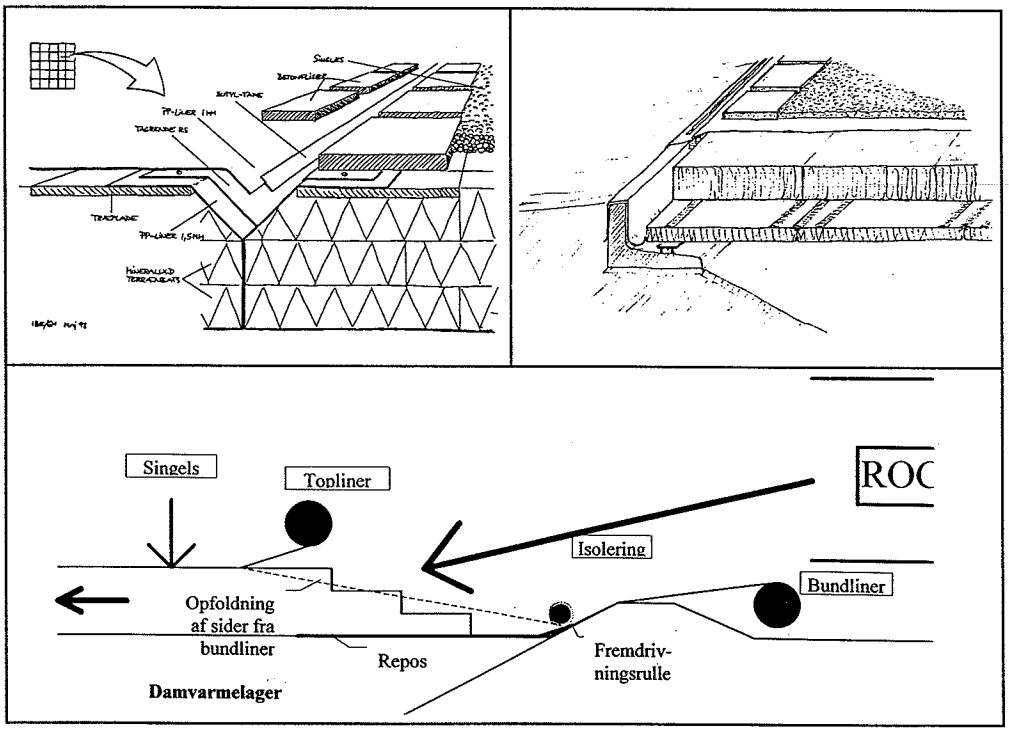
UDVIKLING AF FLYDENDE LÅGKONSTRUKTIONER TIL DAMVARMELAGRE

SLUTRAPPORT FOR UVE-PROJEKTET "LÅGKONSTRUKTIONER TIL DAMVARMELAGRE - FASE II"

GERALD MAURESCHAT (RED.)



RAPPORT
R-23
1998
ISSN 1396-4011
ISBN 87-7877-024-6

INSTITUT FOR BYGNINGER OG ENERGI
DANMARKS TEKNISKE UNIVERSITET

IBE

Gerald Maureschat (red.)

Udvikling af flydende lågkonstruktioner til damvarmelagre

Slutrapport for UVE-projektet
'Lågkonstruktioner til damvarmelagre - Fase II'
(ENS j.nr. 51181/97-0044)

Rapport R-23 1998
Institut for Bygninger og Energi
Danmarks Tekniske Universitet

Maj 1998

Indhold

Resumé **1**

1 Indledning **2**

1.1 Baggrund og formål 2
1.2 Projektets indhold 3
1.3 Projektdeltagere og -organisation 3

2 Funktionskrav til lågkonstruktioner **5**

2.1 Fundamentale krav 5
2.2 Højt prioriterede krav 6
2.3 Lavere prioriterede krav (ønsker) 8

3 Lågdatabase **9**

3.1 Bagrund for og formål med lågdatabasen 9
3.2 Opbygning og systematisering af databasen 9

4 Præsentation af løsningsforslagene **11**

4.1 Modulløsning af PP med løs isolering (Uffe Nielsen, Plast Consult) 12
4.2 Videreudvikling af Ottrupgård-låget (Carsten Wesenberg, NNR a/s) 21
4.3 Videreudvikling af IBE's forsøgslåg (IBE) 28
4.4 Flerlagsløsning med små PP-kar (IBE) 35

5 Prissættelse af løsningsforslagene **41**

6 Varmeteknisk undersøgelse af løsningerne **47**

6.1 Formålet med den varmetekniske undersøgelse 47
6.2 Resultater af varmetabsberegningerne 47
6.3 Konklusion på den varmetekniske undersøgelse 50

7 Opsamling og anbefalinger **51**

7.1 Opsamling 51
7.2 Styregruppens anbefalinger 52

Referencer **55**

Bilag **57**

Resumé

UVE-Projektet "Lågkonstruktioner til damvarmelagre" blev igangsat i sommeren 1995. Den første fase af projektet blev afsluttet i foråret 1997 og har ført frem til en løsning, som blev afprøvet både i laboratoriet /1/ og i pilotlageret på Ottrupgård i Skørping /2/. Første fase af projektet har givet vigtige erfaringer med udviklingen af lågkonstruktioner til damvarmelagre og har samtidigt vist, at der kræves en videreudvikling af lågkonstruktionen, såvel teknisk som økonomisk. /2/ /3/

Formålet med UVE-projektets fase II var derfor, på baggrund af de hidtidige erfaringer at udvikle to til tre nye løsninger til flydende lågkonstruktioner til damvarmelagre.

I starten af projektet blev der opstillet en liste over funktionskrav, som løsninger til flydende lågkonstruktioner skal opfylde. På baggrund af disse funktionskrav blev der udarbejdet fire løsningsforslag til lågkonstruktioner til 100.000 m^3 damvarmelagre, der er beskrevet og prissat i detaljer. Derudover blev der gennemført en varmeteknisk undersøgelse af løsningsforslagene.

Det ene løsningsforslag er en videreudvikling af lågkonstruktionen fra pilotanlægget på Ottrupgård og repræsenterer en stålløsning, d.v.s. at isoleringen er beskyttet mod indtrængende lagervand og damp med en stålliner. De tre andre løsninger anvender derimod plastmaterialer til dette formål. De tre plastløsninger adskiller sig først og fremmest fra hinanden ved forskellige sektionsstørrelser, der varierer fra meget lille (2 m^2) til meget stor (670 m^2). Plastløsningen med de store sektioner introducerer derudover en utraditionel kantløsning med kiler.

Prissættelsen af løsningsforslagene har vist, at plastløsningerne generelt er billigere end stålløsningen og at stålløsningen er næsten tre gange så dyrt (1.437 kr./m^2) som den billigste plastløsning (561 kr./m^2). Til gengæld kan stålløsningen tåle meget høje temperaturer i lagervandet over lang tid, hvilket ikke på nuværende tidspunkt kan garanteres for plastløsningerne.

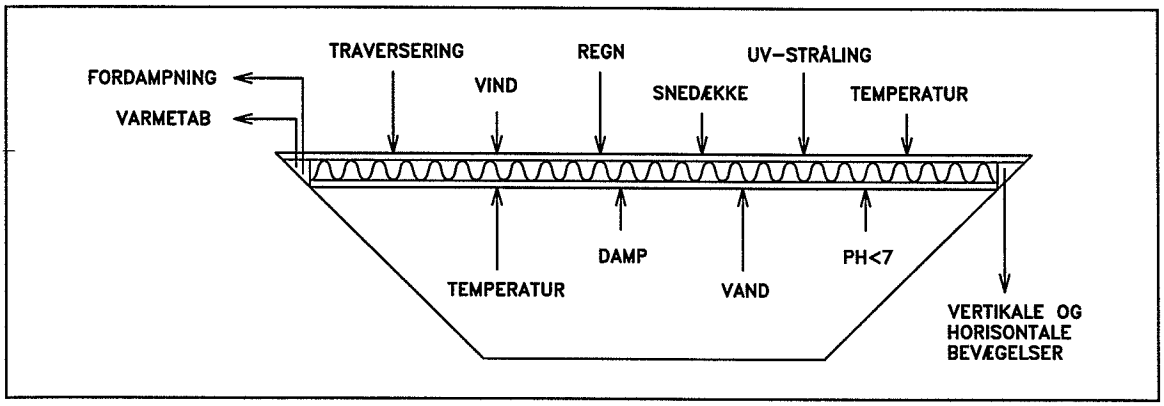
De varmetekniske undersøgelser har vist, at løsningsforslagene medfører et årligt varmetab gennem det 12.100 m^2 store låg på mellem 500 og 626 MWh/år og at kuldebroeffekten grundet samlinger mellem lågsektioner og i lagerkanten er ringe.

Det anbefales, at der i forlængelse af nærværende projekt gennemføres en fase III, hvor prototyper af de beskrevne løsninger skal undersøges under realistiske forhold m.h.t. deres funktionsdygtighed/anvendelighed og m.h.p. efterfølgende konstruktion i stor skala (12.000 m^2). Ved afprøvningen skal der lægges vægt på undersøgelser af de anvendte materialers vand- og damptæthed, fugt- og vandindtrængning i isoleringen, lågenes bevægelser som følge af den termiske udvidelse, samlingernes egnethed samt håndteringen og montagen af løsningerne m.h.t. fx tidsforbruget.

1 Indledning

1.1 Baggrund og formål

I de senere år er der i Europa blevet udviklet en række forskellige koncepter for sæsonvarmelagring af solvarme. Et af disse koncepter er etableringen af damvarmelagre med flydende lågkonstruktioner. Erfaringerne fra eksisterende damvarmelagre har vist, at et af de kritiske punkter ved etableringen af damvarmelagre er lågkonstruktionen. Låget er udsat for en række fysiske påvirkninger, der stiller store krav til materialevalg og selve konstruktionen (figur 1.1). Således er det ikke lykkedes endnu at udvikle en solid og prismæssigt acceptabel lågløsning i Europa.



Figur 1.1: Principskitse for et flydende låg og fysiske påvirkninger

På denne baggrund blev UVE-Projektet "Lågkonstruktioner til damvarmelagre" igangsat i sommeren 1995. Den første fase af projektet blev afsluttet i foråret 1997 og har ført frem til en løsning, som blev afprøvet både i laboratoriet /1/ og i pilotlageret på Ottrupgård i Skørping /2/. Første fase af projektet har givet vigtige erfaringer med udviklingen af lågkonstruktioner til damvarmelagre og har samtidigt vist, at der kræves en videreudvikling af lågkonstruktionen, såvel teknisk som økonomisk. /2/ /3/

Formålet med projektets anden fase var derfor, på baggrund af de hidtidige erfaringer at udvikle to til tre løsninger til flydende lågkonstruktioner, som skulle være beskrevet og prissat i detaljer. Ved udvælgelsen af de fremsatte løsningsforslag skulle der lægges stor vægt på, at de enkelte løsninger er driftssikre, økonomiske og at de kan afprøves i fuldskalaforsøg på anlægsprojekter. /4/ Projektet er gennemført med midler fra Energistyrelsens "Udviklingsprogram for Vedvarende Energi" (j.-nr. 51181/97-0044).

1.2 Projektets indhold

Projektets anden fase startede i september 1997 og blev afsluttet med udgangen af april 1998. De indledende aktiviteter bestod af en granskning af litteraturen om emnet og fastlæggelsen af en liste over specifikke funktionskrav, som en mulig løsning for en flydende lågkonstruktion skal opfylde. Listen over funktionskravene og uddybende bemærkninger hertil findes i kapitel 2.

For at skabe overblik over forskellige kendte lågkoncepter og for at skabe et udviklingsredskab, blev der sideløbende med selve projekteringen af lågkoncepterne arbejdet med opbygningen af et "løsningsrum". Den oprindelige idé, at inddrage kompetente konsulenter fra Institut for Produktudvikling i dette arbejde, blev i løbet af projektet af økonomiske årsager opgivet. Istedet blev der opbygget et minimeret løsningsrum i form af et kombineret database- og ringbindsystem, som bliver præsenteret i kapitel 3.

Selve projekteringsfasen blev delt i en skitse-fase og en detail-fase. Skitseprojekteringen blev afsluttet den 1. december 1997 og resulterede i fire skitser til mulige løsninger. Alle skitserne var så interessante, at det blev besluttet, at der skulle arbejdes videre på dem i detailprojekteringsfasen. Resultaterne af denne detailprojektering er fire lågkoncepter, der er præsenteret i kapitel 4 og prissat i kapitel 5.

Kapitel 6 refererer til undersøgelser af varmetabet igennem de foreslåede lågkonstruktioner. Undersøgelserne blev gennemført som led i projektet fordi der skulle skabes et grundlag for en varmeteknisk sammenligning af de enkelte forslag. Undersøgelsernes detaljerede resultater fremgår af bilag 3 og /5/.

1.3 Projektdeltagere og -organisation

Projektet er organiseret med en ledelse, en styregruppe og arbejdsgrupper til projektering af lågkoncepter. Projektets deltagere er:

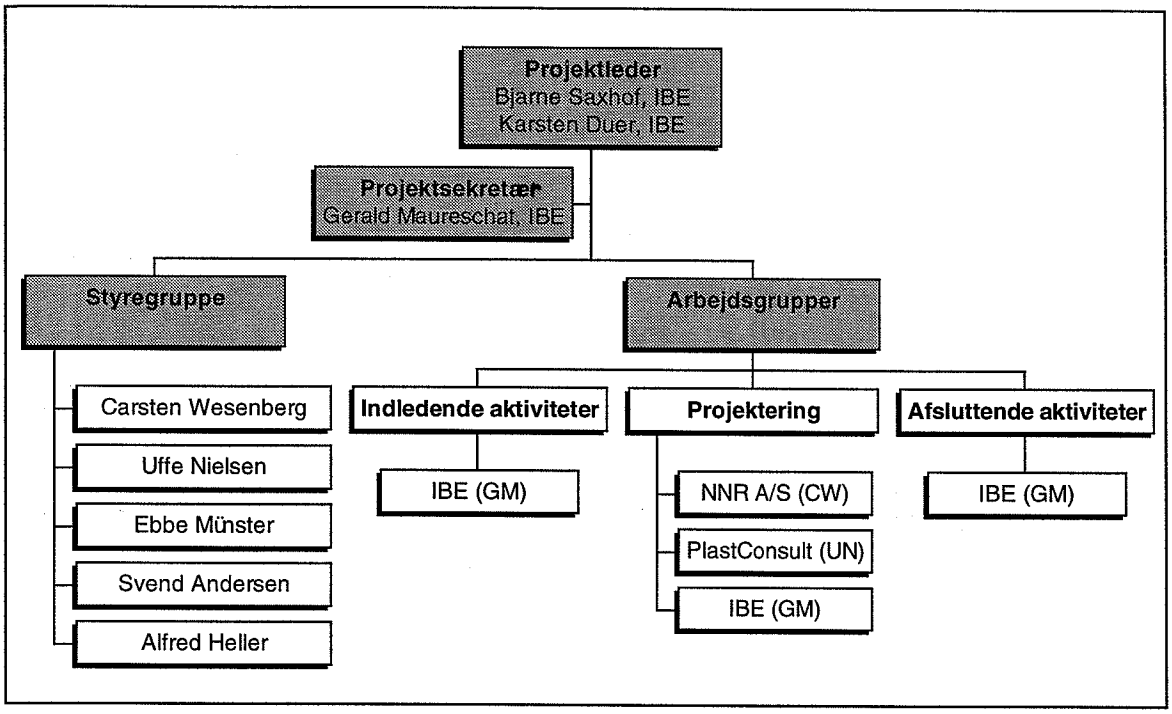
Projektledelsen:

- Bjarne Saxhof, Institut for Bygninger og Energi, Projektleder indtil 31. marts 1998
- Karsten Duer, Institut for Bygninger og Energi, Projektleder fra 1. april 1998
- Gerald Maureschat, Institut for Bygninger og Energi, Projektsekretær

Styregruppen:

- Carsten Wesenberg, Nellemann, Nielsen & Rauschenberger A/S
- Uffe Nielsen, PlastConsult
- Ebbe Münster, PlanEnergi
- Svend Andersen, Ar-Con Solvarme
- Alfred Heller, Institut for Bygninger og Energi

Organisationen fremgår af nedenstående diagram:



Figur 1.2: Organisationsdigram for projektet "Lågkonstruktioner til damvarmelagre - Fase II"

2 Funktionskrav til flydende lågkonstruktioner

Til brug ved udviklingen af lågkonstruktioner til damvarmelagre har projektets styregruppe fastlagt nedenstående liste over specifikke krav, som en mulig løsning for en flydende lågkonstruktion skal opfylde. Kravene er delt op i tre grupper, svarende til deres prioritering. Således indeholder den første gruppe de fundamentale krav, der stilles fra bygherrens side. Den anden gruppe indeholder højt prioriterede krav, der skal være opfyldt og sluttelig indeholder den tredje gruppe de lavere prioriterede krav, som ikke nødvendigvis skal være opfyldt, men som der bør tages hensyn til ved projekteringen af en lågløsning.

Tabel 2.1: Liste over funktionskrav til lågkonstruktioner til damvarmelagre:

Fundamentale krav:	• Låget skal have en stabil funktion m.h.t. isoleringsevne
	• Låget skal kunne aflede nedbør
	• Låget skal opfylde myndighedskrav især m.h.t. sikkerhed
Højt prioriterede krav:	• Låget skal have et acceptabelt pris-ydelsesforhold
	• Der skal være tale om en robust løsning, som også hindrer iltning af vandet
	• Montagen skal kunne udføres uden problemer
	• Der skal tages hensyn til løsningens miljøbelastning
Lavere prioriterede krav:	• Låget skal have et acceptabelt udseende
	• Muligheden for en sekundær anvendelse skal overvejes

2.1 Fundamentale krav

2.1.1 Låget skal have en stabil funktion m.h.t. isoleringsevne

Lågets primære funktion er isolering af lageret og dermed forhindring af varmetab i toppen. Lågets isolans skal være optimeret under hensyntagen til energiprisen.

Låget skal være så damptæt som muligt for at minimere fordampning af lagervandet og fugtophobning i isoleringen med varmetab som følge.

Erfaringerne fra opførte lagre har vist, at et af de kritiske punkter ved lågkonstruktioner er lågets kanter. Her skal (dele af) lågets vertikale og horisontale bevægelser som følge af temperatursvingninger opfanges. Dette medfører typisk et mellemrum mellem lagerets og lågets kant, der fungerer som kuldebro og giver mulighed for fordampning.

For at undgå dette energitab, skal mellemrummet som minimum være dækket med en damptæt membran og en minimal varmeisolering. Den optimale løsning ville dog være en lågkonstruktion, der under hensyntagen til lågets vertikale og horisontale bevægelser undgår dette mellemrum eller muliggør en isolering af mellemrummet for derved at begrænse det betydelige varmetab langs kanten.

Under alle omstændigheder skal et overtryk i et evt. hulrum i kanten som følge af lågets belastning undgåes ved en anordning til enten udluftning eller lufttryksregulering.

2.1.2 Låget skal kunne aflede nedbør

Oversiden af låget skal være vandtæt og være konstrueret på en sådan måde, at afvandingen af låget er sikret. Dette kan opnås enten ved afledning (og evt. opsamling) af nedbøren eller v.h.a. integrerede brønde og pumper.

2.1.3 Låget skal opfylde myndighedskrav, især m.h.t. sikkerhed

Låget skal være konstrueret, så det udgør en effektiv spærre for personkontakt med det varme vand i lageret.

Låget skal være konstrueret på en sådan måde, at det er sikret mod nedstyrtning såvel under montage som ved belastninger som lettere færdsel på låget (fx i forbindelse med inspektioner og reparationer) snedække og vindpåvirkning. Låget skal derfor opfylde kravene, der stilles til tagflader jf. DS 409 og DS 410, pkt. 12, 13 og 16. /6/

Låget skal kunne holde til lav vandstand i lageret inklusive pludselig opstående vandsænkninger som følge af lækager i lageret. Derfor er det ved en flydende konstruktion påkrævet, at der i løsningsforslaget enten indgår en understøttende konstruktion, som låget i situationer med vandmangel i lageret kan hvile på, eller at låget, uden at der opstår fare for mennesker eller omfattende skader på låget, lægger sig ned på siderne og bunden af lageret.

Låget skal endvidere kunne holdes flydende under alle normale vejrforhold og med et vandtryk på undersiden, der svarer til lågets egenvægt plus evt. sne- og nyttelast.

2.2 Højt prioriterede krav

2.2.1 Låget skal have et acceptabelt pris-ydelsesforhold

Selvom damvarmelagre synes at være den billigste form for sæsonvarmelagring, kan solvarmeanlæg med damvarmelager på nuværende tidspunkt ikke konkurrere med de konventionelle former for opvarmning.

Udgifterne til nye lågkonstruktioner, der følger konceptet fra pilotanlægget på Ottrupgård beløber sig inkl. projektering, uforudsete udgifter m.m. på 1.466,- kr./m^2 låg. Ved pilotanlægget på Ottrupgård svarer dette til en totalpris på 1,03 mio.kr. og lågprisen stod dermed for 57% af de samlede udgifter til hele damvarmelageret /3/. En særlig indsats m.h.t. minimering af disse udgifter er derfor påkrævet. Fremtidige løsninger

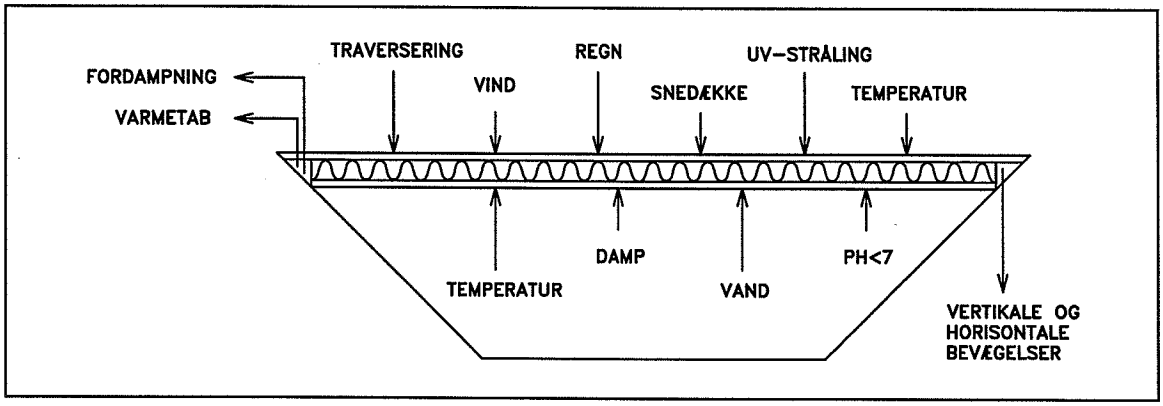
ønskes at være udformede således, at den resulterende energipris kommer til at ligge på niveau med de til enhver tid gældende energipriser for gængse opvarmningsformer. Dette kan ske ved en reducering af anlægsudgifterne og/eller ved et nedsat varmetab og dermed en højere anlægsydelse.

Ved vurderingen af pris-ydelsesforholdet skal der tages hensyn til pris, isolans, vedligeholdelsesudgifter og levetid.

Levetiden af lågets komponenter og af hele konstruktionen skal som minimum svare til lagerets levetid. Som udgangspunkt er levetiden anslået til 20 år /3/. For at opfylde dette kræves der stor omhu ved valg af materialerne. Hvis opfyldelsen af kravet ikke kan sandsynliggøres, eller hvis stærke tekniske eller økonomiske argumenter taler imod, kan dette krav revurderes.

2.2.2 Der skal være tale om en robust løsning

Låg til damvarmelagre er udsat for en række fysiske påvirkninger. Figur 2.1 viser en principskitse for et flydende låg og de påvirkninger, som låget skal kunne modstå.



