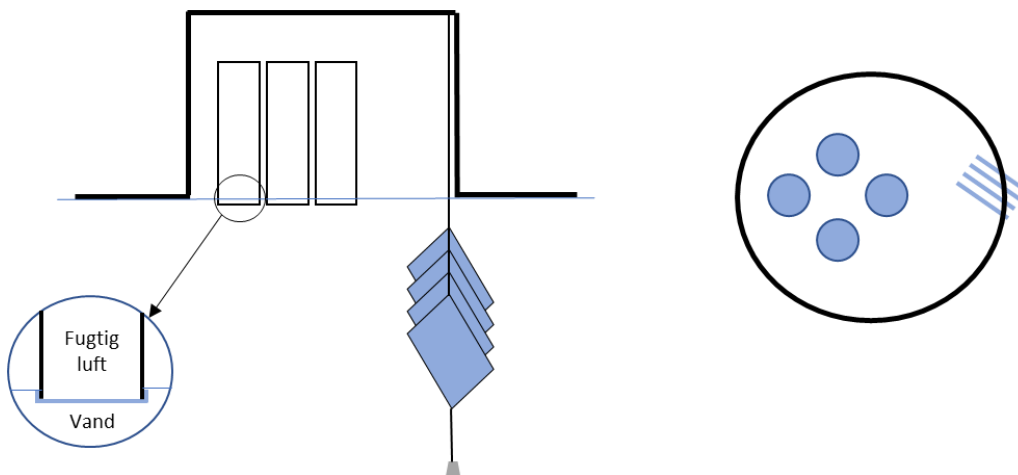
Aflevering af låg Uge  
46 2022



13

MEMBRANPRØVER I MANDEHUL

HTF/PE



Rør med membran-  
stykker foruden  
samt membranprø-  
ver nedsænkes i  
mandehul efter  
uge 48 2022.

Frekvens for prøve-  
optagning aftales

14

BEREGNING OG REGISTRERING AF VARMETAB

HTF/DTU

	<p> <span style="color: yellow;">●</span> H Heatflux  <span style="color: red;">●</span> T Temperaturføler  <span style="color: green;">●</span> F Fugtighed         </p>	<p>Ikke relevant før anlægget indgår i normal drift.</p> <p>Varmefluxen kan registreres efter tilslutning af måleudstyr.</p> <p>Beregninger kan udføres efter tilslutning af temperaturfølere.</p> <p>Primo 2023</p>
<p>15</p>	<p><b>DRONEOVERFLYVNING FOR TERMOGRAFI</b></p>	<p>Bygherre</p>
		<p>Droneoverflyvning</p> <p>Termografisk kontrol af kuldebroer. Optagelsen er fra morgen med solopgang i øst, hvilket har forårsaget højere overfladetemperaturer i østenden</p> <p>Primo 2023</p>

## 8.2 Aflevering af jordarbejde

Der blev den 19. december 2022 afholdt afleveringsforretning på entreprise A. Jord-, beton- og rørentreprisen, udført af Wicotec Kirkebjerg A/S som totalentreprenør.

Afleveringen blev godkendt, og arbejdet er omfattet af almindelig entreprenørgaranti (5 år).

## 8.3 Aflevering af liner-entreprisen

Entreprisen er udført af PBJ som totalentreprenør, for både bund- og flydeliner.

Bund- og sideliner blev afleveret den 29. marts 2022 efter afslutning af vandpåfyldning og konstatering af, at der ikke var opstået lækager under vandpåfyldning. Afleveringen godkendtes

Efter vandpåfyldning og aflevering af bund- og sideliner blev flydelineren udlagt, og dette skete i perioden fra april 2022 og frem til maj 2022.

Der blev lavet afleveringsforretning på flydelineren den 13. juni 2022. Afleveringen godkendtes.

Også linerarbejdet er omfattet af almindelig entreprenørgaranti.

Efter afleveringsforretningen på flydelineren blev der lavet en overleveringsforretning til Aalborg CSP, hvorefter Aalborg CSP overtog flydelineren.

## 8.4 Aflevering af låg-entreprisen

Låg-entreprisen er udført af Aalborg CSP A/S som totalentreprenør.