Figur 2.1: Principskitse for et flydende låg og påvirkninger

Med mindre der anvendes et isoleringsmateriale, hvis varmeisoleringsegenskaber og holdbarhed (fx flydeevne) ikke bliver mindsket som følge af kontakt med vand, skal isoleringsmaterialet være beskyttet mod indtrængning af vand. Især skal isoleringen være beskyttet mod det varme lagervand. Undersiden af låget skal derfor være vandtæt. Tætningsmaterialerne skal kunne modstå de skrappe fysiske forhold (temperatur, surt miljø m.m.), de vil være udsat for. Hvis der anvendes stålplader til tætning af undersiden, anbefales der som minimum syrefast stål, som fx W.nr. 1.4401 (DIN) eller SS 2343 (Svensk Standard) /2, App. C/. Ved anvendelse af andre materialer, må deres egnethed underbygges.

Undersiden af låget skal endvidere være så damptæt som muligt for at undgå fugtophobning i isoleringslaget. Selvom låget er konstrueret på en sådan måde, at vandet kan fordampe ud af isoleringen, bør varmetabet grundet diffusion af vanddamp gennem låget minimeres. Låget skal samtidigt forhindre iltning af lagervandet.

Samlinger under vandlinien skal så vidt muligt undgås, da disse erfaringsmæssigt indebærer risiko for utætheder og/eller tæring.

Oversiden af låget skal kunne modstå klimapåvirkningerne. Den skal være vandtæt og UV-bestandig. Desuden skal oversiden kunne tåle de forventede temperatursvingninger ved såvel døgncyklus som årscyklus.

Der skal være mulighed for at vurdere tilstanden af låget og af lageret.

2.2.3 Montagen skal kunne udføres uden problemer

Montagen af låget skal være ufarlig og skal kunne foregå i.h.t. arbejdsmiljøreglerne. Montagen af låget inkl. kontrol/kvalitetssikring skal pga. lågets størrelse foregå på stedet. Dette kræver, at der ved projekteringen tages hensyn til, at låget og dets enkelte komponenter under montagen er udsat for vind og vejr i en længere periode. Der skal ved prissættelsen af løsningsforslagene tages stilling til, hvilke omkostninger montagen medfører (tidsforbrug, tunge maskiner, montagehal osv.).

2.2.4 Der skal tages hensyn til løsningens miljøbelastning

Under hensyntagen til de givne tekniske og økonomiske forudsætninger bør den mest miljøvenlige løsning tilstræbes. Dette indebærer, at der bør tages hensyn til materialernes miljørelationer under produktion, drift og bortskaffelse, transportarbejdet m.m.

Forbruget af drikkevand ved spædning af lageret bør minimeres, fx ved at opsamle og anvende det afledte regnvand.

2.3 Lavere prioriterede krav (ønsker)

2.3.1 Låget skal have et acceptabelt udseende

Der stilles ikke specifikke krav til lågets design udover at det skal have et acceptabelt udseende. Således bør der tages hensyn til det visuelle miljø, dvs. til arkitektoniske og landskabsarkitektoniske krav.

2.3.2 Muligheden for en sekundær anvendelse skal overvejes

Sekundære anvendelsesmuligheder for lågkonstruktioner bliver relevante, hvis grundpriserne bliver inddraget i betragtningerne som en væsentlig faktor. Specielt hvis lagre skal opføres i byområder, hvor grundpriserne er høje, kan bygherren forventes at stille krav om, at låget skal kunne anvendes til sekundære formål. Hovedkravene vil være øget bæreevne, der er tilpasset den sekundære anvendelse af lågarealet. Anvendelsesmulighederne rækker fra opstilling af solfangere over etablering af fodboldbaner til parkering eller lettere bebyggelse på låget. Disse anvendelser kan nødvendiggøre en permanent bærende understøtning.

3 Lågdatabase

3.1 Baggrund for og formål med lågdatabasen

Som en del af projektet "Lågkonstruktioner til damvarmelagre - Fase II" skulle der "optegnes et 'løsningsrum', hvor der beskrives mulige løsninger for flydende låg til damvarmelagre". /4/

Formålet med opbygningen af løsningsrummet var at give et overblik over kendte løsninger til lågkonstruktioner og samtidigt tjene som et redskab til videreudviklingen af lågkonstruktioner til damvarmelagre. Hertil er det nødvendigt at samle alle kendte løsninger med deres fordele og ulemper på en systematisk måde, som gør det muligt at sammenholde nye løsninger med kendte løsninger. Derved kan man hurtigt danne sig et indtryk af nye løsningers evt. problemområder og samtidigt undgå tideligere begåede fejl.

Fra starten var der lagt op til, at løsningsrummet skulle udarbejdes i samarbejde med Institut for Produktudvikling (IPU), der har opbygget en særlig kompetence indenfor produktudviklingen. Samarbejdet med IPU blev dog af økonomiske hensyn opgivet og det i det følgende præsenterede "minimerede" løsningsrum blev istedet opbygget i form af en database på Institut for Bygninger og Energi.

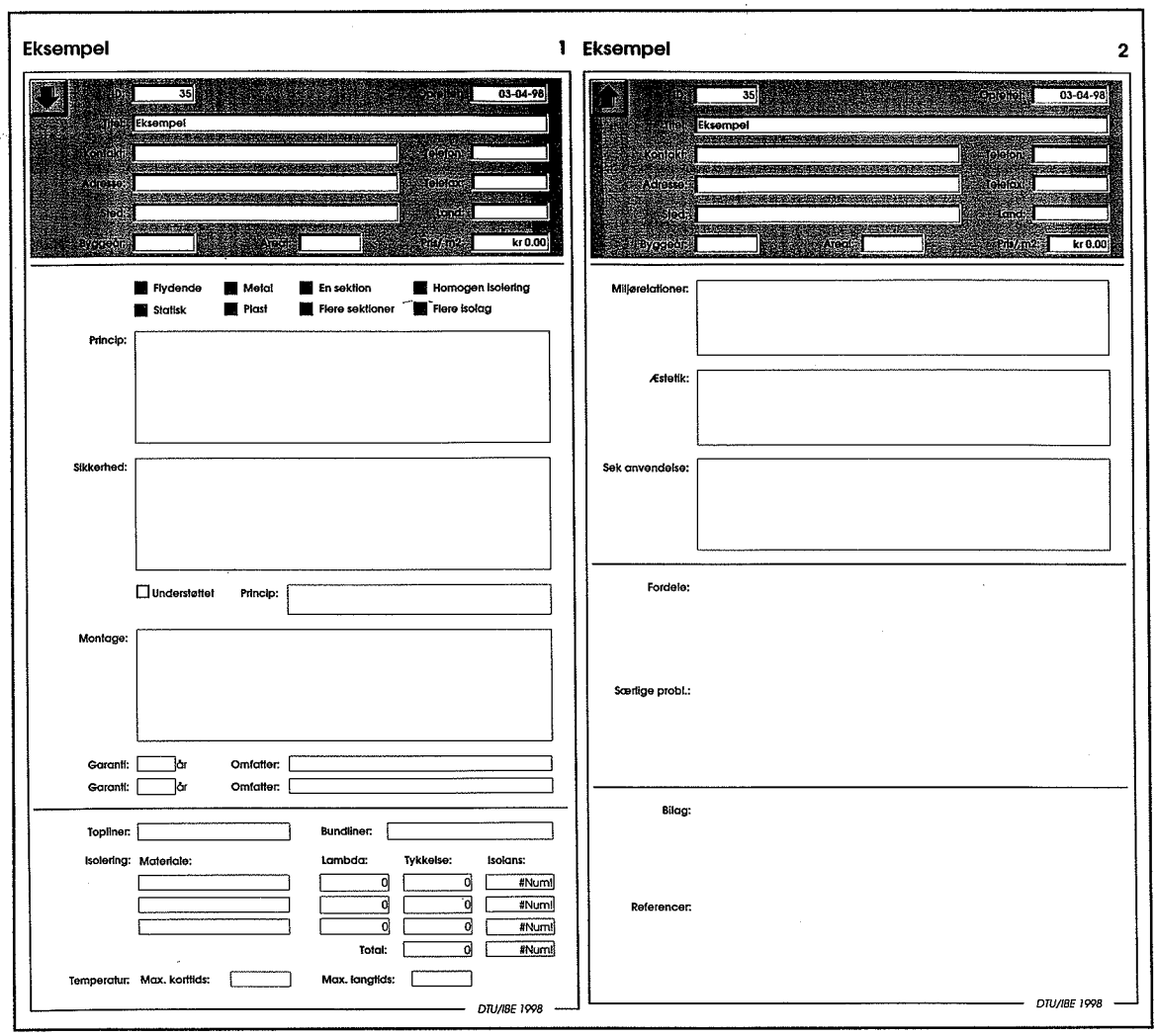
3.2 Opbygning og systematisering af databasen

Lågkonstruktioner til damvarmelagre er komplekse størrelser og bevæger sig i mange dimensioner (flydende/statisk, isoleringsmateriale, linere, kantløsninger osv.). En tabellarisk eller grafisk systematisering er derfor vanskeligt. For at opfylde kravet om at databasen (løsningsrummet) skal være overblikskabende skal der findes en form for systematisering, der kan tackle flere end tre dimensioner. Løsningsrummet skal desuden være opbygget på en sådan måde, at det let kan udvides og ajourføres.

En nem måde at løse sidstnævnte på, er at opbygge et ringbindsystem, hvor de enkelte løsninger beskrives på løse blade med skitser, korte beskrivelser af princippet, materialevalg, isolansen, priser m.m.. For at skabe et godt overblik og sammenligningsgrundlag skal disse "datablade" være opbygget som skemaer, der indeholder rubrikker til de relevante oplysninger. Løsbladsystemet gør det muligt uden besvær at opdatere enkelte blade og at ajourføre "løsningsrummet".

Selve "databladene" genereres nemt v.h.a. en elektronisk database. Derfor blev der som et led i det aktuelle projekt opbygget en lågdatabase i MS Access. Databasens formularer er designet med rubrikker (felter) til alle relevante oplysninger om låget,

hvor der blev taget udgangspunkt i de opstillede funktionskrav til lågkonstruktioner (kapitel 2). Databaseformularen er illustreret i figur 3.1.



Figur 3.1: Databaseformular

Løsningsrummet er altså opbygget af to komponenter: en elektronisk database, hvor informationer om lågkoncepter bliver skematiseret og et ringbindsystem, der består af udskrifter af databasens formularer ("datablade") med diverse bilag (skitser, prisberegningsskema, fotografier m.m).

Løsningsrummet er stadigvæk i opbygningsstadiet og har i det aktuelle projekt kun tjent som sammenligningsgrundlag for de skitserede lågkoncepter. En anvendelse af løsningsrummet som udviklingsværktøj var derimod ikke muligt, da det blev opbygget sideløbende med projekteringen af de enkelte lågkoncepter. Løsningsrummet indeholder ved projektets afslutning de fire frembragte og kan herefter videreudvikles og udbygges med flere danske og udenlandske løsninger. En udskrift af databladene for de fire aktuelle lågkoncepter findes i bilag 1.

4 Præsentation af løsningsforslagene

På de følgende sider præsenteres de fire løsningsforslag til flydende lågkonstruktioner, der er blevet udarbejdet i løbet af projektet.

Projekteringen forløb i to faser: en skitseprojekteringsfase og en detailprojekteringsfase. I starten af skitseprojekteringen var der udover de fire præsenterede forslag et femte forslag fra IBE, der dog senere blev trukket tilbage. Dette forslag indeholdt en løsning med ubeskyttet isolering i flere lag, som efterhånden forventedes at blive nedbrudt nedefra. I takt med nedbrydningen skulle isoleringsevnen løbende retableres ved at lægge nye lag isolering ovenpå låget.

Skitseprojekteringen frembragte også to varianter af modulløsningen af PP (løsning 1). Disse varianter er beskrevede i bilag 2.

Ved afslutningen af skitseprojekteringsfasen var der frembragt fire forslag, som var så interessante, at styregruppen besluttede at gennemføre en detailprojektering for alle fire forslag. Resultaterne af denne detailprojekteringsfase fremgår af de følgende afsnit, som blev udarbejdet af de respektive forslagstillere:

Uffe Nielsen, PlastConsult:
Løsningsforslag 1 - "Modulløsning af PP med løs isolering"

Carsten Wesenberg, NNR a/s:
Løsningsforslag 2 - "Videreudvikling af Ottrupgård-låget"

Gerald Maureschat, Karsten Duer, Alfred Heller og Svend Svendsen, IBE:
Løsningsforslag 3 - "Videreudvikling af IBE's forsøgslåg"
Løsningsforslag 4 - "Flerlagsløsning med små PP-sektioner"

4.1 Løsningsforslag 1:

Modulløsning af PP med løs isolering (PlastConsult)

4.1.1 Opbygning

Lågkonstruktionen består af 18 moduler af 1,5 mm PP, der ved udlægning på vandet danner et kasseformet tværsnit på 0,4 x 6,0 m og en længde på 108,2 m. Hulrummet udfyldes med terrænbats. (Fig. 4.1).

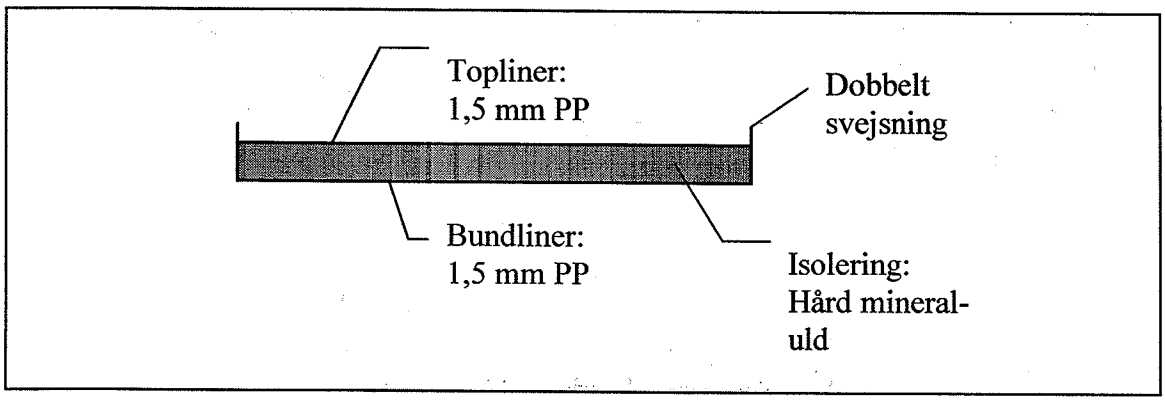


Fig. 4.1: Snit i lågmodul - (h x b x l) = (0,4 x 6,0 x 108,2) m.

Samlinger sker med dobbelte svejsninger. (Fig. 4.2).

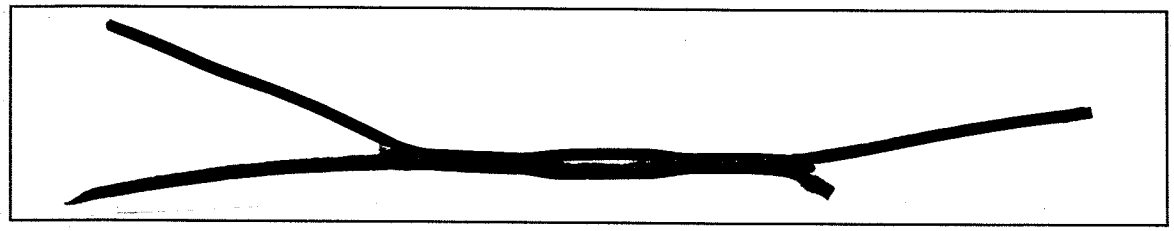


Fig. 4.2: Billede af dobbeltsvejsning (1:1) med kammer for tæthedsprøvning.

Der tages udgangspunkt i et damvarmelager, uden en stiv randkonstruktion, med anlæg 1:2, hvor bundlineren føres lige igennem til lagerets top. Kantløsning klares med kileformede banketter, der ligger tæt til dammens liner. Ekspansion af vandvolumen og lågareal i forbindelse med temperaturvariationer i lageret klares med en skrå skillelinie mellem den faste banket og det flydende låg. Skilleliniens hældning fastlægges ud fra de forskellige varmeudvidelseskoefficienter. (Fig. 4.3).

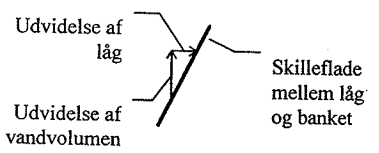


Fig. 4.3: Skrå skilleflade mellem låg og banket.

Justerbare banketter kan herefter opbygges som vist på figur 4.4.

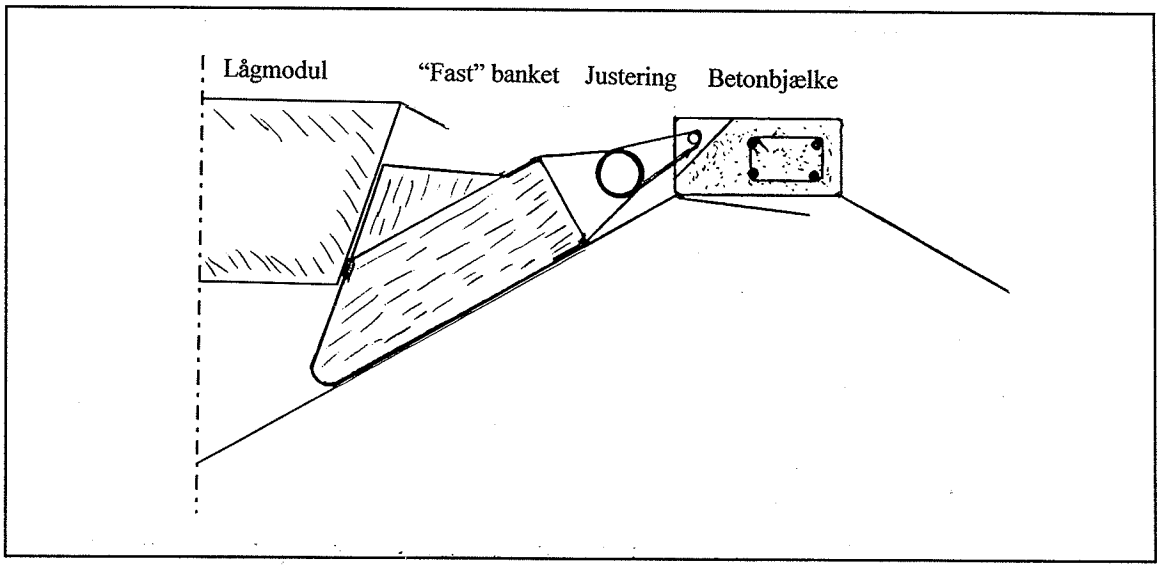


Fig. 4.4: Principskitse af kantløsning.

Mandehuller udføres som små trekantede moduler på (3 x 3 x 4,25)m i lågets fire hjørner. Det første og det sidste lågmodul skal altså udføres med to specielle hjørner.

Bukning af toplineren sker i forbindelse med sammensvejsning med bundlineren. Idet lineren her opnår tilstrækkelig høj temperatur, til at der kan ske en varmbukning.

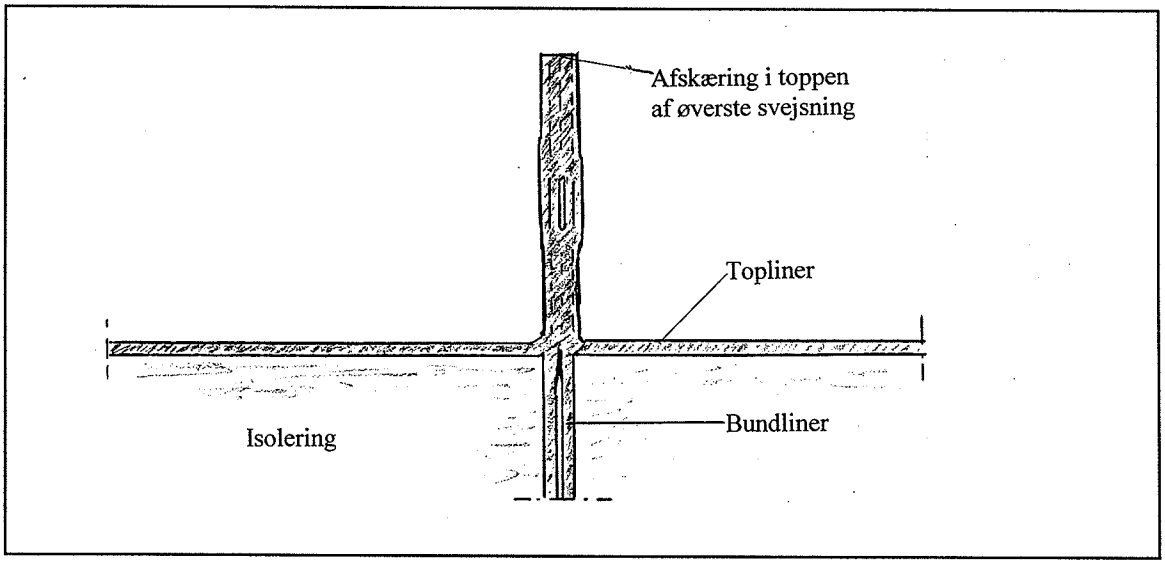


Fig. 4.5: Svejsesamlinger mellem lågmoduler og bund/topliner.

Afvanding klares ved at påfylde mest singels på de steder, der skal ligge lavest.

Andre varianter

Løsningen er en variant i et udviklingsforløb mellem minimumsløsningen, som beskrevet i bilag 2A og et koncept med PEX, der kan klare en højere temperaturbelastning, som beskrevet i bilag 2B.

Minimumsløsningen med én stor bundliner virker særlig interessant. Den har kun 10 samlinger med dobbelte svejsesømme, der på simpel vis vil kunne tilstandsvurderes kontinuerligt. Eksempelvis med olie i kanalerne for tæthedsprøvning.

Design

Varmbukning af de sammensvejsede linerkanter for hver 10 meter vil gøre, at deformationer i forbindelse med temperaturændringer vil få et ensartet forløb - visuelt.

Modulerne vil sammen med singelsdækningen give et billede af en robust og rolig konstruktion. Personer, der går på låget vil med stor sandsynlighed opleve det som at have fast grund under fødderne. Store solfangere som HT-solfangere vil kunne pladseres på låget.

Løsningen har en god miljøprofil, idet alle materialer kan genbruges og ikke afgiver farlige stoffer ved eventuel destruktion.

4.1.2. Udførelse

Alle delkomponenter tildannes på pladsen ud fra standard-byggematerialer, der leveres direkte fra fabrik. Det giver besparelser pga. god logistik; men det stiller også krav til planlægning og tidsplan. Nogle krav, der her vil kunne opfyldes, fordi den foranliggende aktivitet med påfyldning af 100.000 m^3 vand vil tage så lang tid, at leveringstidspunkterne i god tid vil kunne fastlægges ret præcist.

Lågmodulerne opbygges ved det ene hjørne af lageret og trækkes frem efterhånden som de færdiggøres. (Fig. 4.6).

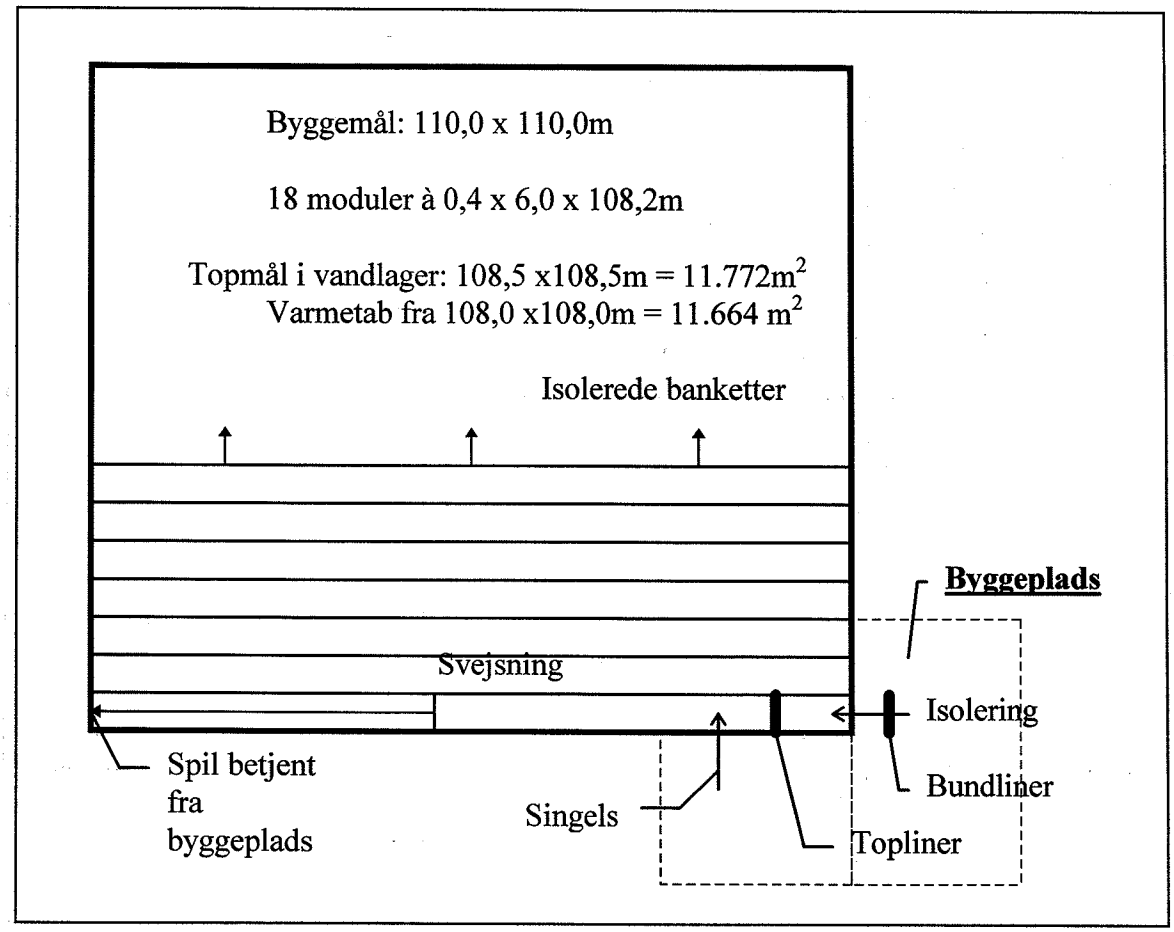


Fig. 4.6: Plan af låg under opbygning med byggeplads i det ene hjørne.

Bundlinerens sidekanter og hjørner bukkes inden etablering af låget. Enten på pladsen eller hos entreprenøren. Bukkeudstyret, der anvendes til profilering af linerbanerne kan laves relativt let. (Fig. 4.7).

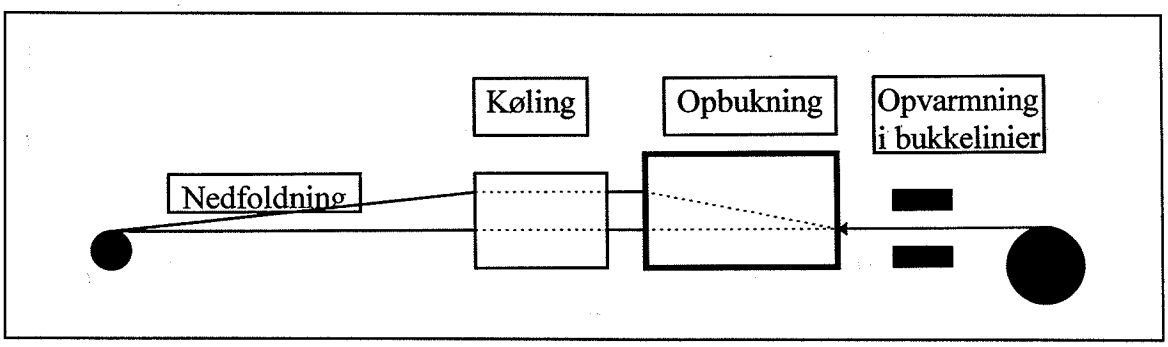


Fig. 4.7: Bukning af den kasseformede bundliner.

Alle delkomponenter tilføres i et hjørne af lageret i en kontinuerlig proces. Det giver små transportveje og få delprocesser med god mulighed for optimering med simpelt specialudstyr. (Fig. 4.8)

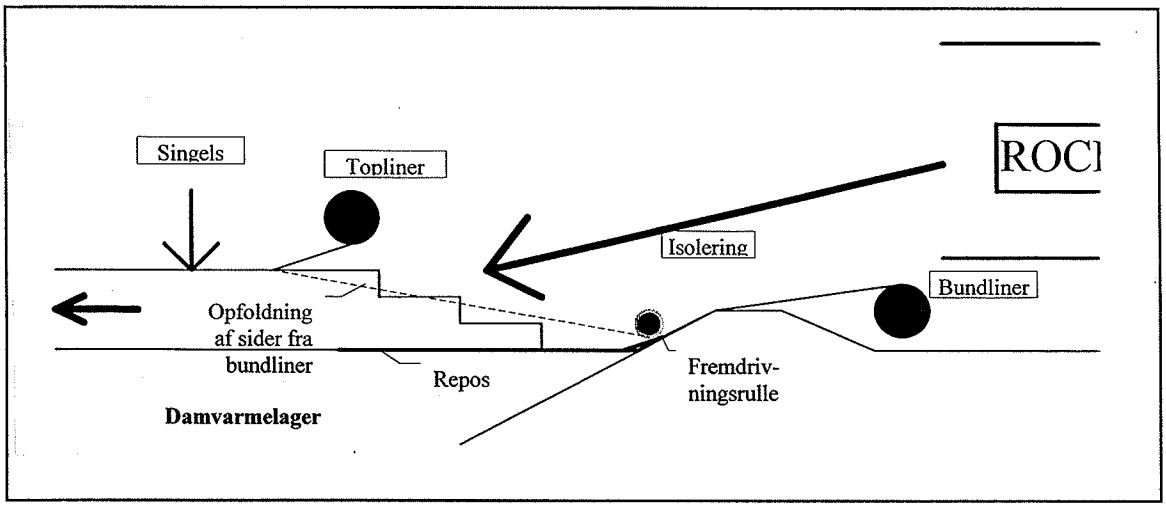


Fig. 4.8: Station for kontinuerlig indbygning af materialer.

Udførelseshastigheden tilpasses leveringen af isoleringsbats, idet økonomiberegningerne viser, at der skulle være væsentlige besparelsesmuligheder ved at lade logistikken i forbindelse med levering og installering af bats være bestemmende for arbejdsforløbet.

Udførelsen har følgende forløb:

1. Linerrullerne pladseres. Endesiden og de to hjørner i kassen tildannes ved opfoldning af linermateriale. Så der vil ikke bliver samlinger under vandlinien.
2. Bundlineren drives frem med fjernbetjent spil og fremdrivningsruller.
3. Terrænbats lægges i bundkassen, samtidig med at siderne stabiliseres med lodrette bats. Batsene lægges i forbandt for at mindske konvektion og kuldebroer.
4. Toplineren fæstnes til bundkassens ende og trækkes med frem.
5. Der udlægges en 2.0 m bred stribe singels i modulernes længderetning med en tykkelse på 20 mm midt på voksendende til 80 mm ved enderne.
6. De færdige lågsektioner skubbes 6 m frem og næste modul opbygges som ovenfor.

---

7. Toplineren svejses fast til bundlineren. Der monteres fire rørstudse til ventilering af lågmodulerne. Modulet svejses sammen med sidemodulet. Alle dobbeltsvejsninger tæthedsprøves.

8. De sammensvejsede linere renskæres ved toppen af den øverste svejsning og den opragende kant varmbukkes omkring 15° for hver 10 m, for at give et ensartet deformationsforløb når kanterne udvider sig i forbindelse med temperaturændringer.

---

9. Linerne til de kileformede banketter, der i mellemtiden er tildannet, slæbes på plads langs lågets kanter. Der bygges isolering i banketterne. Banketterne lukkes med fire svejsninger, så et 2" galvaniseret stålrør indesluttes i det yderste hjørne, hvor det bruges til stabilisering og tøjring.
10. Kantbjælkerne lægges ud, og banketterne trimmes og tøjres til dem.
11. Lågets fire hjørner inspiceres sammen med tilsynet, idet eventuelle unøjagtigheder og fejl kan ophobes her. Tilpasninger udføres efter behov og de fire "mandehullemoduler" lægges på plads.

---

12. Ventilationsanlæg tilsluttes.

Aktiviteterne 1-6, 7-8 og 9-11 kan udføres sideløbende, for at minimere byggetiden.

Kvalitetssikring

Da alle samlinger er i den kolde zone over vandet, vil der ikke være behov for ekstraordinære kontrolprocedurer ud over operatørkontrollen og det normale tilsyn fra bygherrerådgiveren.

Det eneste sted, det er nødvendigt med specielle procedurer, er ved modtagekontrol af linerleverancen. Denne kontrolprocedure kan udføres af DTI, der har det nødvendige prøvningsudstyr og indsigt til at kunne vurdere de medfølgende kontroldata fra producenten.

4.3.1 Prisoverslag

Prissættelsen af løsningsforslaget kom frem til en pris på 562,- kr./m^2, svarende til en totalpris på 6,8 mio. kr. (se kapitel 5). Denne pris gælder for det første låg og indeholder store udgifter til udvikling af værktøjet, transport af materialer, etablering af byggeplads og arbejdsløn. Det er hensigten, at der optimeres på netop disse udgifter og at prisen for efterfølgende låg efter samme princip derved kan reduceres til en kvadratmeterpris på under 500,- kr (se tabel 4.1). Løsningen giver basis for en yderligere prisoptimering ved et stort markedsvolumen

Tabel 4.1: Prisoverslag for modulløsningen af PP med løs isolering

MATERIALER	kr./enhed	Mængde	kr. IALT	kr./m²
18 LÅGMODULER:				
Bundliner: 1,5 mm PP	36	13.734m²	494.424	
Topliner: 1,5 mm PP	36	12.097m²	435.492	
Mineraluld: 400 mm	480	4.670m³	2.241.600	
Singels	90	195m³	17.550	
IALT:			3.189.066	270,90
Kantløsning:				
Liner: 1.5 mm PP	36	872m²	31.392	
Mineraluld	480	44m³	21.120	
2" galv. rør	65	432m	28.080	
Kantbjælker i beton	190	440m	83.600	
Indstøbte 25 mm rør	100	144stk.	14.400	
IALT:			178.592	15,17
Materialer IALT:			3.367.658	286,07

ARBEJDSLØNNINGER	kr./h	Timer	kr. IALT	kr/m²
18 lågmoduler:				
Bundliner	300	99	29.700	
Isolering	200	303	60.600	
Svejsning	300	108	32.400	
Renskæring og bukninger	300	36	10.800	
Hjørnedetaljer - 2 "mandehuller"	300	8	2.400	
Udlægning af singels	200	297	59.400	
IALT			195.300	16,59
Kantløsning:				
Isolering	200	100	20.000	
Svejsning og bukning	300	12	3.600	
Tilpasning og justering	300	15	4.500	
IALT			28.010	2.37
Arbejdsløn IALT			223.310	18,96
Anlægsarbejder IALT			3.590.968	305,03

ANDRE UDGIFTER			
Modtagekontrol for linere-DTI			10.000
Ventilation			150.000
Drift af byggeplads	5% af	3.590.968	179.548
Uforudsete udgifter	10% af	3.770.516	377.052
Detailprojektering	12,5% af	4.147.568	518.446
Andre udgifter IALT			1.235.046 104,91

ETABLERING AF LÅGKONSTRUKTION IALT: 4.826.014 kr. 409,95 kr./m²

Med tillæg på 20% til avancer mv. fås:	***5.791.217 kr.***	***491,94 kr./m²***

Prisen ventes at kunne optimeres ved at arbejde hen mod en god logistik og en kort byggetid.

4.1.4. Funktion

Fugtstyring sker ved udluftning med tør natteluft med tvungen ventilation gennem tilslutninger i elementernes ender.

Varmeudvidelsen er bestemt af isoleringsmaterialet, der har lille varmeudvidelseskoefficient. Tilpasningen til udvidelsen af vandvoluminet sker med en skrå skilleflade, som vist i fig. 4.3 og 4.4. Varmeudvidelsen i plastfolien optages ved foldninger i overfladen.

Afvanding klares ved at der udlægges en 2.0 m bred stribe singels i modulernes længderetning med en tykkelse på 20 mm midt på voksendende til 80 mm ved enderne. På tværs af modulet opnås der herved fald mod midten, medens der i længderetningen bliver fald mod modulets ender. Ved modulets ender afledes vandet til en rende i banketterne.

Sidebanketterne kan trækkes ind eller ud, hvis deformationsforløbet i lågkonstruktionen bliver anderledes end forudsat. Eller der sker blivende sætninger i isoleringen. En tilpasning vil skønsmæssigt være nødvendig omkring to gange i lågets levetid. Men justeringsmuligheden giver en let mulighed for at korrigere lagerkonstruktionen, hvis den ikke fungerer som forudsat i konstruktionsfasen. En værdifuld mulighed i et udviklingsforløb.

Tilstandsvurdering vil kunne ske ved fugtighedsmålinger af luft fra modulerne og ved visuel inspektion af svejsningerne, der alle er synlige.

Vedligeholdelse og servicering ventes ikke nødvendig. I givet fald vil eventuelle fejl i et modul kunne udbedres fra modulets top. Udskiftning af et lågmodul vil kunne ske medens lageret er i drift. Modulet tømmes for isolering, bundlineren trækkes op, ny liner flådes ud og isoleringen fyldes i igen.

Maksimumstemperatur over 100 °C.

Levetiden er afhængig af temperaturbelastningen. Nærmere undersøgelser af levetiden afventes. Et solvarmelager med beregningsmæssige temperaturer op omkring 80 °C ventes på grundlag af den nuværende viden at have en levetid på over 20 år.

4.1.5 Særlige forhold

Problemområder

- Utraditionel konstruktion, der for udenforstående umiddelbart kan virke usikker.
- Håndtering af de store linerflader. De første låg laves ud fra linere med en bredde på 7,0 m. Hvis håndtering af fladerne ikke volder problemer i et pilotlager, vil det blive overvejet at gå op til en linerbredde på 10,5 m for at billiggøre konstruktionen.

Udviklingsbehov

- Undersøgelser og optimering i forbindelse med logistik og håndtering af isoleringsbats

- Design af kantløsning
- Kantløsning skal trimmes ind
- Design af mandehuller
- Tilpasning af selvkørende svejseudstyr, der er udviklet til svejsning af losseplads-membraner
- Udstyr til kantbukning af linere
- Simple forsøg, der kan vise, klarlægge og beskrive mulighederne for at opbygge modulerne direkte på en vandoverflade

Alternative løsninger

- Mekaniske samlinger i stedet for svejsesamlinger
- PEX som linermateriale i stedet for PP
- Isolering med plader af PUR, EPS og/eller løs Leca
- Kantkonstruktion af PP-rør skummet op med PUR
- Randkonstruktion med større randelementer for at opnå en bedre randisolering
- Løsning med naturlig ventilation eller konstruktion, hvor vanddiffusionen gennem toplineren er større end gennem bundlineren.

Stærke sider

- Teknologien kan i forbindelse med klemsamlinger, som vist i bilag 2B overføres til en løsning med PEX-linere, der kan klare en større temperaturbelastning
- Tæt på den optimale konstruktion
- Tæt på den optimale pris.
- Sektionsopdelt med lille antal samlinger og svage kuldebroer
- Ukritiske samlinger.
- Ingen samlinger under vand
- Billigere og simplere damkonstruktion hvor støttekonstruktion og randfundamenter udelades
- Effektivt damareal svarende til lågarealet
- Let kvalitetsstyring
- God miljøprofil
- Anvendelse af tilgængelige gennemprøvede teknologier, så eventuelle særlige problemstillinger bør være lette at håndtere
- Prototyper er billige og lette at udføre, selvom der er tale om en plastløsning.

Egå d. 19/5-98 Uffe Dan Nielsen

4.2 Løsningsforslag 2:

Videreudvikling af Ottrupgård-låget (NNR a/s)

4.2.1 Princip

Flydende lågkonstruktion af modificerede frysehuselementer (sandwichelementer, stål/PU-skum/stål), som udlægges og samles på en blivende understøtning, som kan bære låget under byggeriet og senere ved evt. vandmangel eller overbelastning.

Herover et isoleringslag af mineraluld-terrænbatts til ønsket isolans og afdækning med en plast-"regnfrakke" (topliner), som dækker hele låget (se afsnit 4.3.2 på side 31). Afvandingen og vandets udvidelse påregnes at foregå som beskrevet i /3/ - afvanding som fra en isflage med en vandret overflade.

Undersiden i sandwichelementerne udføres af en 0,5 mm rustfri tyndpladeliner, som sammensvejses hovedsagelig med sømsvejsemaskine, så der opnås en 100% damptæt lågunderside og en lågkonstruktion uden kuldebroer. Driftstemperaturen begrænses kun af vandets kogning i den trykløse tank.

Lågtykkelsen afhænger af den ønskede isolans **R** (m^2K/W):

R= 5:	150 mm sandwichelementer med plastisol-stålplade
R=10:	280 mm sandwichelementer med plastisol-stålplade eller
	100 mm sandwichelementer + 250 mm mineraluld + topliner
R=15:	100 mm sandwichelementer + 450 mm mineraluld + topliner

Kun den fremhævede lågkonstruktion behandles i det følgende.

Ottrupgård-låget

Lågkonstruktionen er en videreudvikling af en 230-250 mm tyk flydende lågkonstruktion af sandwichelementer på pilot-damvarmelageret i Ottrupgård /2/. Kanter og midtersamlinger blev her udført i 1 mm rustfri stålprofiler popnittet til sandwichelementerne og udskummet med PU-skum på stedet.

Alle fuger blev lukket med silicone fugemasse og afdækningsbånd med dampspærre, hvilket gav anledning til betydelige forsinkelser og fordyrelser i byggeriet; Over låget skabte regn og frost problemer med fugningen. Under låget måtte opstilles et stort stillads og rummet måtte udluftes mekanisk for at undgå kondens på de overflader, som skulle fuges m.v.

Forsøg med lågsektioner på DTU viste endvidere, at Ottrupgård-låget senere kunne få problemer med fugtindtrængning i lågkonstruktionens fugede samlinger, hvilket gradvist ville reducere isoleringsevnen og lågets levetid /1/.

I videreudviklingen af Ottrupgård-låget har det derfor været et væsentligt krav, at sandwichelementernes bundpladesamlinger kan udføres ved sømsvejsning fra oversiden af elementerne, idet sømsvejsning af en rustfri tyndpladelinere har vist sig at være en både materialbesparende, hurtig, robust og pålidelig samlemetode, når blot de rigtige svejseprocedurer benyttes;

Sømsvejsning af rustfri tyndpladelinere

Ved rekonstruktionen af Tubberupvængetanken (3.000 m^3 damvarmelager i Herlev) /10/ blev der i 1997 benyttet en 0,5 mm rustfri tyndpladeliner, sømsvejst med en række nye godkendte svejseprocedurer (WPAR's); Svejsetid og lønudgift til sømsvejsning kunne efter projektets udførelse beregnes overslagsmæssigt (anslået timeløn for svejser: 300 kr/time (5 kr/min)):

Tabel 4.1: Lønudgift ved svejsning af tyndpladelinere:

Tidsforbrug v/sømsvejsning af 2 x 0,5 mm tyndpladeliner.	SH m/min	A min/m	S min/m	K min/m	Sum min/m	Lønudg. kr/m
Enkeltsøm, 254 SMO (WPAR 7)	0,65	1,5	1,5	1,5	4,5	22,50
Dobbeltsøm, 254 SMO (WPAR 7)	0,65	2,0	3,0	3,0	8,0	40,00
Enkeltsøm, SS 2343 (WPAR 4)	3,0	1,5	0,35	1,5	3,35	16,75
Dobbeltsøm, SS 2343 (WPS S-07)	3,0 [1)]	2,0	0,7	3,0	5,7	28,50

SH: Svejsehastighed. A: Anstilling. S: Sømsvejsning. K: Kontrol (tætheds- og svejsekontrol)
1) WPS S-07 angiver 3,8 - 4,2 m/min

I projekter, hvor der i modsætning til Tubberupvænge-projektet ikke er problemer med vandets kloridindhold og hvor der derfor kan benyttes SS 2343 (AISI 316, syrefast rustfri stål) istedet for 254 SMO (syrefast, søvandsbestandig rustfri stål) kan sømsvejsning og kontrol som det fremgår af skemaet endda udføres væsentlig hurtigere end i Tubbevængetanken. *Hertil kommer, at mindste pladetykkelse for konventionel TIG-svejsning er 1,2 mm, hvilket medfører et betydeligt mindre materialforbrug ved anvendelse af en sømsvejst tyndpladeliner af 0,5 mm rustfri stål.*

Projektet viste tillige, at med de rigtige svejsedata var sømsvejsning langt hurtigere og billigere at udføre end manuel TIG-svejsning; Bunden i Tubberupvængetanken (ca. 620 m^2) blev således sømsvejst og alle samlinger tæthedskontrolleret på mindre end én uge.

4.2.2 Sandwichelementerne

Sandwichelementerne fremstilles i standardforme (bredde: 1,2 m, længde 8,7 - 16 m) på en elementfabrik; DC System Insulation, SAB, HERCULES etc.

Der anvendes en varmebestandig *PU-skumisolering* (rumvægt 42 kg/m^3) for en konstant temperatur på 95°C og med en beregningsmæssig varmeledningsevne på 0,023 W/m°C (praktisk varmeledningsevne: < 0,03 W/m°C).

Bundpladen er en 0,5 mm tyndpladeliner af syrefast, rustfrit stål (AISI 316), leveret i standard coils og med kanterne opbukket 30 mm, så de kan samles ved sømsvejsning. Hjørner afklippes som vist på efterfølgende figur 4.9.

Toppladen kan udføres af 0,6 mm plastisolbelagte stålplader, som på et tag.

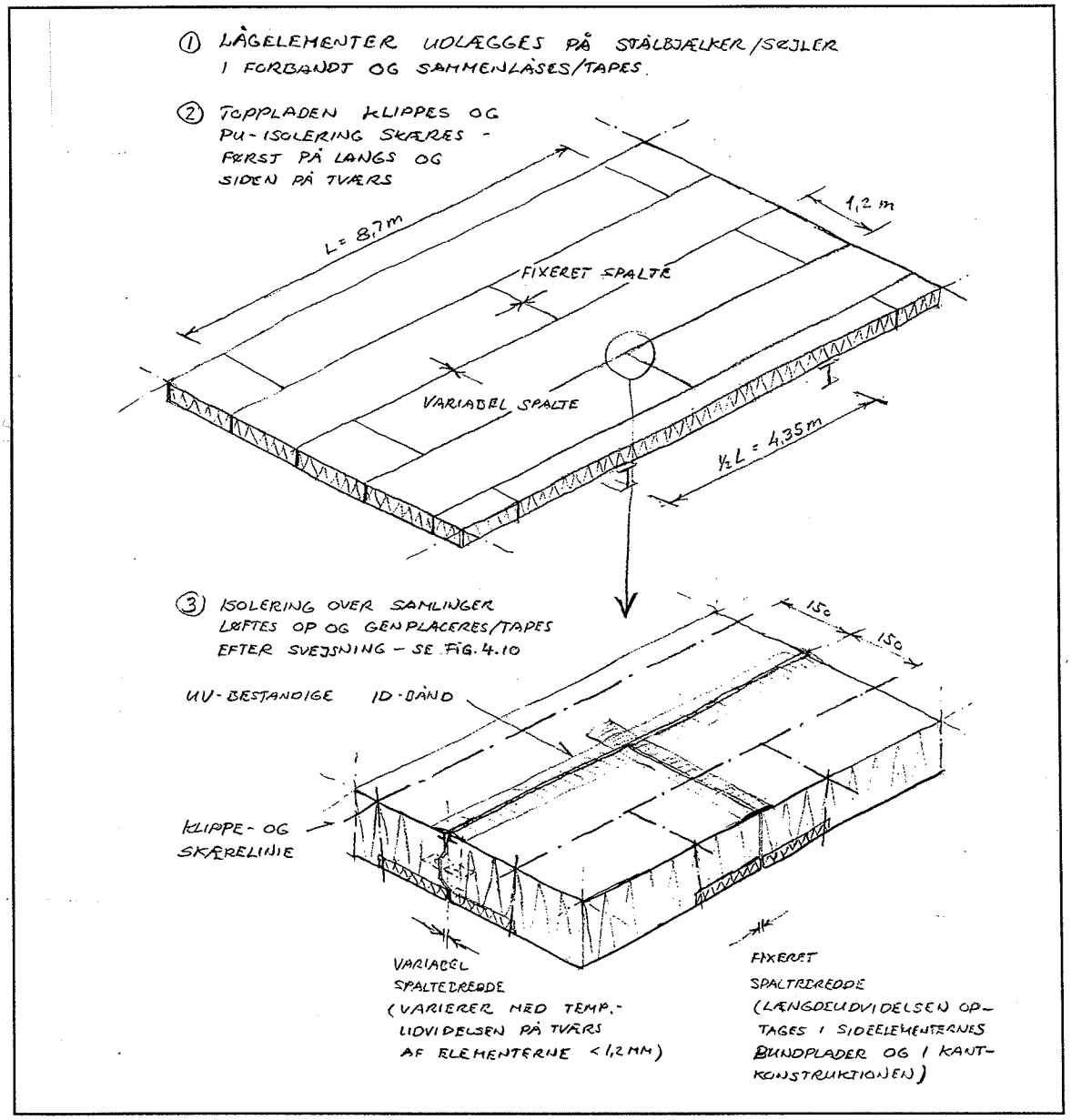
I nærværende forslag benyttes dog 0,5 mm galvaniserede stålplader (leveret i standard coils), som senere afdækkes med mineraluld og topliner.