Låg-opbygningen er foretaget i perioden fra juni 2022 og frem til oktober 2022, hvor der er lavet afleveringsforretning på låg-entreprisen den 24. oktober 2022. Afleveringen godkendtes.

Lågleverancen er omfattet af almindelig entreprenørgaranti.

## 9 Økonomi

Damvarmelager med tilslutninger			Budget	Budget	Rev. Budget	Rev. Budget	
ØKONOMIOVERSIGT			08.01.2019	01.05.2020	02.10.2020	01.01.2023	23-05-2023
Projektnr	Aktivitet	Beskrivelse af omkostninger					Status
			realiseret				realiseret
			mio. kr.				mio. kr.
4000	Modningsomkostninger	Omkostninger før FID	4,10	4,10	4,10	4,10	4,10
4008	Projektering	Projektering, tilsyn, mv	5,00	6,00	6,00	6,30	6,02
4009	Lager + pumpestation	Lager, pumpestation, liner og låg	27,70	30,00	35,60	39,50	40,14
4010	Ledning + krydsning	Opladerledning, krydsning af motorvej	13,10	10,00	7,00	7,00	6,99
4011+4012	Vekslerstation bygning	Vekslerstationsbygning, byggemodning	4,30	4,50	4,70	5,00	4,92
4013	Vekslerstation teknik	Tekniske anlæg i vekslerstation	11,40	11,90	13,30	14,50	14,36
4014	Pumpestation teknik	Tekniske anlæg i pumpestation	5,60	5,70	4,70	4,90	5,22
4015	Eltilslutning	Til pumpestation og vekslerstation	3,80	2,80	2,10	2,10	2,03
4016	Vandpåfyldning	Indkøb/behandling af vand	3,40	3,50	4,50	4,00	4,10
4018	Egentid	50%VEKS+50%HTF	1,10	1,10	1,50	2,50	2,61
	Bygge renter		0,10	0,10	0,10	0,10	
	Sum		79,60	79,70	83,60	90,00	90,49
	EUDP		-4,20	-4,40	-10,00	-10,00	
	Ialt		75,40	75,30	73,60	80,00	90,49

Ovenstående tabel viser projektets omkostningsudvikling fra start til status i slutningen af maj, hvor projektet stort set er afsluttet

Omkostningsforøgelsen siden projektet påbegyndtes skyldes dels en dyrere linerløsning dels en dyrere lågløsning. Tilskuddet fra EUDP samt ændringer i prisindeks siden 2019 gør imidlertid, at det oprindelige budgetkrav på max 75 mio. kr. i anlægsudgifter har kunnet overholdes.

Nye beregninger fra Ea Energianalyse viser, at systemnyttens beregnet med FFH50-forudsætninger er på 7,8 mio. kr. mod 6,1 mio. kr. i den oprindelige beregning.

## Referencer

[1] PlanEnergi 2015. Udvikling af linere til damvarmelagre

[2] Paranovska, I., Pedersen, S., 2016. Lifetime Determination for Polymer Liners for Seasonal Thermal Storage

## Oversigt over væsentligste leverandører

**Jordarbejde og ind- og udløbsarrangement:** WICOTEC KIRKEBJERG A/S [www.wicoteckirkebjerg.dk](http://www.wicoteckirkebjerg.dk)

**Lågleverance:** Aalborg CSP A/S [www.aalborgcsp.dk](http://www.aalborgcsp.dk)

**Linerarbejde:** PBJ Miljø A/S [www.pbjas.dk](http://www.pbjas.dk)

**PP-liner:** AGRU GmbH [www.agru.at](http://www.agru.at)

**Montering af PP-liner:** G quadrat GmbH [www.g-quadrat.de](http://www.g-quadrat.de)

**Lækageovervågningssystem:** SENSOR Dichtungs-Kontroll-Systeme GmbH [www.sensor-dks.com](http://www.sensor-dks.com)

**Rådgiver:** PlanEnergi [www.planenergi.dk](http://www.planenergi.dk)

**Underrådgiver fjernvarmesystem:** Damgaard rådgivende ingeniører [www.damgaard-ri.dk](http://www.damgaard-ri.dk)