Sandwichelementerne udføres selvbærende og forsynes med en indstøbt (ikke-faststøbt) 150 x 30 mm PU-skumplade langs bundpladens kant, hvilket letter den senere frilægningen af kanten for sømsvejsning til naboelementets kant.

4.2.3 Montage og samling af sandwichelementerne

Efterfølgende montage-metode er fastlagt i samråd med DC SYSTEM Insulation A/S, som bygger frysehuse af sandwichelementer.

Sandwichelementerne udlægges og samles i forbandt, og samlinger tætnes midlertidigt på oversiden med standard ID-bånd (som i Ottrupgård-låget). Herefter skal overfladen være vandtæt som et fladt tag. Se figur 4.9.

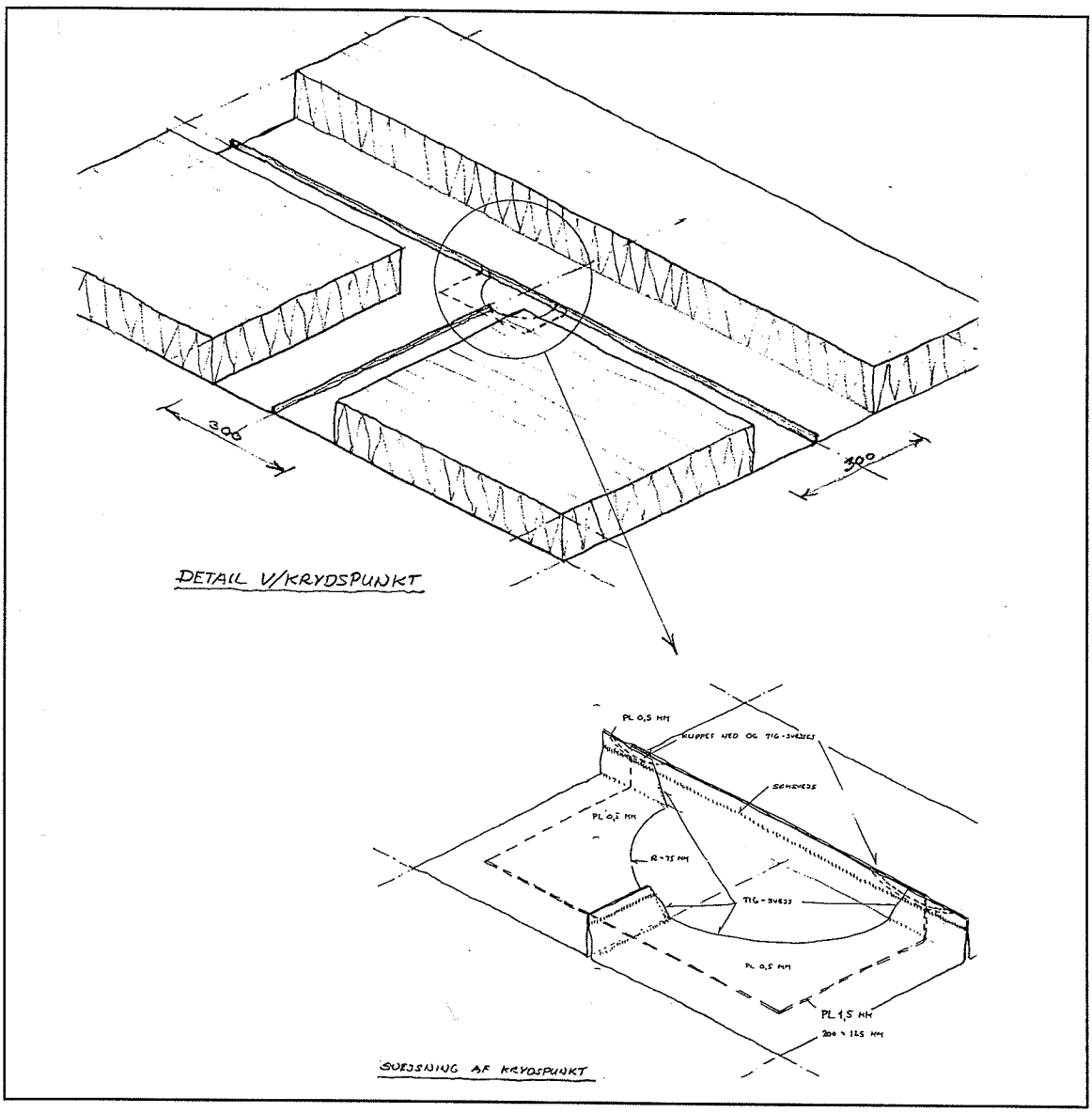


Figur 4.9: Udlægning og samling af sandwichelementerne

I en stabil tørvejrsperiode fritlægges kortvarigt sandwichelementernes bundkanter (én langsgående og 12 tværgående samlinger pr. gang), idet sandwichelementernes topplade klippes og PU-isoleringen saves på samme måde som ved tilpasning af standard-elementer (forberedt i elementerne). Elementdelene løftes op og placeres på elementerne ved siden af samlingerne.

Herefter sammensvejses bundpladerne med sømsvejsemaskine (støttet på elementoversiderne) efter de af FORCE-Instituttet godkendte procedure- og produktionsprøver.

Krydssamlinger TIG-svejses, idet der forinden ilægges en løs 1,5 mm RS-plade (tilsvarende krydssamling af tyndpladelineren i Tubberupvængetanken) - ligeledes efter en godkendt procedureprøve. Se figur 4.10:



Figur 4.10: Svejsning af bundplader i sandwichelementer

Svejsning af bundliner udføres med 100% tæthedkontrol, idet hver enkelt svejsning i bundpladen kontrolleres ved NDT (sporgas, penetrationsmetoden, vacuum-plader etc.), så der opnås en 100% damptæt samling inden svejsesømmene igen dækkes ved genmontering af de tidligere fjernede elementdele og midlertidig tætning af samlingerne med ID-bånd.

Fleksibilitet

Ved sømsvejsningen af de opbukkede flige dannes en *fleksibel langsøm*, som sikrer, at en udvidelse af PU-skummet på tværs i sandwichelementerne kan ske uhindret.

PU-skummets udvidelse på langs af elementerne optages hovedsageligt af bund- og toppladen i sandwichelementet og bundpladerne i sideelementerne - hvorfor krydssamlingerne kan udføres ikke-fleksible på langs af elementerne, som vist på skitsedetail ved krydspunkt.

Svejsetid

Med erfaringerne fra Tubberupvængetanken, kan følgende tidsforbrug anslås for enkeltsømsvejsning af en 0,5 mm tyndpladeliner (SS 2343) jf. WPAR 4:

Forberedelse/anstilling:		1,5 min/m
Sømsvejsning:		0,35 min/m (3 m/min)
Kontrol:		1,5 min/m
	Ialt:	3,35 min/m

Med 1,2 m brede sandwichelementer i en lågkonstruktion på ca. 110 x 110 m (100.000 m^3 lager) skal der (incl. lågkanter) udføres ca. 12 km enkeltsømsamlinger - som med to sømsvejsemaskiner kan udføres på skønmæssig 335 timer (9 uger ≈ 2,1 måned) - incl. anstilling, sømsvejsning og kontrol.

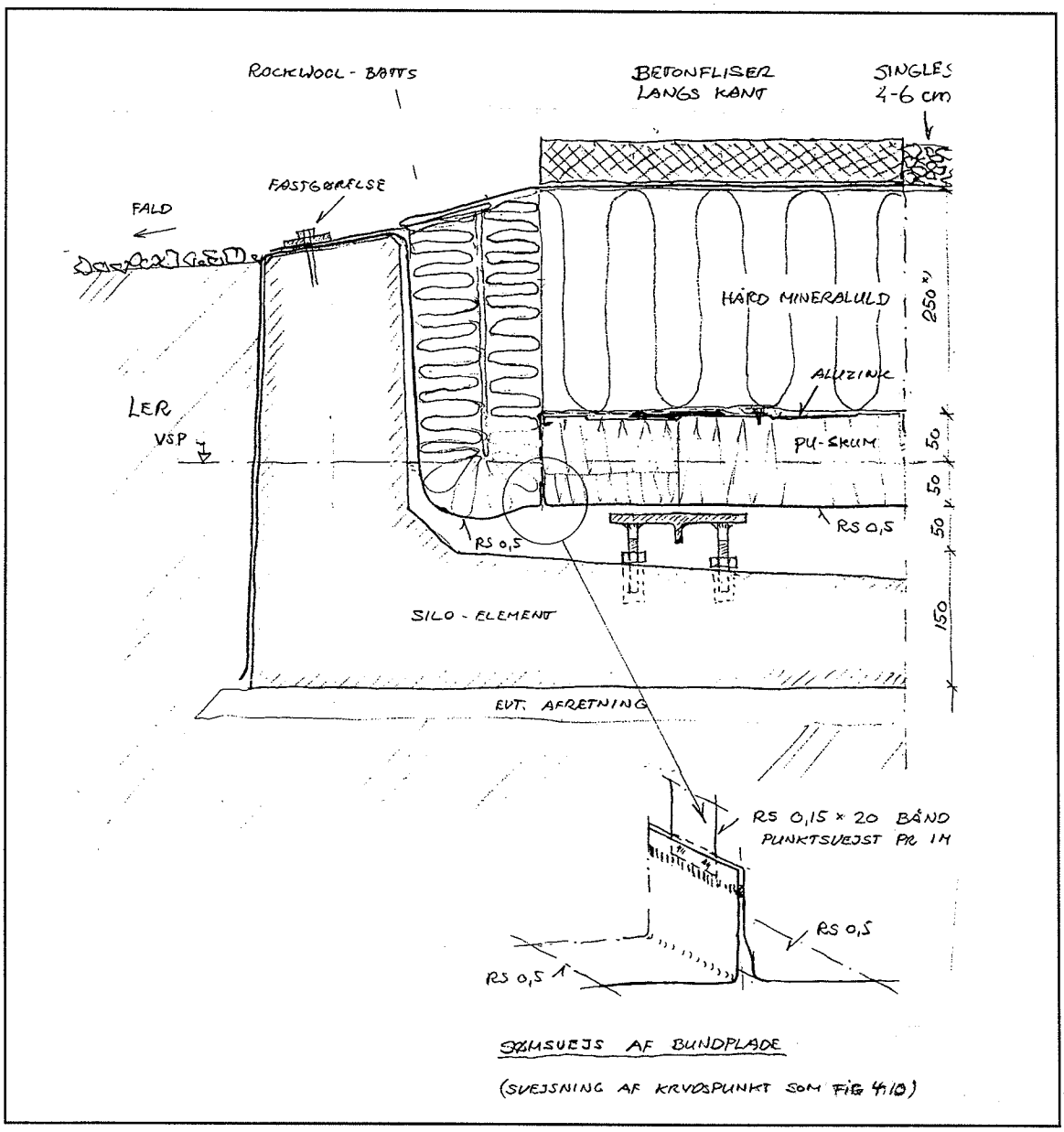
Den effektive svejsetid for en 110 m langsøm er 37 minutter - og ved at anvende 2 svejsemaskiner forventes én langsøm (110 m) og 12 stk tværsømme (á 1,1 m) færdigsvejst og tæthedskontrolleret på 1/2 dag. TIG-svejs af de 2x12 krydssamlinger påregnes udført parallelt (af 2 svejsehold), så langsømmen hurtigst muligt kan afdækkes vandtæt med de fjernede elementdele.

Tilrettelæggelsen af arbejdet skal i videst mulig omfang sikre, at alle svejsninger kan foregå i tørvejr. Evt. regnvand i blotlagte samlinger bortledes/flammetøres forinden svejsning/genmontering af elementdele.

Topafdækningen kan være den indbyggede plastisolbelagte stålplade (med vandtætte samlinger) eller en plast-"regnfrakke", som vist på skitserne.

Kantafdækningen påregnes i bunden udført som vist på nedenstående figur 4.11 af en buet tyndpladeliner, som sømsvejses 100% damptæt til sandwichelementernes bundplader og føres ca. 200 mm ned under min. vandstand på udvendig side af betonkanten. Herved dannes en næsten lufttæt vandlås, som delvis kan tilbageholde vanddam-

pene inde under låget. Overtryk skal dog reguleres i en tryk/vacuum-ventil som angivet nedenfor.



Figur 4.11: Kantløsning

I hjørnerne TIG-svejses tyndpladelineren til et fleksibelt hjørneprofil af 1,2 mm rustfri stålplade. Hjørneprofilet udformes, så den kan følge lågets udvidelse og bevægelser op/ned.

Kantafdækningen afdækkes i toppen vandtæt med en fleksibel tyndpladeliner eller en foldet tagfolie, som fastgøres vandtæt til betonkant-elementerne med en demonterbar RS-skinne. Tagfolien foldes/sammensvejses i hjørnerne så den kan følge lågets udvi-

delse og bevægelser op/ned. Hulrummet fyldes ud med bløde Rockwool-batts, så lågets bevægelser ikke medfører beskadigelser på lågkonstruktionen.

Tryk/vacuum regulering af lufthulrummet over vandoverfladen skal ske som i trykløse ståltanke. Da et overtryk ved lermembran-løsningen vil give "kviksand" på terræn langs lågkant, anbefales et maksimal overtryk på 0-20 mm VS.

Understøtningen kan udføres som en simpel søjle-bjælke stålkonstruktion, som i pilotprojekt Ottrupgård.

Konstruktionen beregnes som en provisorisk konstruktion, idet lågets flydeevne normalt vil udligne egenvægt og taglast (sne, personlast m.v.). Konstruktionen skal kunne bære låget ved overbelastning (snelast ud over normlast) eller når der er for lidt vand i tanken - også efter 20 år (korrosionstillæg).

Konstruktionen funderes ved lertætnede damvarmelagre oven på lermembranen; Langs kanten på de viste siloelementer og under søjlerne på store pladefundamenter med lavt jordtryk. Der påregnes fundamentssætninger på 30-100 mm afhængig af jordbundsforholdene og jordbundens udtørring.

Der vil i driftsinstruktionen kunne indføjes bestemmelser om, at snelast/vandansamlinger skal begrænses, når låget bæres alene af understøtningen (v/vandmangel etc.). For eks. kan det forlanges, at mandehullerne åbnes, så vacuum under låget og overfladevand på låget undgås.

4.2.4 Alternative udformninger

Følgende alternative udformninger er drøftet, men ikke endelig vurderet:

1 Én stor in situ sømsvejst tyndpladeliner med store løse isoleringsblokke af PU-skum, mineraluld eller EPS - afdækket med tagfolie.

  Udføres på vandoverfladen og sikres mod nedstyrtning med stålwirer som i Malung-tanken (løsningsforslag af Heimo Zinko, ZW Energiteknik AB i Sverige, 1996). Skal sandsynligvis rekonstrueres ved vandmangel.

2 Lågkonstruktion som angivet af 100 mm sandwichelementer + mineraluld/EPS-isolering - opdelt i vandtætte sektioner på 22 x 22 m, med kanter af en 0,5 mm rustfri tyndpladeliner.

  Sektionerne udføres i tørdok og flådes på plads på vandoverfladen, hvor de samles fleksibelt - for eks. ved sømsvejsning af opragende flige.

  Påtænkes udført uden understøtning, hvorfor sektionerne ved vandmangel lægger sig på bunden/siderne og måske skal rekonstrueres.

4.2.5 Overslag over byggeudgifter

Se prisoverslaget i kapitel 5, udarbejdet i samråd med DC System Insulation A/S.

Carsten Wesenberg

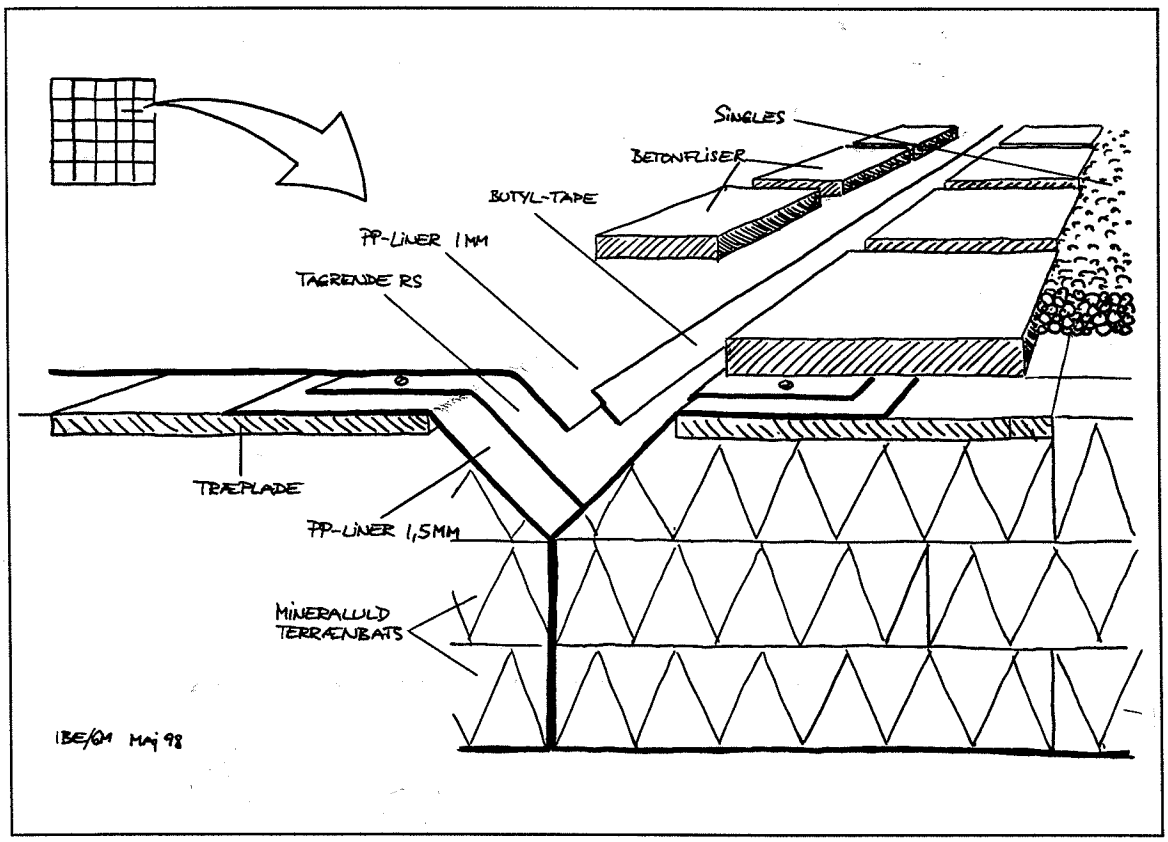
4.3 Løsningsforslag 3:

Videreudvikling af IBE's forsøgslåg (IBE)

Nedenstående løsningsforslag er en videreudvikling af IBE's forsøgslåg, der blev etableret i 1982 i forbindelse med etableringen af et 500 m^3 forsøgsdamvarmelager. Låget består af én sektion på 20 x 20 m (400 m^2), der blev samlet i en tørdok ved siden af damvarmelageret. Låget består af en HDPE Vestolen-liner i bunden og siderne af sektionen, en Butyl-liner som regnfrakke og EPS-isolering. I årene 1982-1984 blev der gennemført op- og afladningsforsøg med damvarmelageret, hvor lagervandstemperaturen varierede mellem 30 og 60 °C. I 1989 blev damvarmelageret ombygget til et grusvarmelager og forsøgslåget blev genbrugt efter ombygningen. I den efterfølgende forsøgsperiode blev gruslageret opvarmet til maksimal 80 °C. Låget har i forsøgsperioderne fungeret upåklageligt. En nærmere beskrivelse af forsøgslåget findes i /7/ og /8/.

4.3.1 Princip

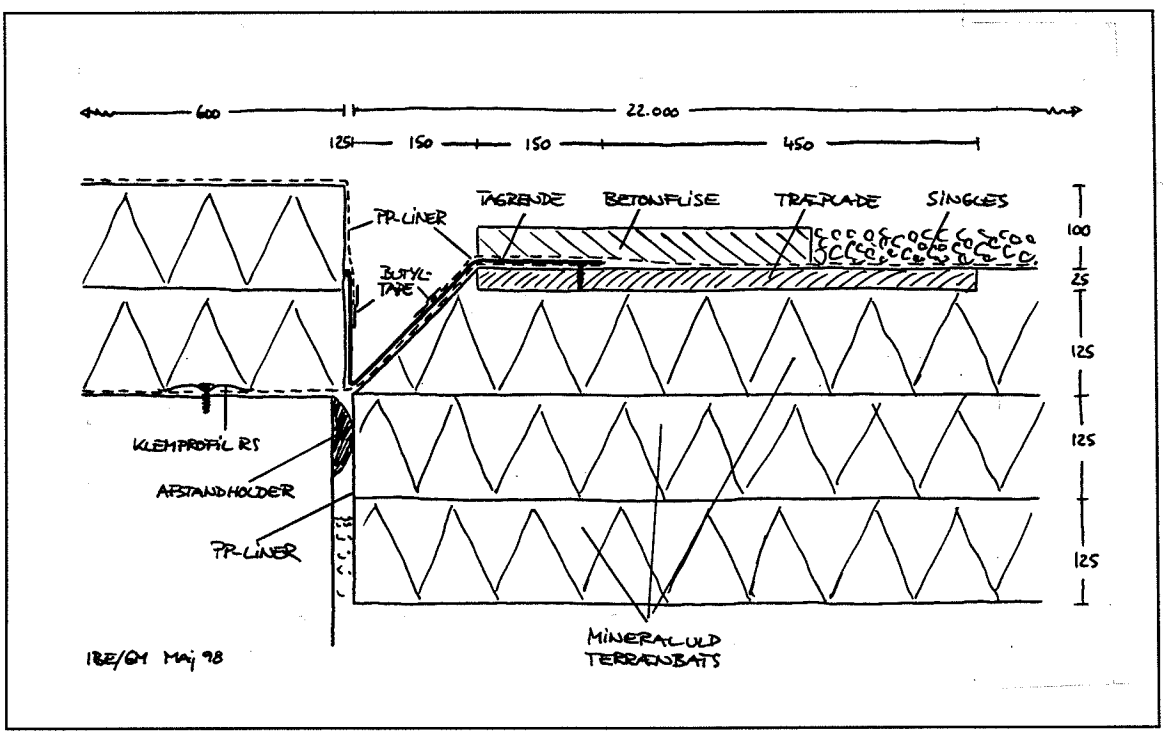
Låget opbygges af 25 sektioner, der i form og størrelse svarer til IBE's forsøgslåg (ca. 22 x 22 m). Sektionerne bliver opbygget i en tørdok og derefter samlet til hinanden på vandet.



Figur 4.12: Opbygningen af låget

Hver sektion består af en temperaturbestandig PP-bundliner, hvorpå der monteres et 0,4 m tykt isoleringslag af mineraluld-terrænbats. Øverst i isoleringslaget etableres der langs med sektionernes kant en rammekonstruktion af krydsfiner-plader, der stabiliserer konstruktionen og muliggør befæstigelse af bundliner, tagrender m.m. Bundlineren foldes op langs siderne af sektionerne på en sådan måde, at isoleringen er beskyttet mod indtrængning af vand og fastgøres til pladerammen.

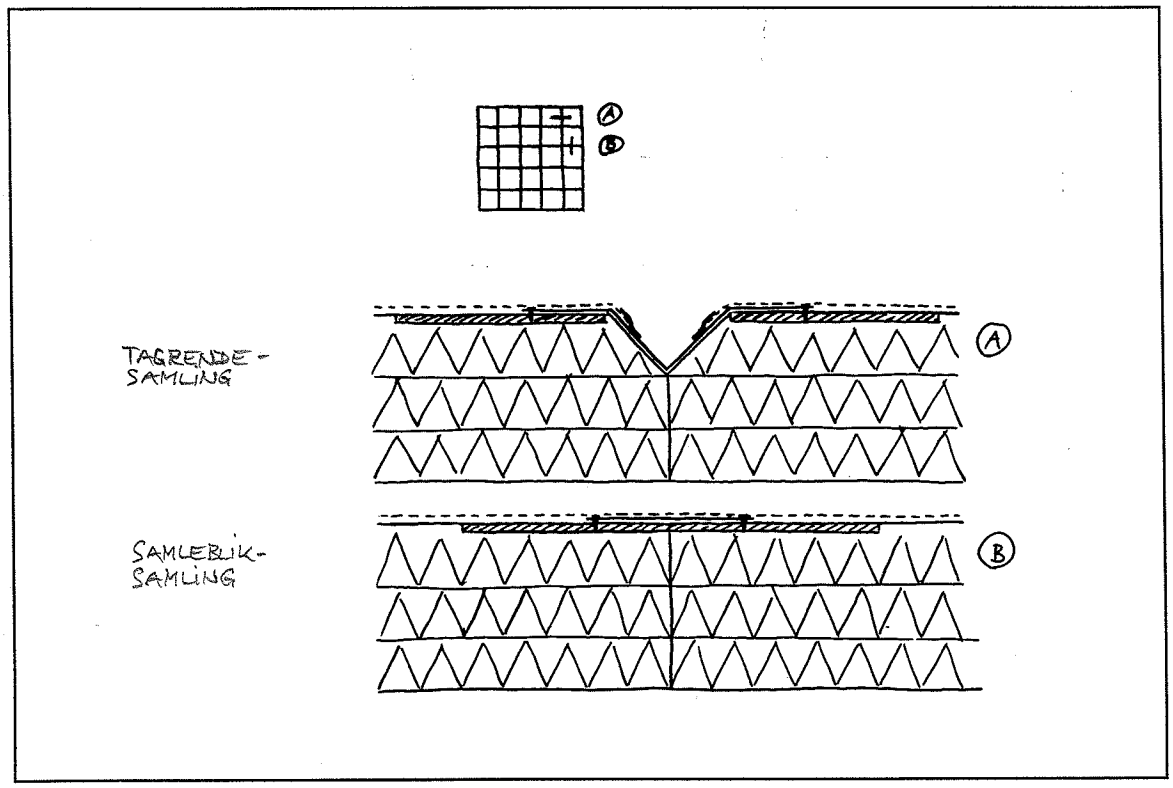
Lågsektionernes dimensioner er vist i figur 4.13.



Figur 4.13: Lågsektionernes og kantisoleringens dimensioner

Sektionerne samles og fikseres til hinanden på den ene led v.h.a. et tagrendesystem i rustfrit stål, der sikrer afledningen af regn- og smeltevand fra låget. Tagrenderne i låget afvander til hovedtagrender, der etableres i lagerets kant på to modsatte sider af lageret.

På den anden led fikseres sektionerne v.h.a. et samleblik i rustfrit stål. Tagrenderne og samleblik fastgøres på rammekonstruktion af krydsfiner-plader. Samlingerne af lågsektionerne til hinanden er vist i figur 4.14.



Figur 4.14: Samling af lågsektionerne v.h.a. tagrender hhv. samleblik

Sektionerne afsluttes foroven med en "regnfrakke" af tagfolie. Da PP-bundlineren ikke er 100% damptæt og da den videre diffusion af al indtrængende damp igennem toplineren og ud af konstruktionen ikke kan garanteres, skal der muligvis etableres en anordning til passiv ventilering af isoleringslaget.

Lågsektionernes og tagrendernes hældning til afvanding etableres ved ujævn belastning af sektionerne med betonfliser og singles. Fliserne og singles udlægges, så de belaster låget med gennemsnitlig 60 kg/m^2 for samtidigt at sikre låget mod vindpåvirkning (vindsug). Egenvægten af lågsektionerne er ca. 35 kg/m^2. Den totale vægt af låget uden yderligere belastning bliver derved 95 kg/m^2, medførende en neddykning af låget på 9,5 cm (gennemsnitsværdier).

4.3.2. Anvendte materialer og deres egenskaber

Som bundliner skal der anvendes en teknisk folie, der er vand- og så damptæt som muligt og som samtidigt er temperaturbestandig, helst op til 95 °C i længere perioder. I nærværende forslag gåes der ud fra, at PP-folie er egnet til formålet. Da PP's bestandighed ved høje temperaturer over længere perioder ikke endnu er veldokumenteret, skal der dog regnes med en ikke nærmere bestemt begrænsning af maksimumtemperaturen i overfladen af lagervandet. Ligeledes er PP (som andre plastmaterialer) ikke 100% damptæt, hvilket muligvis nødvendiggør ventilering af isoleringslaget for at undgå fugtophobning hér.

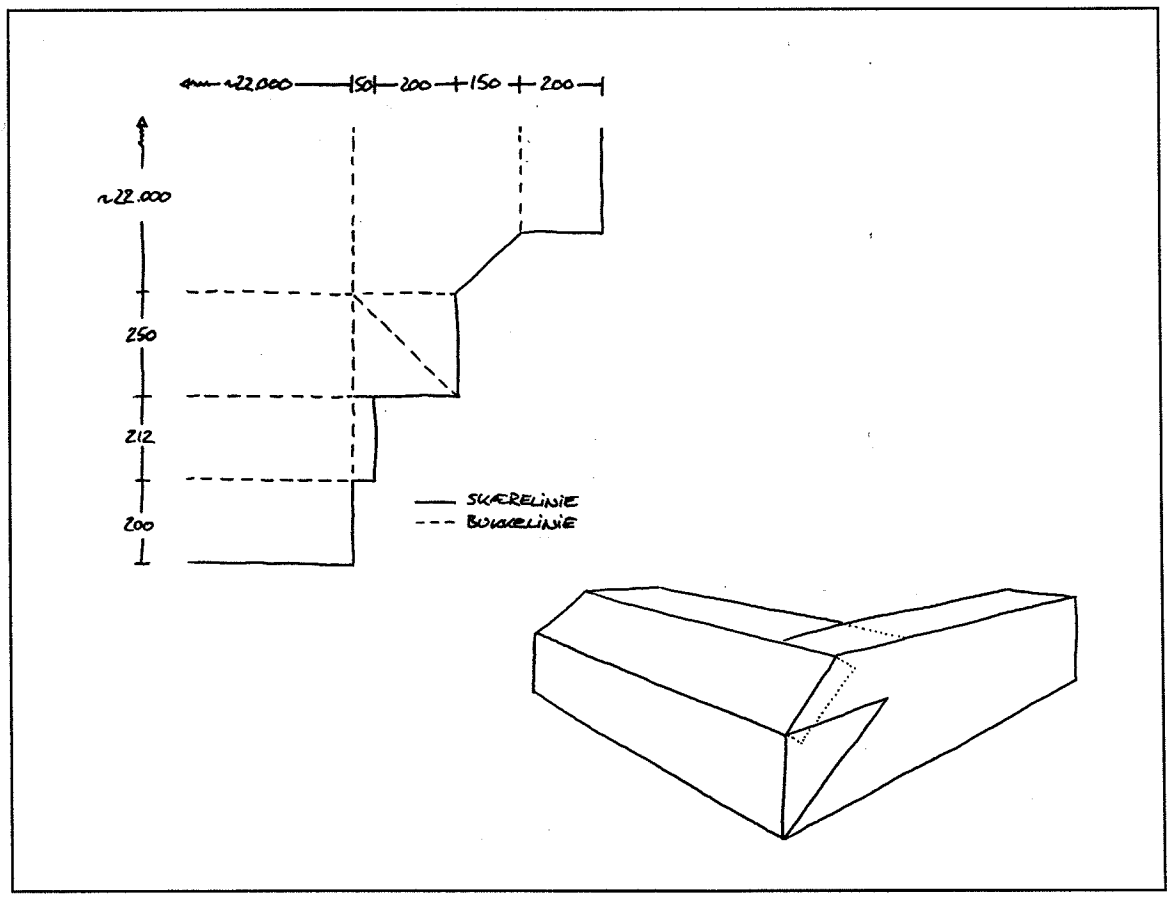
Isoleringslaget etableres af et 0,4 m tykt lag af mineraluld-terrænbats (2 x 125 mm + 1 x 150 mm) med en varmeledningsevne på $\lambda = 0{,}039$ W/mK. Isolansen af det homogene låg exkl. kuldebroer og kanttab er $R \approx 10$ m²K/W. De i forslaget anvendte terrænbats (ROCKWOOL TUN nr. 83 84 521/83 84 539) kan belastes med 2,5 kN/m². Den forventede maksimale belasting ved en flisebelastning på gennemsnitlig 60 kg/m² plus et tykt lag våd sne (ca. 100 kg/m²) er ca. 1,6 kN/m². Den praktiske varmeudvidelseskoefficient for mineraluld-terrænbats er $\alpha_{MU} = 0$ mm/m °C.

Topmembranen ("regnfrakken") skal være vandtæt og skal kunne modstå UV-stråling. Samtidigt skal topmembranen være så diffusionsåben som muligt for at minimere fugtophobning i isoleringslaget. I forslaget anvendes der en UV-bestandig tagfolie af 1 mm PP.

Tagrendesystemet og samleblikkene opbygges af 1 mm stålprofiler, der er tilpasset sektionernes form.

4.3.3 Montage

Lågsektionerne bliver opbygget på stedet i en "tørdok". Den tilskårne, sammensvejste og evt. bukkede bundliner lægges ud og isoleringslagene opbygges ovenpå lineren. Tilskæring og bukning af lineren fremgår af figur 4.15.



Figur 4.15: Tilskæring og bukning af PP-lineren i sektionernes hjørner

Isoleringen opbygges af tre lag bats. De to nederste med en tykkelse på 125 mm, det øverste med en tykkelse på 150 mm. Øverst i isoleringslaget indbygges i kanten en ramme af 25 mm krydsfiner-tagplader. Tagpladerne lægges på 125 mm mineraluld-bats, der på de to sider med tagrender er tilskåret med 45° hældning. Herved opnås en plan overflade af sektionerne.

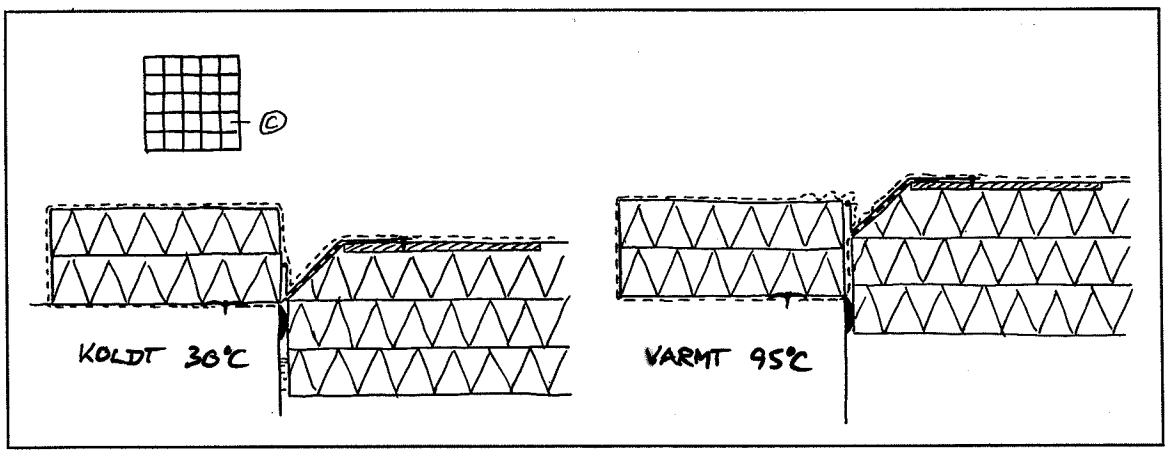
Efter udlægningen af isoleringslagene foldes og svejses bundlineren op langs isoleringens kanter på en sådan måde, at folien forbliver ubrudt under vandlinien. Bundlineren fastgøres midlertidigt til tagpladerne.

"Regnfrakken" monteres midlertidigt ovenpå det etablerede isoleringslag for at beskytte det mod nedbør under montagen. Regnfrakken er større end sektionerne med et overlap på ca. 0,1 m.

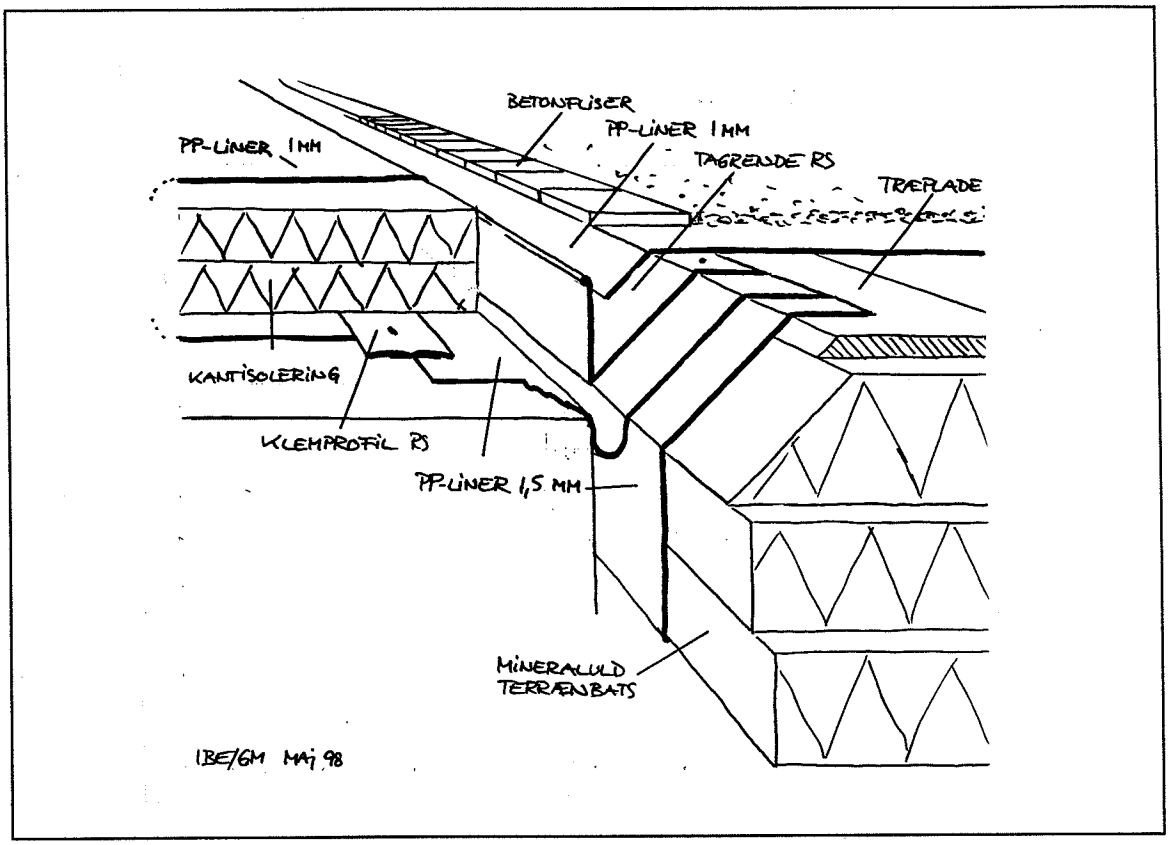
De færdige sektioner bliver herefter trukket på deres respektive pladser på vandet. Nabosektionerne bliver samlet v.h.a. tagrenderne hhv. samleblikkene, der lægges ovenpå bundlineren og skrues fast på tagpladerne. Regnfrakken tapes til tagrenderne hhv. samleblikkene med butylgummi-tape (på samleblikkene med overlap).

4.3.4 Kantkonstruktionen

Når alle sektioner er forbundet til hinanden, etableres kantkonstruktionen. Damptætningen af spalten mellem låget og lagerkanten foretages med PP-liner, der fastgøres på lagerkanten v.h.a. klemprofiler i rustfrit stål og på oversiden af lågelementerne v.h.a. tagrenderne hhv. samleblikkene. De to tagrender i kanten har et anderledes tværsnit end de øvrige tagrender i midten af låget. Lineren fastgøres på en sådan måde, at den tillader vertikale lågbevægelser på op til 16 cm, svarende til vandstandsstigningen som følge af lagervandets opvarmning (figur 4.16). Der forventes ingen horisontale bevægelser af låget som følge af opvarmningen, da mineraluld har en udvidelseskoefficient på $\alpha = 0$ mm/mK. For at reducere varmetabet fra spalten mellem låget og lagerkanten udlægges der ovenpå PP-lineren og 0,6 m over lagerkanten mineraluld-bats, der afdækkes med en regnfrakke som vist i figur 4.17.



Figur 4.16: Situation ved kanten ved de ekstreme lagervandstemperaturer (30 og 95 °C)



Figur 4.17: Kantkonstruktionen

4.3.5 Priser

Prissættelsen af løsningsforslagene kom frem til en pris på 668 kr./m^2, svarende til en totalpris på 8,1 mio. kr. (se kapitel 5). Denne pris gælder for et låg med en kantlængde på 110 m og et areal på 12.100 m^2. Låget skal i så fald være sammensæt af 25 sektioner på ca. 480 m^2 (ca. 22 x 22 m). Der regnes endvidere med, at der skal opnås en isolans af det homogene låg (uden kuldebroer og kanttab) på R = 10 m^{2}K/W. Ved det anvendte isoleringsmateriale med en varmeledningsevne på λ = 0,039 W/mK er dette opnået ved en isoleringstykkelse på 0,4 m.

Prisoverslaget gælder for det første låg. D.v.s. at der i overslaget indgår udviklings- og værktøjsomkostninger, omkostninger til detajlprojektering og en stor post til uforudsete udgifter. Disse omkostninger udgør ca. 25% af totalprisen. Der kan regnes med, at disse omkostninger kan reduceres betydeligt allerede ved etableringen af det andet låg og yderligere ved efterfølgende lågetableringer.

Samtidigt vil der ved etableringen af flere låg af samme type kunne opnås en rationaliseringsgevinst, som vil medføre reducerede materialepriser og montageomkostninger. Den fremtidige pris for låget anslåes derfor til at ligge 15 - 20% lavere end i nærværende overslag (535 - 570 kr/m^2).

4.3.6 Den videre projektering

PP-linerens levetid: Der skal fremskaffes dokumentation for PP-linerens levetider ved forskellige (høje) temperaturer i begrænsede perioder. Samtidigt skal det undersøges, hvilken effekt en evt. temperaturbegrænsning til en maksimal lagertemperatur < 95 °C har m.h.t. lagerets effektivitet, dækningsgrad o.s.v.

Dampdiffusion igennem PP-lineren: Det skal undersøges, om og i hvilket omfang diffusion af vanddamp gennem PP-lineren udgør et problem ved at estimere mængden af vanddamp, der kan forventes at komme i isoleringslaget. På baggrund af dette estimat skal der tages stilling til, om det er nødvendigt med ventilering af isoleringen og hvordan denne i så fald skal udformes.

Understøtning/sikkerhed: I forslaget gåes der ud fra, at låget ikke understøttes af en bærende konstruktion, som det er tilfældet ved fx Ottrupgård-låget. Grundet lågets opbygning vil en tømning af lageret for vand derfor medføre at låget lægger sig på lagersiderne og -bunden, sandsynligvis medførende en mere eller mindre omfattende ødelæggelse af sektionerne. Lågets komponenter vil derefter kunne genbruges men sektionerne skal i så fald genopbygges fra bunden. Der skal tages stilling til, hvorvidt en "katastrofetømning" anses for sandsynligt og om det er et absolut krav med en bærende konstruktion under låget.

Kantkonstruktion: Det ville m.h.t. kantkonstruktionen være ønskeligt, at begrænse lågets vertikale bevægelser som resultat af vandets udvidelse ved opvarmning til et minimum. Uden begrænsning skal der regnes med en vertikal bevægelse på op til 16 cm, som kræver hensyntagen ved projekteringen af dampspærren, linere osv.

Begrænsningen af de vertikale bevægelser kan realiseres ved at lukke (koldt) vand fra bunden af lageret ud. Vandet kan derefter enten opfanges i en buffertank (ca. 2.000 m^3) eller bortledes til kloaken. Styringen af overløbet skal ske ved en niveaukontrol af låget og ikke ved vandstandsmåling. Herved forhindres, at der lukkes vand ud af lageret hvis vandet stiger som følge af last på låget. De økonomiske og varmetekniske konsekvenser af disse fremgangsmåder skal undersøges nærmere.

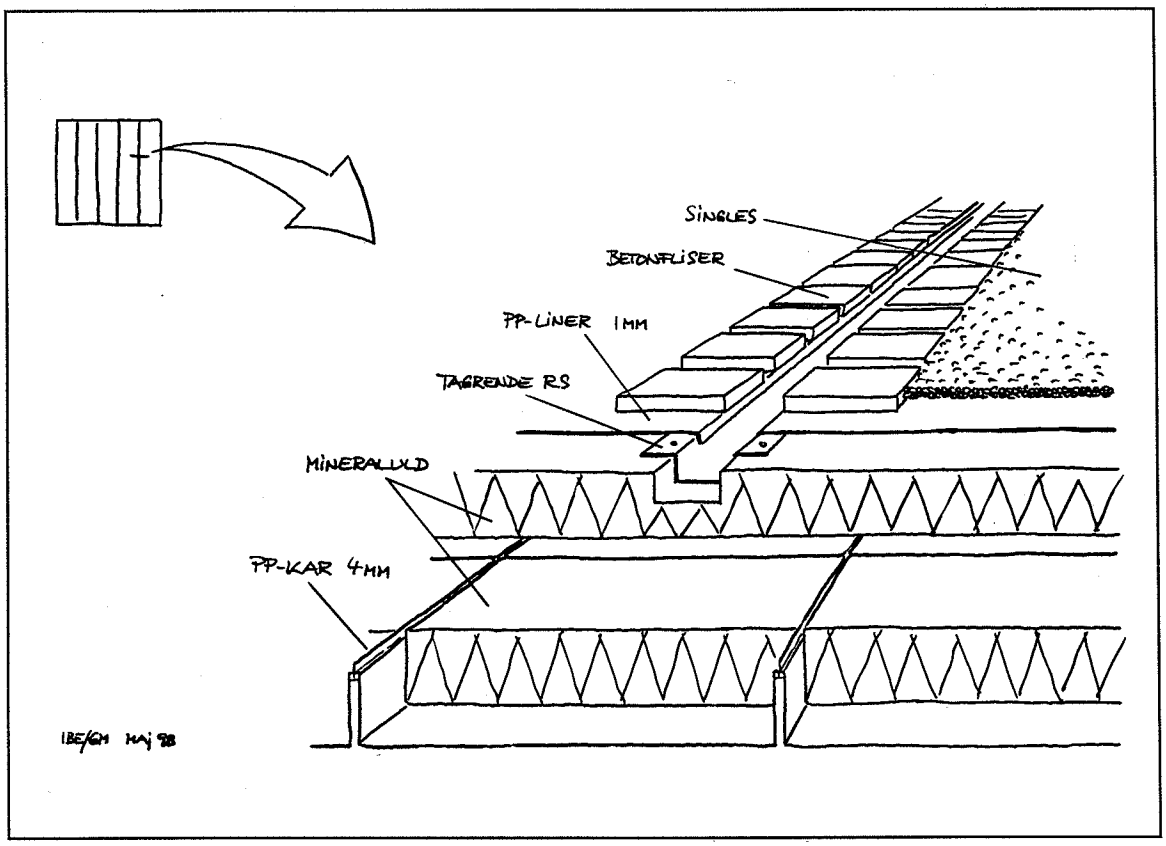
Valg af isoleringsmateriale: I det beskrevne forslag anvendes der mineraluld-terrænbats. Dette medfører en risiko for, at lågsektionerne ved en beskadigelse af lineren fyldes med vand og synker. Derfor skal det undersøges, om der findes egnede isoleringsmaterialer (som fx varmebestandig EPS), der selv ved vandindtrængning i isoleringslaget forbliver flydende. Anvendelsen af plastskum-isolering ville dog p.g.a. varmeudvidelsen nødvendiggøre en alternativ udformning af kantløsningen (større mellemrum mellem lågets og lagerets kant).

4.4 Løsningsforslag 4:

Flerlagsløsning med små PP-kar (IBE)

4.4.1 Princip

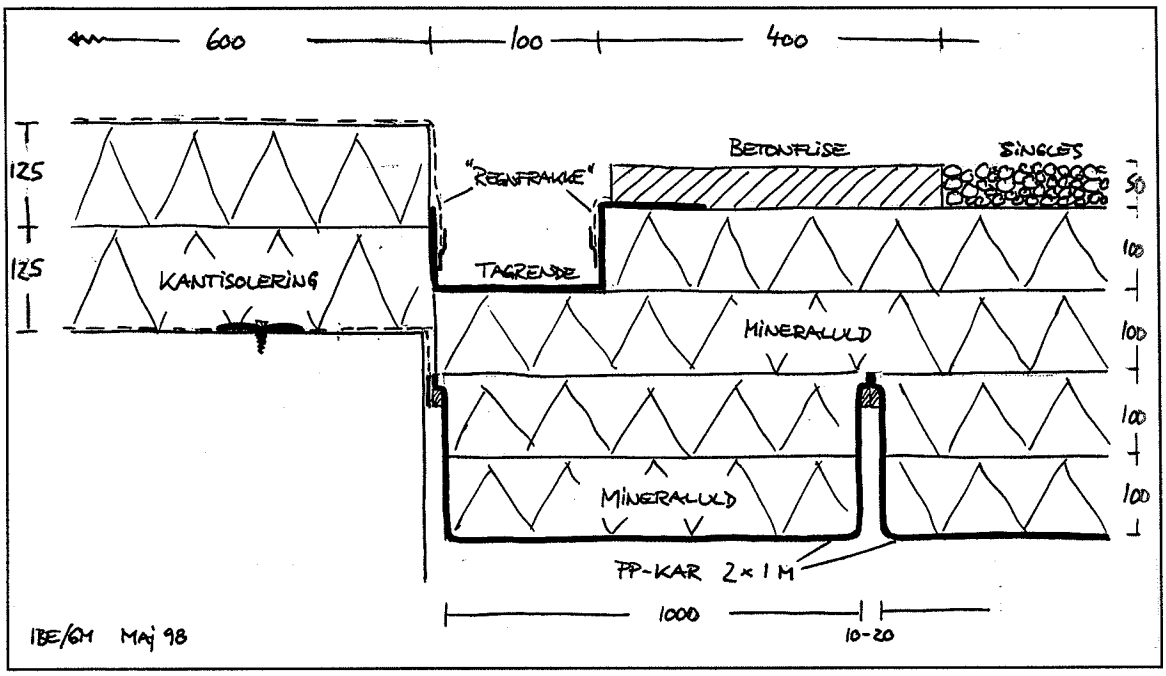
Låget skal være opbygget af flere lag med hver deres specifikke funktion. Et nedre isoleringslag består af mineraluld-terrænbats, der er lagt i PP-kar, mens et øvre isoleringslag består af ubeskyttede mineraluld-terrænbats. Låget afsluttes foroven med en "regnfrakke", der dækker hele konstruktionen. Princippet fremgår af figur 4.18.



Figur 4.18: Princip i opbygningen af låget

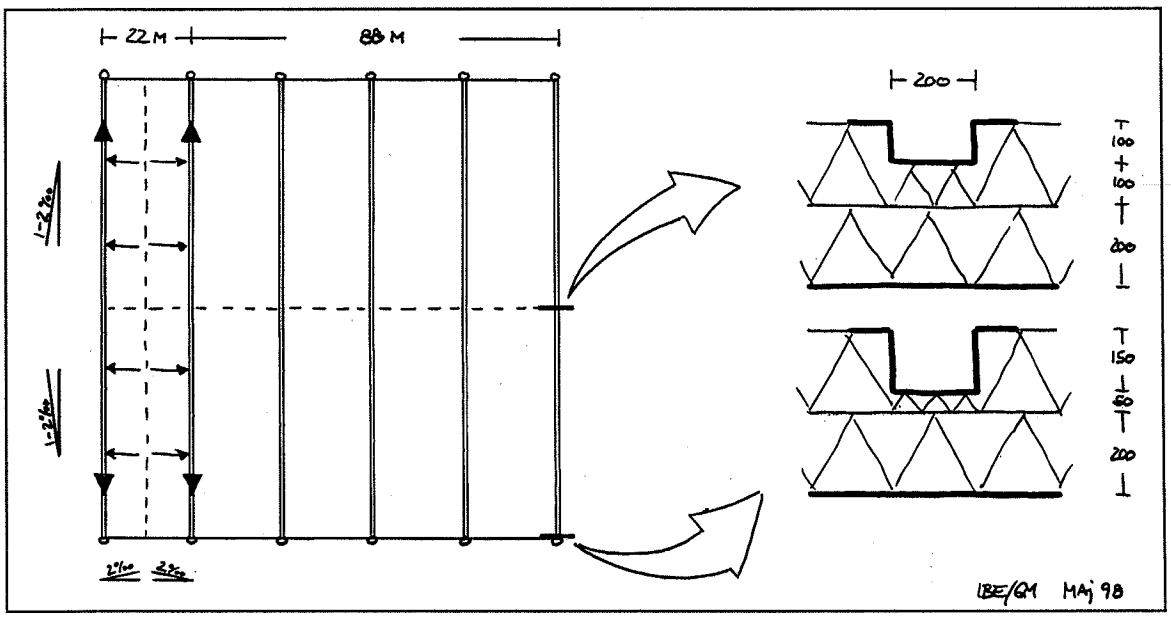
- De mineraluld-fyldte PP-kar har til formål at give låget flydeevne på en sådan måde, at det øvre, ubeskyttede isoleringslag ikke kommer i direkte kontakt med det varme lagervand. Samtidigt sørger det nederste isoleringslag for den første isolans, hvilket medfører, at det øvre isoleringslag ikke bliver udsat for temperaturer på over 60 °C.
- Det øvre isoleringslag supplerer det nederste lags isolans og er dimensioneret således, at den ønskede total-isolans opnås.
- "Regnfrakken" skal beskytte hele konstruktionen mod og sikre afledningen af nedbør.

Lågets dimensioner er vist i figur 4.19:



Figur 4.19: Lågets dimensioner

Afledningen af regn- og smeltevand foregår via tagrender, der i ca. 22 m afstand udlægges tværs over låget nede i det øvre isoleringslag (figur 4.20). Hældningen hen imod tagrenderne opnås ved ujævn belastning af låget med betonfliser og singles.



Figur 4.20: Afvandingen af låget

4.4.2 Anvendte materialer og deres egenskaber

PP-kar: Der anvendes 4 mm PP-plader, der formes til kar med en størrelse på 2 x 1 x 0,2 m. Hostalen har en høj varmebestandighed og kan derfor tåle kontakten med det varme lagervand. Da PP's bestandighed ved høje temperaturer over længere perioder ikke endnu er veldokumenteret, skal der dog regnes med en begrænsning af maksimum-temperaturen i overfladen af lagervandet ($T_{max} \approx 80$ °C). Ligeledes er PP (som andre plastmaterialer) ikke 100% damptæt, hvilket nødvendiggør ventilering af isoleringslaget for at undgå fugtophobning hér. Den termiske udvidelseskoefficienten for PP er $\alpha_{PP} = 0{,}07$ mm/m°C. Ved driftstemperaturer mellem 30 °C og 95 °C vil udvidelsen af en sektion på den lange led (2 m) være knap 1 cm.

Tætningen af samlingerne mellem karrene: Til tætningen anvendes tætningslister i siliconegummi. Materialet kan tåle høje temperaturer og er (og forbliver) fleksibel også ved gentagne opvarmninger og afkølinger og/eller kompressioner. Hullet, der kommer til at opstå i krydssamlingerne tætnes v.h.a. silicone-fugemasse.

Isoleringslaget etableres af et 0,4 m tykt lag af mineraluld-terrænbats med et varmeledningstal på $\lambda = 0{,}039$ W/mK. Isolansen af det homogene låg exkl. kuldebroer og kanttab er $R \approx 10$ m²K/W. De i forslaget anvendte terrænbats (ROCKWOOL TUN nr. 83 84 521/83 84 539) kan belastes med 2,5 kN/m². Den forventede maksimale belasting ved en flisebelastning på gennemsnitlig 60 kg/m² plus et tykt lag våd sne (ca. 100 kg/m²) er ca. 1,6 kN/m². Den praktiske varmeudvidelseskoefficient for mineraluld-terrænbats er $\alpha_{MU} = 0$ mm/m °C.

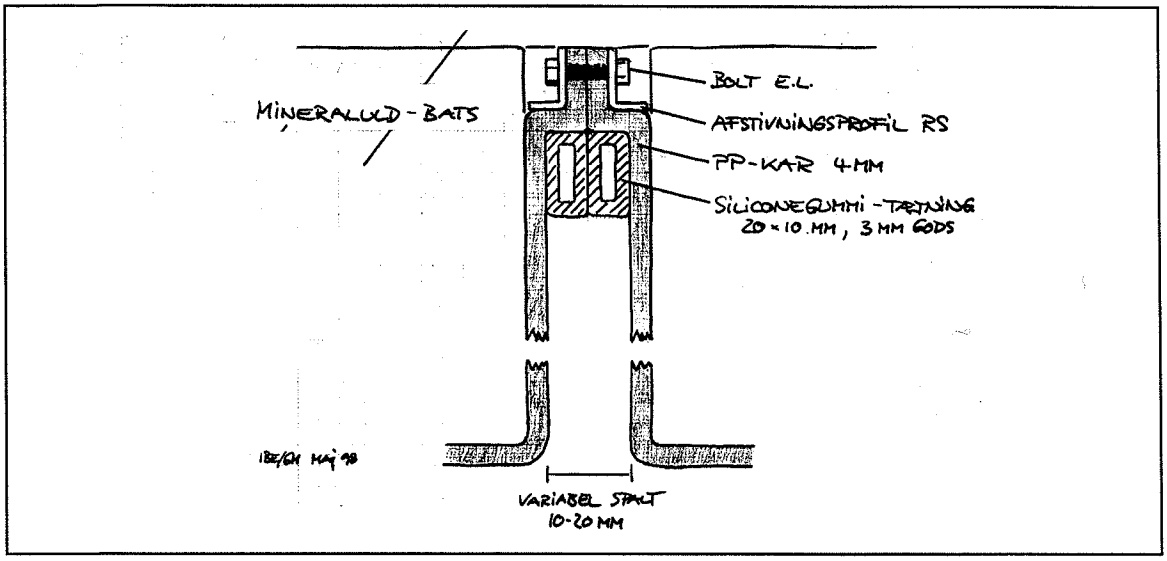
Topmembranen ("regnfrakken") skal være vandtæt og skal kunne modstå UV-stråling. Samtidigt skal topmembranen være så diffusionsåben som muligt for at minimere fugtophobning i isoleringslaget. I forslaget anvendes der en UV-bestændig tagfolie af PP med en tykkelse på 1mm.

Tagrendesystemet opbygges af 1 mm stålprofiler eller alternativt af plastrender.

4.4.3 Montage

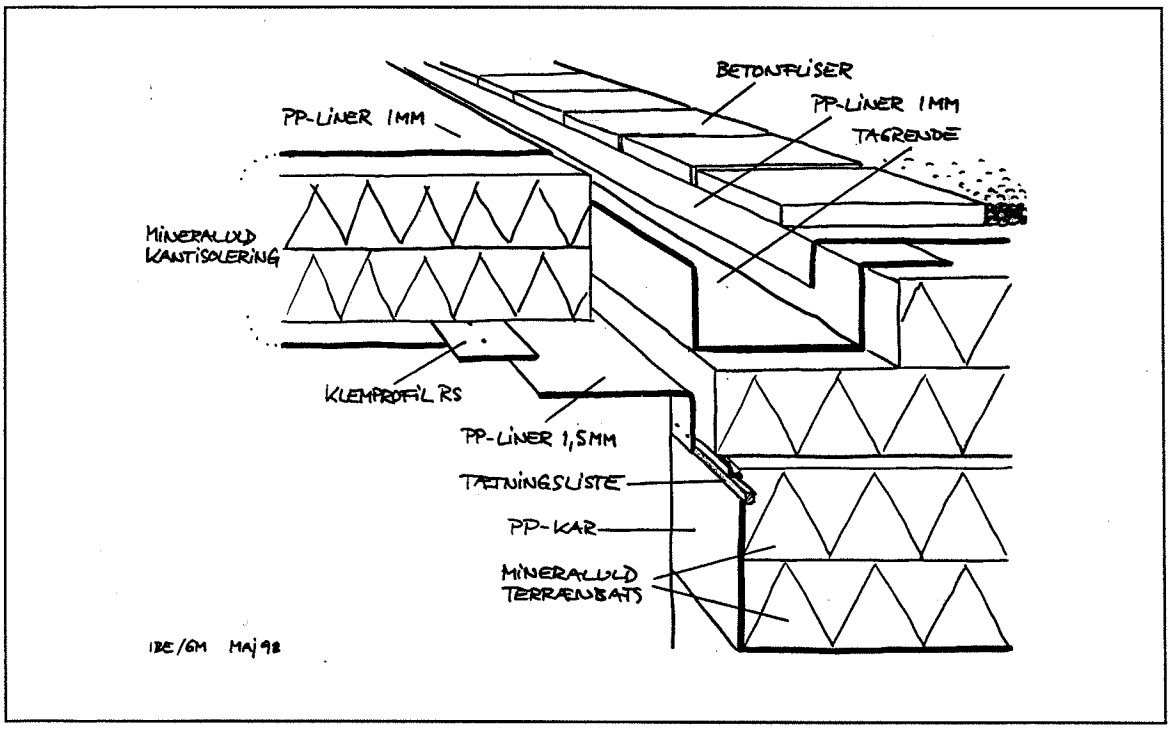
Karrene vakuumformes i en størrelse på 1 x 2 x 0,2 m. Karrene fyldes med isoleringsmaterialet og tætningsprofilerne monteres på karrene. Herefter samles karrene v.h.a. skruer, bolter eller nitter på fabrikken til transpotable lågelementer med en størrelse på fx 2 x 10 m. Hullerne i krydsamlingerne fuges med siliconemasse. Samlingen af karrene og tætningen af samlingerne fremgår af figur 4.21 på næste side.

Lågelementerne transporteres til lageret og udlægges på vandet. Samlingen af elementerne på vandet foregår som karsamlingen. Herefter udlægges det øvre isoleringslag i baner med en bredde på ca. 22 m, svarende til afstanden mellem to tagrender. Sideløbende med etableringen af det øvre isoleringslag monteres tagrenderne. Regnfrakken udlægges løbende for at beskytte isoleringen mod nedbør og tapes til tagrenderne med butylgummi-tape. Når regnfrakken er monteret udlægges en række betonfliser langs med tagrenderne og singles på resten af låget.



Figur 4.21: Samlingen af karrene og tætningen af samlingerne

Dampspærren langs kanten af låget bliver fastgjort til karrene og til lagerkanten v.h.a. klemprofiler i rustfrit stål. Der etableres ca. 0,2 m mineraluld-isolering ovenpå lagerkanten. Isoleringen indpakkes i tagfolie, der på de to lågsider med tagrende er fastgjort til lagerkanten v.h.a. klemprofiler og tapet til tagrenden. På de to lågsider uden tagrender trækkes lågets regnfrakke hen over kantisoleringen. Udformningen af kantkonstruktionen fremgår af figur 4.22.



Figur 4.22: Udformningen af kantkonstruktionen

4.4.4. Priser

Prissættelsen af løsningsforslaget kom frem til en pris på 957 kr./m^2, svarende til en totalpris på 11,6 mio. kr. (se kapitel 5). Denne pris gælder for et låg med en kantlængde på 110 m og et areal på 12.100 m^2. Der regnes med, at der skal opnås en isolans af det homogene låg (uden kuldebroer og kanttab) på R = 10 m^2K/W. Ved det anvendte isoleringsmateriale med et varmeledningstal på λ = 0,039 W/mK er dette opnået ved en isoleringstykkelse på 0,4 m.

Prisoverslaget gælder for det første låg. D.v.s. at der i overslaget indgår udviklings- og værktøjsomkostninger, omkostninger til detajlprojektering og en stor post til uforudsete udgifter. Disse omkostninger udgør ca. 25% af totalprisen. Der kan regnes med, at disse omkostninger kan reduceres betydeligt allerede ved etableringen af det andet låg og yderligere ved efterfølgende lågetableringer.

Samtidigt vil der ved etableringen af flere låg af samme type kunne opnås en rationaliseringsgevinst, som vil medføre reducerede materialepriser og montageomkostninger. Den fremtidige pris for låget anslåes derfor til at ligge 15 - 20% lavere end i nærværende overslag (764 - 812 kr/m^2).

4.4.5 Den videre projektering

Karstørrelsen: Det meget lille areal af karrene medfører ekstrem mange samlinger i lågets nedre lag. Samlingerne udgør kuldebroer og øger risikoen for utætheder. Det skal derfor undersøges, om det er muligt at fremstille større kar til brug i det nedre isoleringslag, evt. svejsede/limede fremfor vakuumformede kar.

Samling/tætning af karrene: I forslaget anvendes der siliconegummiprofiler og silicone-fugemasse til tætningen af samlingen mellem karrene. Det skal afklares, hvorvidt den forslåede tætning er anvendelig. Tætningsprofilerne kan leveres enten som O-ringe eller med skarpe (sammenføjede) hjørner. Sidstnævnte er en dyrere løsning men mindsker samtidigt størrelsen af hullerne i krydssamlingerne. Det skal afklares, hvilken løsning der er den bedste under hensyntagen til pris og funktionsdygtighed.

Diffusion igennem PP-karrene og sliconegummitætningen: Det skal undersøges, om og i hvilket omfang diffusion af vandet gennem PP-karrene og tætningerne udgør et problem. Mængden af vanddamp, der kan forventes at komme i isoleringslaget skal estimeres. På baggrund af dette estimat skal der tages stilling til, hvorvidt det er nødvendigt med ventilering af isoleringen.

Understøtning/sikkerhed: I forslaget gåes der ud fra, at låget ikke understøttes af en bærende konstruktion, som det er tilfældet ved fx Ottrupgård-låget. Grundet lågets opbygning vil en tømning af lageret for vand derfor medføre, at låget lægger sig på lagersiderne og -bunden, sandsynligvis medførende en mere eller mindre omfattende ødelæggelse af lågkonstruktionen. Lågets komponenter vil derefter kunne genbruges ved genopbygningen af låget. Der skal tages stilling til, hvorvidt en "katastrofetømning" anses for sandsynligt og om det er et absolut krav med en bærende konstruktion under låget.

Kantkonstruktion: Det ville m.h.t. kantkonstruktionen være ønskeligt at minimere lågets vertikale bevægelser som resultat af vandets udvidelse ved opvarmning. Uden begrænsning skal der regnes med en vertikal bevægelse på op til 16 cm, som kræver hensyntagen ved projekteringen af dampspærren, linere osv.

Begrænsningen af de vertikale bevægelser kan realiseres ved at lukke (koldt) vand fra bunden af lageret ud. Vandet kan derefter enten opfanges i en buffertank (ca. 2.000 m^3) eller bortledes til kloaken. Styringen af overløbet skal ske ved en niveaukontrol af låget og ikke ved vandstandsmåling. Herved forhindres, at der lukkes vand ud af lageret hvis vandet stiger som følge af last på låget. De økonomiske og varmetekniske konsekvenser af disse fremgangsmåder skal undersøges nærmere.

5 Prissættelse af løsningsforslagene

Som et led i projektet blev der af Carsten Wesenberg, NNR a/s, gennemført en fælles, ensartet prisættelse for alle fire løsningsforslag, som fremgår af regnearkene på de følgende sider. Prissættelsen er dels baseret på konkrete tilbud, der blev indhentet af projektdeltagerne, dels på anslåede priser.

Priserne gælder for det første låg. D.v.s. at der i prissættelsen indgår udviklings- og værktøjsomkostninger, omkostninger til detajlprojektering og en post til uforudsete udgifter. Der kan regnes med, at disse omkostninger kan reduceres betydeligt allerede ved etableringen af det andet låg og yderligere ved efterfølgende lågetableringer. Samtidigt vil der ved etableringen af flere låg af samme type kunne opnås en rationaliseringsgevinst, som vil medføre reducerede materialepriser og montageomkostninger.

Prissættelsen af løsningsforslagene har resulteret i følgende priser for et 100.000 m^3 lager med et lågareal på 12.100 m^2:

Tabel 5.1: Priser pr. m^2 og totalpriser for et 100.000 m^3 lager

Nr.	Titel	Udarbejdet af :	Pris (kr./m^2)	Totalpris (mio. kr.)
	Ottrupgård-lågkoncept		1.466,-	17,7
1	Modulløsning af PP	PlastConsult	561,-	6,8
2	Videreudvikling af Ottrupgård-låget	NNR a/s	1.437,-	17,4
3	Videreudvikling af IBE's forsøgslåg	IBE	668,-	8,1
4	Flerlagsløsning med små PP-kar	IBE	957,-	11,6

Det var et af de højt prioriterede krav, at lågkonstruktionen skal have et acceptabelt pris-ydelsesforhold (se kapitel 2). Løsningsforslagene skulle derfor som udgangspunkt ligge på et prisniveau, der er lavere end for lågkonceptet fra pilotanlægget på Ottrupgård. Udgifterne til lågkonstruktioner, der følger konceptet fra Ottrupgård-låget beløber sig inkl. udgifter til projektering, uforudsete udgifter m.m. ifølge et overslag på 1.466,- kr/m^2 /3/.

Det fremgår af tabellen, at de tre plastløsninger (nr.1, 3 & 4) er billigere end Ottrupgård-låget. Ståløsningen i løsningsforslag nr. 2 ligger derimod på samme prisniveau som Ottrupgård-låget. Det skal dog bemærkes, at lågets isolans[1] er væsentligt højere i løsningsforslag nr. 2 ($R \approx 10$ m^2K/W) end ved Ottrupgård-låget ($R \approx 6,5$ m^2K/W) og at løsningsforslag nr. 2 indeholder en række forbedringer i.f.t. Ottrupgård-låget (fx sammensvejset bundliner, forbedret kantløsning osv.).

[1] homogen isolans for lågelementerne, d.v.s. isolansen uden kuldebroeffekt og kanttab

En sammenligning af de fire løsningsforslag viser, at der er store forskelle i priserne de enkelte løsningsforslag imellem. Således er den dyreste løsning (nr. 2) næsten tre gange så dyrt som den billigste løsning (nr. 1). Den høje pris for løsning 2 kan forklares med, at det er en stålløsning med høje materiale- og etableringsomkostninger (svejsning) og at der i forslaget indgår en understøttende konstruktion. Til gengæld kan stålløsningen tåle meget høje temperaturer i lagervandet over lang tid, hvilket ikke på nuværende tidspunkt kan garanteres for plastløsningerne. Dette forhold medfører nødvendigheden af en ikke nærmere bestemt temperaturbegrænsning i lagervandet ved plastløsningerne, som vil gøre lageret mindre effektiv og øge energipriserne.

Plastløsningerne er generelt billigere end stålløsningen. Men også plastløsningerne imellem er der store prisforskelle idet løsning nr. 4 koster næsten dobbelt så meget som løsning nr. 1 og halvanden gang så meget som løsning nr. 3. Grunden hertil er anvendelsen af vakuumformede kar, der er dyre i produktionen og som p.g.a. deres ringe størrelse medfører høje etableringsomkostninger (tidskrævende samling). Prisforskellen mellem løsning nr. 1 og nr. 3 skyldes det større antal sektioner i løsning 3 og at der ved løsning nr. 3 skal etableres en tørdok til samling af lågsektionerne.

DTU-projekt: LÅGKONSTRUKTIONER TIL DAMVARMELAGRE FASE II

Dato: 06.05.98
Rev.: 14/05/98 14:44

LÅGKONSTRUKTION: VARIANT:
Flydende lågkonstruktion: PLASTCONSULT 1
Svejset modulløsning af PP med løs isolering 70 °C (maksimal konstant vandtemperatur v/20 års drift)

ISOLANS, R (m2*K/W)	W/m*K	m	R
PUR	0,028		0,0
EPS	0,039		0,0
Terrænbatts	0,039	0,40	10,3
Letklinker 10-20 mm	0,080		0,0
Letklinker 4-10 mm	0,090		0,0
Sum:		0,40	10,3

Løsningsforslag 1
PlastConsult

OVERSLAG — NNR/ Plastconsult

MATERIALER TIL LÅGMODULER

Bredde:	6,1	m							Rullebredde: maks. 10,0 m	
Tykkelse:	0,4	m							aktuel: 7,1	m
Længde/areal:	110,0	m			671,00	m2			Rullelængde: maks. 126 m	
	ENHEDSPRIS		MÆNGDER		PRIS IALT		PRIS PR. M2		BEMÆRKNINGER	
Udvikling og værktøj	75000,00	kr /	18	stk	4159	kr	6,20	kr/m2	Anslået NNR	
Bundliner, 1,5 mm PP	36,00	kr/m2	788	m2	28372	kr	42,26	kr/m2	Plastconsult	
Mineraluld, 400 mm terrænbatts (incl. 10% spild)	480,00	kr/m3	295	m3	141715	kr	211,20	kr/m2	IBE/Plastconsult	
Topliner, 1,5 mm PP	36,00	kr/m2	696	m2	25039	kr	37,32	kr/m2	Plastconsult	
	Ialt pr. modul				199285	kr	297,00	kr/m2		

ETABLERING AF FLYDENDE LÅGKONSTRUKTION DIREKTE PÅ VANDOVERFLADEN

Sidelængde/areal:	110	m	12100	m2
Elementer på langs	1,0	stk.		
Elementer på tværs	18,0	stk	18,0	stk

1. LEVERING OG UDFØRELSE AF LÅGMODULER	ENHEDSPRIS		MÆNGDER		PRIS IALT		PRIS PR. M2		BEMÆRKNINGER
Etablering og fjernelse af montageareal m.v.	200000	kr	1	stk	200000	kr	16,53	kr/m2	Anslået, NNR
Transport af isolering	50	kr/m3	5381	m3	269060	kr	22,24	kr/m2	Anslået, NNR
Transport af øvrige materialer m.v.	250000	kr	1	stk	250000	kr	20,66	kr/m2	Anslået, NNR
Materialer, lågmoduler	199285	kr/stk	18	stk	3593657	kr	297,00	kr/m2	Plastconsult (18 stk)
Modtage- og tæthedskontrol for linere - DTI					150000	kr	12,40	kr/m2	Plastconsult (10000 kr)
Arbejdsløn									
Bundliner	300	kr/h	120	h	36066	kr	2,98	kr/m2	Plastconsult (99 h)
Isolering	200	kr/h	303	h	60500	kr	5,00	kr/m2	Plastconsult (270 h)
Topliner	200	kr/h	128	h	25647	kr	2,12	kr/m2	Plastconsult (72 h)
Svejsning	300	kr/h	87	h	25967	kr	2,15	kr/m2	Plastconsult (36 h)
Renskæring og bukninger	300	kr/h	43	h	12960	kr	1,07	kr/m2	Plastconsult (36 h)
Hjørnedetaljer m.v.	300	kr/h	10	h	2880	kr	0,24	kr/m2	Plastconsult (8 h)
Ialt:			690	h					
	Ialt:				4626736	kr	382,37	kr/m2	

2. KANTAFDÆKNING									
Kantafdækning									
Materialer									
Liner, 1,5 mm PP (incl. 10% spild)	36	kr/m2	959	m2	34531	kr	2,85	kr/m2	Plastconsult
Mineraluld, 200 mm terrænbatts (incl. 30% spild)	480	kr/m3	57	m3	27456	kr	2,27	kr/m2	Plastconsult (424 kr/m2)
2" galv. rør (incl. 10 % spild)	65	kr/m	448	m	29120	kr	2,41	kr/m2	Plastconsult
Kantbjælke m/indstøbte forankringsjern	223	kr/m	448	m	99782	kr	8,25	kr/m2	Plastconsult
Afløb fra "tagrender"	2500	kr/stk	4	stk	10000	kr	0,83	kr/m2	Anslået, NNR
Arbejdsløn									
Isolering	300	kr/h	148	h	44400	kr	3,67	kr/m2	Plastconsult (4000 kr)
Udlægning, svejsning og bukning	300	kr/h	64	h	19184	kr	1,59	kr/m2	Plastconsult (12 h)
Tilpasning og justering	300	kr/h	18	h	5400	kr	0,45	kr/m2	Plastconsult (15 h)
	Ialt:				269873	kr	22,30	kr/m2	

3. KOMPLETERING									
Singles, 60 kg/m2	90	kr/m3	454	m3	40838	kr	3,38	kr/m2	Plastconsult (195 m3)
Udlægning af singles	200	kr/h	605	h	121000	kr	10,00	kr/m2	Plastconsult (297 h)
Fliser langs kant, 0,4m2/m	48	kr/m	440	m	21120	kr	1,75	kr/m2	Anslået, NNR
Ventilation					150000	kr	12,40	kr/m2	Plastconsult
	Ialt:				332958	kr	27,52	kr/m2	
Udlægning af singles									

ANLÆGSARBEJDER IALT (pos. 1.-3.):					5229567	kr	432,20	kr/m2	(Kontrol:	432,20	kr/m2)
Drift af af byggeplads m.v.	5,00	% af	5229567	kr	261478	kr	21,61	kr/m2	Incl. leje af kran		
Diverse og uforudsigelige udgifter:	10,00	% af	5491045	kr	549105	kr	45,38	kr/m2			
Detailprojektering	12,50	% af	6040150	kr	755019	kr	62,40	kr/m2			
FLYDENDE LÅGKONSTRUKTION IALT:					6795168	kr	561,58	kr/m2			

DTU-projekt: LÅGKONSTRUKTIONER TIL DAMVARMELAGRE FASE II

Dato: 06.05.98
Rev.: 14/05/98 14:23

LÅGKONSTRUKTION: VARIANT:
Flydende lågkonstruktion: NNR 1 1
Videreudvikling af Ottrupgård-låget 97 °C (maksimal konstant vandtemperatur v/20 års drift)

ISOLANS, R (m2°K/W)	W/m°K	m	R
PUR	0,028	0,10	3,6
EPS	0,039		0,0
Terrænbatts	0,039	0,25	6,4
Letklinker 10-20 mm	0,080		0,0
Letklinker 4-10 mm	0,090		0,0
Sum:		0,35	10,0

Løsningsforslag 2
NNR a/s

OVERSLAG

Nellemann, Nielsen & Rauschenberger

FREMSTILLING AF LÅGELEMENTER

Bredde:	1,2	m						Standardbredde: 1,2 m	
Tykkelse:	0,1	m							
Længde/areal:	8,7	m			10,44	m2		Maks. længde: 8,7 - 16 m	
	ENHEDSPRIS		MÆNGDER		PRIS IALT		PRIS PR. M2		BEMÆRKNINGER
PU-isolering (varmeledning: < 0,03 W/m°c)	1200,00	kr/m3	1,04	m3	1252,80	kr	120,00	kr/m2	DC SYSTEM Insulation A/S
Bundplade: 0,5 mm syrefast, rustfri stål (AISI 316)	126,00	kr/m2	11,04	m2	1390,74	kr	133,21	kr/m2	DC SYSTEM Insulation A/S
Topplade: 0,5 mm Aluzink (galvaniseret stålplade)	35,00	kr/m2	11,04	m2	386,32	kr	37,00	kr/m2	DC SYSTEM Insulation A/S
Produktion og ID bånd	2785,23	kr/stk	1	stk	2785,23	kr	266,78	kr/m2	92% tillæg
(excl. levering og montering)	Ialt pr. element:				5815,08	kr	557,00	kr/m2	DC SYSTEM Insulation A/S

ETABLERING AF FLYDENDE LÅGKONSTRUKTION MED LÅGUNDERSTØTNING

Sidelængde/areal:	110	m	12100	m2					
Elementer på langs	12,6	stk.							
Elementer på tværs	91,7	stk	1159	stk					
1. LEVERING OG MONTERING AF LÅGELEMENTER	ENHEDSPRIS		MÆNGDER		PRIS IALT		PRIS PR. M2		BEMÆRKNINGER
Køb af lågelementer	5815,08	kr/stk	1159	stk	6739700	kr	557,00	kr/m2	DC SYSTEM Insulation A/S
Transport af lågelementer	50,00	kr/m3	1210	m3	60500	kr	5,00	kr/m2	DC SYSTEM Insulation A/S
Montage af lågelementer, excl. svejsning:	1513,80	kr/stk	1159	stk	1754500	kr	145,00	kr/m2	DC SYSTEM Insulation A/S
Etablering af mandehuller	12500,00	kr/stk	4	stk	50000	kr	4,13	kr/m2	
Enkeltsøm-samlinger									
Procedureprøver m.v.					150000	kr	12,40	kr/m2	Incl. modifikation af 2 svejsemask.
Leje af svejsemaskiner	5000,00	kr/mdr	3	mdr	15000	kr	1,24	kr/m2	Incl. vedligehold af 2 svejsemask.
Elementsamlinger (sømsvejsning)	22,50	kr/m	11254	m	253218	kr	20,93	kr/m2	Incl. anstilling, svejsning og kontrol
Kryds-samlinger/TIG-svejs									
3-elementer	85,00	kr/stk	2111	stk	179468	kr	14,83	kr/m2	
langs kant	85,00	kr/stk	209	stk	17733	kr	1,47	kr/m2	
Svejsekontrol, FORCE m.v.					300000	kr	24,79	kr/m2	
	Ialt:				9520119	kr	786,79	kr/m2	
2. FLADEISOLERING OG KANTAFDÆKNING									
Mineraluld, 250 mm terrænbatts (incl. 10% spild)	480,00	kr/m3	3328	m3	1597200	kr	132,00	kr/m2	IBE/Plastconsult
Levering af mineraluld	50,00	kr/m3	3328	m3	166375	kr	13,75	kr/m2	
Montering af mineraluld	5,00	kr/m2	12100	m2	60500	kr	5,00	kr/m2	IBE
Kantafdækning									
Bundliner, 0,5 mm syrefast rustfri stål (AISI 316)	163,40	kr/m	440	m	71896	kr	5,94	kr/m2	
Kantsamling 1 (sømsvejsning)	22,50	kr/m	440	m	9900	kr	0,82	kr/m2	
Kantsamling 2 (skruesamling + fugning)	60,00	kr/m	440	m	26400	kr	2,18	kr/m2	
Rockwool granulat/batts	50,00	kr/m	440	m	22000	kr	1,82	kr/m2	
Tagfolie 1 m ud over kant, 1,0 mm PP									
Levering, udlægning, svejsning og tæthedskontrol	39,00	kr/m2	12544	m2	489216	kr	40,43	kr/m2	Plastconsult/IBE
	Ialt:				2443487	kr	201,94	kr/m2	
3. KOMPLETERING									
Kantvederlag, incl. siloelementer	190,00	kr/m	440	m	83600	kr	6,91	kr/m2	
Singles, 60 kg/m2	90,00	kr/m3	447	m3	40244	kr	3,33	kr/m2	
Udlægning af singles	10,00	kr/m2	11924	m2	119240	kr	9,85	kr/m2	
Fliser langs kant, 0,4 m2/m	48,00	kr/m	440	m	21120	kr	1,75	kr/m2	
Understøtning pr. 4 m			12,0	kg/m2					
Søjle-bjælke stålkonstruktion	7,50	kr/kg	145200	kg	1089000	kr	90,00	kr/m2	
	Ialt:				1353204	kr	111,84	kr/m2	
ANLÆGSARBEJDER IALT (pos. 1.-3.):					13316809	kr	1100,56	kr/m2	(Kontrol: 1100,56 kr/m2)
Drift af af byggeplads m.v.	5,00	% af	14683525	kr	734176	kr	60,68	kr/m2	Incl. leje af kran
Diverse og uforudsigelige udgifter:	10,00	% af	14050985	kr	1405099	kr	116,12	kr/m2	
Detailprojektering	12,50	% af	15456084	kr	1932011	kr	159,67	kr/m2	
FLYDENDE LÅGKONSTRUKTION MED LÅGUNDERSTØTNING IALT:					17388095	kr	1437,03	kr/m2	

G:\SAG\07\183.01\NNRLAAG2.WQ1

DTU-projekt: LÅGKONSTRUKTIONER TIL DAMVARMELAGRE FASE II

Dato: 06.05.98
Rev.: 14/05/98 14:15

LÅGKONSTRUKTION: VARIANT:
Flydende lågkonstruktion: IBE 2 1
Videreudvikling af forsøgslåg på DTU 70 °C (maksimal konstant vandtemperatur v/20 års drift)

ISOLANS, R (m2°K/W)	W/m°K	m	R
PUR	0,028		0,0
EPS	0,039		0,0
Terrænbatts	0,039	0,40	10,3
Letklinker 10-20 mm	0,080		0,0
Letklinker 4-10 mm	0,090		0,0
Sum:		0,40	10,3

Løsningsforslag 3
IBE

OVERSLAG NNR/ Institut for Bygninger og Energi (IBE)

MATERIALER TIL LÅGMODULER

Bredde:	22,0	m					
Tykkelse:	0,4	m					
Længde/areal:	22,0	m			484,00	m2	

	ENHEDSPRIS		MÆNGDER		PRIS IALT		PRIS PR. M2		BEMÆRKNINGER
Bundliner, 1,5 mm PP	36,00	kr/m2	576,0	m2	20736	kr	42,84	kr/m2	Plastconsult/IBE
Udlægning, svejsning og tæthedskontrol	16,00	kr/m2	576,0	m2	9216	kr	19,04	kr/m2	Plastconsult/IBE
Mineraluld, 400 mm terrænbatts (incl. 10% spild)	480,00	kr/m3	213,0	m3	102221	kr	211,20	kr/m2	IBE/Plastconsult
Topliner, 1,0 mm PP	24,00	kr/m2	484,0	m2	11616	kr	24,00	kr/m2	Plastconsult/IBE
Udlægning, svejsning og tæthedskontrol	15,00	kr/m2	484,0	m2	7260	kr	15,00	kr/m2	Plastconsult/IBE
Kantplade m.v.	42,00	kr/m	88,0	m	3696	kr	7,64	kr/m2	Anslået, NNR
(excl. levering og montering)	ialt pr. modul				154745	kr	319,72	kr/m2	

ETABLERING AF FLYDENDE LÅGKONSTRUKTION I TØRDOK OG SAMLING PÅ VANDOVERFLADEN

Sidelængde/areal:	110	m	12100	m2			
Elementer på langs	5,0	stk.					
Elementer på tværs og i alt	5,0	stk	25	stk			

1. UDFØRELSE OG SAMLING AF LÅGMODULER	ENHEDSPRIS		MÆNGDER		PRIS IALT		PRIS PR. M2		BEMÆRKNINGER
Etablering og fjernelse af tørdok m.v.	242000	kr	1	stk	242000	kr	20,00	kr/m2	IBE
Levering og transport af materialer m.v.	50	kr/m3	5450	m3	272492	kr	22,52	kr/m2	IBE/NNR
Materialer, lågmoduler	154745	kr/stk	25	stk	3868620	kr	319,72	kr/m2	IBE
Montage af lågmoduler									
Montage af lågmodul i tørdok	250	kr/h	1500	h	375000	kr	30,99	kr/m2	IBE
Samling af lågmoduler på vandet	250	kr/h	1320	h	330000	kr	27,27	kr/m2	IBE
	ialt:				5088112	kr	420,51	kr/m2	

2. TAGRENDER OG KANTAFDÆKNING M.V.									
Tagrende (rustfrit stål), 6 stk á 110 m	200,00	kr/m	660	m	132000	kr	10,91	kr/m2	Anslået, NNR
Samleblik (rustfrit stål), 6 stk. á 110 m	250,00	kr/m	660	m	165000	kr	13,64	kr/m2	Anslået, NNR
Montering af tagrendesystem m.v.	250,00	kr/h	132	h	33000	kr	2,73	kr/m2	IBE
Kantafdækning (incl. 10% spild)									
PP-folie, 1,5 mm (0,3 m i bund, 1,5 m i top)	52,00	kr/m2	871	m2	45302	kr	3,74	kr/m2	Incl. udlægning, svejsning og kontrol
Mineraluld, terrænbatts 200 x 600 mm	480,00	kr/m3	126	m3	60403	kr	4,99	kr/m2	IBE/Plastconsult
Klemprofiler	100,00	kr/m	440	m	44000	kr	3,64	kr/m2	IBE
Arbejdsløn	250,00	kr/h	880	h	220000	kr	18,18	kr/m2	IBE
	ialt:				699706	kr	57,83	kr/m2	

3. KOMPLETERING									
Siloelementer langs kant	190,00	kr/m	440	m	83600	kr	6,91	kr/m2	Anslået NNR
Singles, 60 kg/m2	90,00	kr/m3	441	m3	39650	kr	3,28	kr/m2	Anslået NNR
Udlægning af singles	10,00	kr/m2	11748	m2	117480	kr	9,71	kr/m2	Anslået NNR
Fliser langs tagrender, 0,2 m2/m	24,00	kr/m	880	m	21120	kr	1,75	kr/m2	Anslået NNR
Fliser langs kant, 0,4 m2/m	48,00	kr/m	440	m	21120	kr	1,75	kr/m2	Anslået NNR
Ventilation					150000	kr	12,40	kr/m2	Plastconsult
	ialt:				432970	kr	35,78	kr/m2	

ANLÆGSARBEJDER IALT (pos. 1.-3.):					6220787	kr	514,11	kr/m2	(Kontrol:	514,11	kr/m2)	
Drift af af byggeplads m.v.	5,00	% af	6220787	kr	311039	kr	25,71	kr/m2	Incl. leje af kran			
Diverse og uforudsigelige udgifter:	10,00	% af	6531826	kr	653183	kr	53,98	kr/m2				
Detailprojektering	12,50	% af	7185009	kr	898126	kr	74,23	kr/m2				
FLYDENDE LÅGKONSTRUKTION IALT:					8083135	kr	668,03	kr/m2				

G:\SAG\07\183.01\IBELAAG2.WQ1

DTU-projekt: LÅGKONSTRUKTIONER TIL DAMVARMELAGRE FASE II

Dato: 06.05.98
Rev.: 14/05/98 14:02

LÅGKONSTRUKTION: VARIANT:
Flydende lågkonstruktion: IBE i 1
Flerlagsløsning med små PP-kar 70 °C (maksimal konstant vandtemperatur v/20 års drift)

ISOLANS, R (m²°K/W)	W/m°K	m	R
PUR	0,028		0,0
EPS	0,039		0,0
Terrænbatts	0,039	0,40	10,3
Letklinker 10-20 mm	0,080		0,0
Letklinker 4-10 mm	0,090		0,0
Sum:		0,40	10,3

Løsningsforslag 4
IBE

OVERSLAG — NNR/ Institut for Bygninger og Energi (IBE)

FREMSTILLING AF PP-KAR MED ISOLERING

Bredde:	1,0	m							
Tykkelse:	0,2	m							
Længde/areal:	2,0	m			2,00	m2			
	ENHEDSPRIS		MÆNGDER		PRIS IALT		PRIS PR. M2		BEMÆRKNINGER
Udvikling og værktøj	108900,00	kr	6050	stk	18	kr	9,00	kr/m2	IBE
PP-kar, 5 mm vacuumformet PP	139,88	kr/m2	3,4	m2	470	kr	235,00	kr/m2	IBE
Mineraluld, 200 mm terrænbatts	480,00	kr/m3	0,4	m3	211	kr	105,60	kr/m2	IBE Incl. 10% spild.
Midlertidig afdækning, 0,5 mm PE	20,00	kr/m2	2,2	m2	44	kr	22,00	kr/m2	IBE Incl. 10% spild.
Tætningsring af siliconegummi, 10x20 mm	10,00	kr/m	6,0	m	60	kr	30,00	kr/m2	IBE
(excl. levering og montering)	Ialt pr. modul				803	kr	401,60	kr/m2	

ETABLERING AF FLYDENDE LÅGKONSTRUKTION DIREKTE PÅ VANDOVERFLADEN

Sidelængde/areal:	110	m	12100	m2					
Elementer på langs	55,0	stk.							
Elementer på tværs	110,0	stk	6050	stk					
1. UDFØRELSE OG SAMLING AF LÅGMODULER	ENHEDSPRIS		MÆNGDER		PRIS IALT		PRIS PR. M2		BEMÆRKNINGER
Etablering og fjernelse af montageareal m.v.	200000	kr	1	stk	200000	kr	16,53	kr/m2	Anslået, NNR
Levering og transport af materialer m.v.	50	kr/m3	2662	m3	133100	kr	11,00	kr/m2	IBE/NNR
Materialer, lågmoduler	803	kr/stk	6050	stk	4859360	kr	401,60	kr/m2	IBE
Montage af lågmoduler	250	kr/h	3630	h	907500	kr	75,00	kr/m2	IBE
	Ialt:				6099960	kr	504,13	kr/m2	
2. FLADEISOLERING OG KANTAFDÆKNING M.V.									
Mineraluld, 200 mm terrænbatts (incl. 10% spild)	480,00	kr/m3	2662	m3	1277760	kr	105,60	kr/m2	IBE/Plastconsult
Transport af mineraluld	50,00	kr/m3	2788	m3	139392	kr	11,52	kr/m2	IBE/NNR
Montering af mineraluld	5,00	kr/m2	12100	m2	60500	kr	5,00	kr/m2	IBE
Topliner 1,5 m ud over kant, 1,0 mm PP	24,00	kr/m2	12769	m2	306456	kr	25,33	kr/m2	Plastconsult/IBE
Montering af topliner	15,00	kr/m2	12769	m2	191535	kr	15,83	kr/m2	Incl. udlægning, svejsning og kontrol
Tagrende, 5 stk á 110 m	65,00	kr/m	550	m	35750	kr	2,95	kr/m2	Anslået, NNR
Montering af tagrendesystem	250	kr/h	110	h	27500	kr	2,27	kr/m2	IBE
Kantafdækning (incl. 10% spild)									
PP-folie, 1,5 x 300 mm	52,00	kr/m2	145	m2	7550	kr	0,62	kr/m2	Incl. udlægning, svejsning og kontrol
Mineraluld, terrænbatts, 200 x 600 mm	480,00	kr/m3	126	m3	60403	kr	4,99	kr/m2	IBE
Klemprofiler	100,00	kr/m	440	m	44000	kr	3,64	kr/m2	IBE
Arbejdsløn	250	kr/h	880	h	220000	kr	18,18	kr/m2	IBE
	Ialt:				2370847	kr	195,94	kr/m2	
3. KOMPLETERING									
Siloelementer langs kant	190,00	kr/m	440	m	83600	kr	6,91	kr/m2	Anslået, NNR
Singles, 60 kg/m2	90,00	kr/m3	439	m3	39501	kr	3,26	kr/m2	Anslået, NNR
Udlægning af singles	10,00	kr/m2	11704	m2	117040	kr	9,67	kr/m2	Anslået, NNR
Fliser langs tagrender, 0,2 m2/m	24,00	kr/m	1100	m	26400	kr	2,18	kr/m2	Anslået, NNR
Fliser langs kant, 0,4 m2/m	48,00	kr/m	440	m	21120	kr	1,75	kr/m2	Anslået, NNR
Ventilation					150000	kr	12,40	kr/m2	Plastconsult
	Ialt:				437661	kr	36,17	kr/m2	
ANLÆGSARBEJDER IALT (pos. 1.-3.):					8908468	kr	736,24	kr/m2	(Kontrol: 736,24 kr/m2)
Drift af af byggeplads m.v.	5,00	% af	8908468	kr	445423	kr	36,81	kr/m2	Incl. leje af kran
Diverse og uforudsigelige udgifter:	10,00	% af	9353891	kr	935389	kr	77,30	kr/m2	
Detailprojektering	12,50	% af	1E 07	kr	1286160	kr	106,29	kr/m2	
FLYDENDE LÅGKONSTRUKTION IALT:					11575440	kr	956,65	kr/m2	

G:\SAG\07\183.01\IBELAAG1.WQ1

6 Varmeteknisk undersøgelse af løsningerne

6.1 Formålet med den varmetekniske undersøgelse

Som et led i projektet blev der på Institut for Bygninger og Energi gennemført varmetekniske undersøgelser af de fire løsningsforslag. Et af de væsentlige krav, der stilles til lågkonstruktioner til damvarmelagre er en god isoleringsevne, jfr. kapitel 2 "Funktionskrav til lågkonstruktioner". Formålet med de varmetekniske undersøgelser var derfor at skabe et grundlag for sammenligning af de frembragte løsningsforslag m.h.t. løsningernes varmetekniske egenskaber.

Da undersøgelserne blev gennemført sideløbende med projekteringen af lågkonstruktionerne, var det samtidigt muligt for de deltagende arbejdsgrupper at anvende undersøgelsens foreløbige resultater i udviklingsprocessen. Således blev alle forslag revideret indtil flere gange. Revisionen af løsningsforslagene var for en stor dels vedkommende - og det gælder især for NNR's løsning - baseret på de varmetekniske undersøgelser, der viste betydelige varmetab gennem lågkonstruktionen grundet kuldebroer, udformningen af kantkonstruktionen og materialevalg.

I det følgende refereres de væsentligste resultater af den varmetekniske undersøgelse. De detaljerede resultater samt beregningsforudsætningerne og de til beregningen anvendte modeller, fremgår af bilag 3 og /5/.

6.2 Resultater af varmetabsberegningerne

Varmetabsberegningerne blev gennemført v.h.a. beregningsprogrammet HEAT 2. Modelleringen af de omtalte konstruktioner er vanskeligt, såfremt der mellem dele af låget og vandoverfladen findes luft: På grund af de høje temperaturer på vandoverfladen eksisterer der et højt damptryk i lufthulrummet. En modellering af denne situation er med det benyttede værktøj umuligt. Det mest ekstreme tilfælde, hvor vanddampen kontinuerligt transporterer varme fra vandoverfladen til hele hulrummet, kan dog tilnærmelsesvis modelleres. Hvorvidt varmetransporten foregår på denne måde, er der delte meninger og erfaringer om. Under alle omstændigheder kan der ved denne metode bestemmes det størst tænkelige varmetab. For at give et indtryk af beregningsmetodens betydning angives resultaterne baseret på 3 forskellige forudsætninger:

- Stillestående, mættet luft ved 55°C i hulrummet ('Luft')
- Vand i hele hulrummet ('Vand')
- Højt damptryk i hele hulrummet ('Damp')

I beregningerne er der gået ud fra en gennemsnitsdriftssituation med en vandtemperatur i overfladen på 55 °C. Benyttelsen af gennemsnitsdriftssituation resulterer i værdier, der strengt taget kun er sammenlignelige med hinanden. Yderligere lægges der vægt på, at netop mellemrummenes temperaturafhængighed betyder, at varmetabet for konstrutionerne uden et modelleret hulrum mellem sektionerne kan blive undervurderet, hvis der i virkeligheden alligevel opstår hulrum mellem sektionerne. En udførlig beskrivelse af beregningsforudsætningerne findes i bilag 3A.

Resultaterne af varmetabsberegningerne er samlet i nedenstående tabeller. De mest interessante resultater er det samlede årlige varmetab (tabel 6.1) og størrelsen af kuldebroeffekterne (tabel 6.2). De detaljerede resultater fremgår af bilag 3C. De endelige løsningsforslag, som de er beskrevede i kapitel 4, er fremhævede. En beskrivelse af de tidligere versioner findes i bilag 3B og i /5/.

Tabel 6.1: Det årlige varmetab pr. m² og for hele låget (endelige løsningsforslag er fremhævede)

Løsningsforslag		Det årlige varmetab [kWh/m²]			[MWh]		
		Luft	Vand	Damp	Luft	Vand	Damp
Plastconsult	**1a**	38	38	38	463	463	463
	1b	41	41	41	502	502	500
NNR	**2.1a**	67	69	247	815	833	2984
	2.1b	64	64	142	772	778	1722
	2.1c	69	70	432	834	846	5222
	2.2+3a	62	63	108	753	758	1310
	2.2+3b	51	51	53	620	620	639
	2.4.2b	42	42	45	509	510	543
	2.4.2b mod.	46	46	54	559	561	650
IBE 1*)	**3a**	42	43	44	512	520	533
	3b	42	42	43	504	505	515
IBE 2)**	**4a**	42	44	53	509	529	640
	4b	43	45	52	519	543	626

*) Videreudvikling af IBE's forsøgslåg

**) Flerlagsløsning med små PP-kar

Ser man alene på de endelige løsningsforslag, er den varmeteknisk bedste løsning løsningsforslag nr. 1. Årsagen dertil er både den store isolans for den homogene konstruktion og fraværet af et luftrum mellem sektionerne. Dette betyder, at udeluften altid adskilles fra det varme vand med en tyk isolering, og den eneste kuldebro er plastiklineren, hvis varmeledningsevne kun er ca. 1% af ståls. Den varmeteknisk dårligste løsning er forslaget nr. 4, idet det årlige varmetab er op til 25% større end for løsning nr. 1. Dette skyldes især løsningens store antal samlinger mellem de meget små sektioner. Løsningsforslag nr. 3 har derimod kun et 0-3% større varmetab end løsningsforslag nr. 1. Heller ikke løsningsforslag nr. 2 har et betydeligt større varmetab

end løsning nr. 1 (1%), når der beregnes med luft hhv. vand i mellemrummet mellem sektionerne. Dog er der ved dette forslag et markant højere varmetab (10%) i den ekstreme situation med damp i mellemrummene.

Varmetabet uden kuldebroeffekter er proportionalt med varmeledningsevnen for isoleringsmaterialet og omvendt proportionalt med tykkelsen af isoleringen. Således kan en forøgelse eller reduktion af isoleringstykkelsen nemt ændre resultaterne, hvis kuldebroeffekterne er små. Størrelsen af kuldebroeffekterne ses i tabel 6.2.

Tabel 6.2: Størrelsen af varmetab grundet samlinger og kanten i.f.t. det samlede varmetab (endelige løsningsforslag er fremhævede)

Løsningsforslag nr.		Kuldebro-% af det samlede varmetab		
		Luft	Vand	Damp
Plastconsult	**1a**	2%	2%	2%
	1b	1%	1%	1%
NNR	**2.1a**	32%	33%	81%
	2.1b	28%	29%	68%
	2.1c	33%	34%	89%
	2.2+3a	26%	27%	58%
	2.2+3b	10%	10%	13%
	2.4.2b	1%	1%	7%
	2.4.2b (mod.)	10%	10%	22%
IBE 1*)	**3a**	3%	5%	7%
	3b	2%	2%	4%
IBE 2)**	**4a**	3%	6%	22%
	4b	4%	9%	21%

*) Videreudvikling af IBE's forsøgslåg

**) Flerlagsløsning med små PP-kar

Generelt har løsningsforslag 2 haft de største problemer med kuldebroer gennem udviklingsfasen. Problemet er blevet reduceret i de senere versioner og i det endelige forslag, hvor låget er konstrueret med delvis uafbrudt isolering. Årsagen til det store kuldebrovarmetab i de tidligere versioner af løsning nr. 2 er indkapslingen af isoleringen i rustfrit stål: De 0,5 mm tykke vertikale metalflader mellem modulerne er meget effektive varmeledere. Selv en kraftig punktisolering ovenpå samlingen har en ringe effekt, fordi varmen blot ledes gennem metallet videre væk fra samlingen.

Varmetabet grundet lågets kantkonstruktion er generelt lille i forhold til varmetabet gennem lågets samlinger (se bilag 3C). Selvom der ved løsninger 1, 2.4.2 b og 3 er et kanttab, der er større end tabet grundet samlinger, skyldes det ikke en varmeteknisk dårlig kantkonstruktion, men snarere en lågkonstruktion, hvor samlingerne mellem de enkelte moduler er velisolerede.

6.3 Konklusion på den varmetekniske undersøgelse

Under udviklingsarbejdet af lågkonstruktionerne er der foretaget en række teoretiske beregninger og simuleringer med henblik på at estimere det faktiske varmetab for de enkelte løsningsforslag. Resultaterne er angivet som et interval: Det mindst og det størst mulige varmetab. Blandt involverede i projektet er der enighed om, at det faktiske varmetab vil ligge tættest på det største mulige varmetab.

Varmetabet er bestemt for både de oprindelige og de endelige løsningsforslag: Den varmeteknisk bedste endelige løsning er forslag nr. 1 fra PlastConsult. Årsagen hertil er først og fremmest fraværet af et luftrum mellem sektionerne. Løsningsforslag nr. 3 har kun et 0-3% større varmetab end løsningsforslag nr. 1 og må derfor anses til at være lige så god som løsning nr. 1.

Løsning nr. 2 har i værste fald et 10% større varmetab end løsning nr. 1. Den varmeteknisk dårligste løsning, med et årligt varmetab, der er op til 25% større end for de andre løsninger, er løsning nr. 4. Disse forhold må tages i betragting ved en sammenligning af de fire løsninger m.h.t. etablerings- og driftsomkostninger af lågkonstruktionerne.

Varmetabet fra damvarmelagre gennem lågkonstruktionen kan minimeres ved at følge en eller flere af følgende retningslinier:

- vælg en stor isoleringstykkelse
- undgå selv meget tynde varmeledende indkapslingsmaterialer vertikalt i konstruktionen, især hvis de har termisk kontakt til store ledende flader på lågets overside
- minimer mængden af kuldebroer ved at vælge store sektioner
- undgå luftrum mellem de enkelte sektioner: plads til varmeudvidelse ved kanten
- etabler en størst mulig uafbrudt isoleringstykkelse over evt. luftrum.

7 Opsamling og anbefalinger

7.1 Opsamling

Formålet med UVE-projektet "Lågkonstruktioner til damvarmelagre - Fase II" var, på baggrund af de hidtidige erfaringer at udvikle to til tre løsninger til flydende lågkonstruktioner til damvarmelagre.

I starten af projektet blev der opstillet en liste over funktionskrav, som løsninger til lågkonstruktioner skal opfylde (kapitel 2). På baggrund af disse funktionskrav blev der udarbejdet fire løsningsforslag, der er beskrevet (kapitel 4) og prissat i detaljer (kapitel 5). Derudover blev der gennemført en varmeteknisk undersøgelse af løsningsforslagene (kapitel 6).

Løsningsforslagenes isolans samt de absolutte og relative priser og varmetab fremgår af tabel 7.1.

Tabel 7.1: Ottrupgård-lågkonceptets og løsningsforslagenes isolans samt de absolutte og relative priser og varmetab (Den billigste/varmeteknisk bedste løsning = 100%)

Nr.	Titel	Type	Isolans[1]	Priser[2]			Varmetab/år[3]	
			m^2K/W	kr./m^2	mio kr.	%	MWh	%
	Ottrupgård-lågkoncept	Stål	6,5	1.466	17,7	261	ikke beregnet	
1	Modulløsning af PP	Plast	10,3	561	6,8	100	500	100
2	Videreudv. af Ottrupgårdlåget	Stål	10,0	1.437	17,4	256	543	109
3	Videreudv. af IBE's forsøgslåg	Plast	10,3	668	8,1	119	515	103
4	Flerlagsløsning m. små PP-kar	Plast	10,3	955	11,6	170	626	125

[1] homogen isolans for lågelementerne uden kuldebroeffekt og kanttab
[2] pris/m^2 og totalpris for 100.000 m^3 lager; se også kapitel 5
[3] ved 'worst case', se også kapitel 6

Det ene løsningsforslag (nr. 2) er en videreudvikling af lågkonstruktionen fra pilotanlægget på Ottrupgård og repræsenterer en stålløsning, d.v.s. at isoleringen er beskyttet mod indtrængende lagervand og damp med en stålliner. De tre andre løsninger anvender derimod en plastmaterialer til dette formål.

Prissættelsen af løsningsforslagene har vist, at plastløsningerne generelt er billigere end stålløsningen og at stålløsningen er næsten tre gange så dyr som den billigste plastløsning. I prisen for stålløsningen indgår der dog en post for udgifter til en understøttende konstruktion (90 kr/m^2), hvilket ikke er tilfældet for de tre plastløsninger. Derudover kan stålløsningen tåle meget høje temperaturer i lagervandet over lang tid, hvilket ikke på nuværende tidspunkt kan garanteres for plastløsningerne.

Stålløsningen i løsningsforslag nr. 2 ligger på samme prisniveau som Ottrupgård-lågkonceptet men isolansen er væsentligt højere i løsningsforslag nr. 2 ($R \approx 10\ m^2K/W$) end ved Ottrupgård-låget ($R \approx 6,5\ m^2K/W$). Samtidig indeholder løsningsforslag nr. 2 en række forbedringer i.f.t. Ottrupgård-låget (fx sammensvejset bundliner, forbedret kantløsning osv.).

Den i prissættelsen opgivne maksimale, konstante vandtemperatur for plastlinere på 70 °C er anvendt m.h.p. anvendelsen af lågkonstruktionerne til andre formål som fx i varmeværkers buffertanke. I damvarmelagre vil man dog aldrig opleve en konstant høj temperatur men derimod temperaturer, der cyklisk varierer mellem ca. 30 og 95 °C. De anvendte plastmaterialer kan tåle forholdsvis høje temperaturer i kortere perioder og en evt. temperaturbegrænsning i lagervandet vil derfor, ved anvendelsen af lågkonstruktionerne til damvarmelagre, kun have begrænset indflydelse på lagereffektiviteten og energipriserne.

Det forventes, at en temperaturbegrænsning for plastløsningerne i fremtiden bliver unødvendigt, når plasttyper som fx PEX og PPO kan anvendes i lågkonstruktioner, som ikke kræver svejsning eller limning af lineren. Begge plasttyper har en høj varmebestandighed og bliver anvendt til formål hvor der stilles store krav til materialernes holdbarhed. Anvendelsen af PEX som liner i en lågkonstruktion er p.t. ikke muligt, da PEX ikke endnu bliver fremstillet som folie. PPO kan fås som folie eller plader, men er i dag ca. dobbelt så dyrt som PP og vil derfor øge omkostningerne for etablering af en lågkonstruktion voldsomt.

Varmetabsberegningerne har vist, at de varmeteknisk bedste løsninger er løsning nr. 1, "Modulløsning af PP", og løsning nr. 3, "Videreudvikling af IBE's forsøgslåg". Her blev det årlige varmetab gennem låget estimeret til hhv. 500 og 515 MWh/år. Løsning nr. 2, "Viderudvikling af Ottrupgård-låget" og løsning nr. 4 "Flerlagsløsning med små PP-kar" har et varmetab, der i værste fald er hhv. 10% og 25% større end for løsning nr. 1. Dette forhold må tages i betragting ved en sammenligning af de fire løsninger m.h.t. etablerings- og driftsomkostninger af lågkonstruktionerne.

7.2 Styregruppens anbefalinger

Lågkonstruktionen har tidligere vist sig som et af de problematiske punkter ved etablering af store damvarmelagre, såvel teknisk som økonomisk. Dette forhold blev i projketforløbet bekræftet, idet der selv efter et intensivt og koncenteret projekteringarbejde er mere eller mindre uafklarede detaljer, der kræver videreudvikling. Det er dog afgørende for udviklingen af store damvarmelagre at sikre, at de til lågkonstruktionen anvendte materialer og metoder kan leve op til de store fugt- og varmetekniske påvirkninger, som de er udsat for.

Alle fire løsninger - og især plastløsningerne - indeholder en del nytænkning, som kræver en afprøvning, der demonstrer hvorvidt løsningerne er/ikke er anvendelige. Derfor anbefaler projektets styregruppe, at der i forlængelse af dette projekt gennemføres en fase III, hvis formål er at undersøge prototyper af de beskrevne løsninger

m.h.t. deres funktionsdygtighed/anvendelighed m.h.p. efterfølgende konstruktion i stor skala (12.000 m^2). Ved afprøvningen skal der lægges vægt på undersøgelser af de anvendte materialers vand-/damptæthed, fugt- og vandindtrængning i isoleringen, lågenes bevægelser som følge af den termiske udvidelse og samlingernes egnethed. Derudover skal håndteringen og montagen af løsningerne vurderes m.h.t. tidsforbrug m.m. /9/

Projektet har yderligere vist, at plastløsninger er billigere end stålløsninger, men at den lavere pris fremkommer på bekostning af en vis usikkerhed m.h.t. plastmaterialers holdbarhed ved høje temperaturer over længere tid. Det er ønskeligt at kunne vurdere plastmaterialernes levetider under forskellige forhold og det anbefales derfor, at der igangsættes undersøgelser, der kan belyse problemstillingen. Samtidigt skal der gennemføres undersøgelser af, hvilken effekt en evt. temperaturbegrænsning ville have m.h.t. lagereffektiviteten, dækningsgraden o.s.v.

Referencer

/1/ Duer, K.: *Undersøgelse af lågkonstruktion til damvarmelager*, Rapport nr. 95-08, Laboratoriet for Varmeisolering, Danmarks Tekniske Universitet, 1995.

/2/ Heller, A.: *Investigation on Floating Lid Construction for Pit Water Storage - Ottrupgaard, Denmark*, Report R-010 1997, Department of Buildings and Energy, Technical University of Denmark, 1997.

/3/ Wesenberg, K. m.fl.: *Sol/Sæsonvarmelagre, Statusrapport - STORE LAGRE 4 - Lertætnet damvarmelager med flydende lågkonstruktion, status for udvikling*, Nellemann, Nielsen & Rauschenberger A/S, 1996.

/4/ IBE: Ansøgning til Energistyrelsens udviklingsprogram for vedvarende energi m.v. til projektet "Lågkonstruktioner til damvarmelagre - Fase II" af 21. maj 1997.

/5/ Peuhkuri, R. og Maureschat, G.: *Varmeteknisk undersøgelse af lågkonstruktioner til damvarmelagre*, Sagsrapport SR 9815, Institut for Bygninger og Energi, DTU, 1998.

/6/ Dansk Ingeniørforening: *Dansk Ingeniørforenings norm for sikkerhedsbestemmelser for konstruktioner (DS 409) og last på konstruktioner (DS 410)*, Normstyrelsens Publikationer NP-157-N, Teknisk Forlag, 1982.

/7/ Hansen, K. Kielsgaard, Hansen P. Nordgaard og Ussing, V: *Seasonal Heat Storage in Underground Warm Water Stores - Construction and Testing of a 500 m^3 Store*, Meddelelse nr. 134, Thermal Insulation Laboratory, Technical University of Denmark, 1983.

/8/ Ussing, V.: *Forsøgsborehulslager og ombygning af damvarmelager til gruslager*, Meddelelse nr. 219, Laboratoriet for Varmeisolering, Danmarks Tekniske Højskole, 1991.

/9/ IBE: Ansøgning til Energistyrelsens udviklingsprogram for vedvarende energi m.v. til projektet "Lågkonstruktioner til damvarmelagre - Fase III" af 18. maj 1998.

/10/ Munch, K. og Wesenberg, C.: *Rekonstruktion af Tubberupvængetanken - Udbedring af utæt lagertank med rustfri tyndpladeliner. Del 2: Bygning og idriftsættelse*, Nellemann, Nielsen & Rauschenberger A/S, 1998.

Bilag

Bilag 1: Udskrifter fra lågdatabasen

Bilag 2: Alternativer af løsningsforslag 1

Bilag 2A: Minimumsløsningen med en gennemgående bundliner

Bilag 2B: Modulløsning af PEX

Bilag 3: Resultater af den varmetekniske undersøgelse

Bilag 3A: Beregningsforudsætninger

Bilag 3B: Beskrivelse af de enkelte løsningsforslag

Bilag 3C: Detaljerede resultater af den varmetekniske undersøgelse

Bilag 1

Udskrifter fra
Lågdatabasen

Modulløsning af PP med løs isolering

ID:	36	Oprettet:	25-05-98
Titel:	Modulløsning af PP med løs isolering		
Kontakt:	Uffe Nielsen, PlastConsult	Telefon:	8622 0171
Adresse:	Ved Stranden 107, 8250 Egå	Telefax:	8622 0171
Sted:	Projektering	Land:	DK
Byggeår:	1998	Areal: 12.100	Pris/ m2: kr 561.00

☒ Flydende ☐ Metal ☐ En sektion ☒ Homogen isolering

☐ Statisk ☒ Plast ☒ Flere sektioner ☐ Flere isolag

Princip: Låget består af store moduler på 108,2 x 6,0 m. Modulerne er opbygget af bukket PP liner, der er fyldt med mineraluld-terrænbats og lukket foroven med PP liner. Låget bliver tynget med singles, der belaster låget ujævnt m.h.t. afvandingen af låget. Kantløsningen er udformet med kileformede banketter, der ligger tæt til dammens liner. Løsningen kræver ingen randkonstruktion med lodrette vægge.

Sikkerhed: Konstruktionen opfylder kravene til tagkonstruktioner jvf. DS 409 og 410. Der er ikke nogen understøttende konstruktion. Ved en katastrofetømningg af lageret vil modulerne lægge sig på bunden af lageret.

☐ Understøttet **Princip:**

Montage: Alle delkomponenter tildannnes på byggepladsen ved det ene hjørne af lageret og trækkes frem efterhånden som de færdiggøres. Se beskrivelsen af udførelsen i bilag 1.

Garanti: ___ år **Omfatter:**

Garanti: ___ år **Omfatter:**

Topliner: PP-tagfolie 1 mm **Bundliner:** PP-liner 1,5 mm

Isolering: Materiale:	Lambda:	Tykkelse:	Isolans:
Mineraluld 39	0.039	0.4	10.25641026
(...)	1	0	0
(...)	1	0	0
	Total:	0.4	10.25641026

Temperatur: **Max. korttids:** > 100 C **Max. langtids:** 70-80 C

Modulløsning af PP med løs isolering

ID:	36	Oprettet:	25-05-98
Titel:	Modulløsning af PP med løs isolering		
Kontakt:	Uffe Nielsen, PlastConsult	Telefon:	8622 0171
Adresse:	Ved Stranden 107, 8250 Egå	Telefax:	8622 0171
Sted:	Projektering	Land:	DK
Byggeår:	1998	Areal: 12.100	Pris/ m2: kr 561.00

Miljørelationer: Løsningen har en god miljøprofil idet alle materialer kan genbruges og ikke afgiver farlige stoffer ved evt. destruktion.

Æstetik: Modulerne vil sammen med singlesdækningen give en et billede af en robust og rolig konstruktion.

Sek anvendelse: Store solfangere som HT-solfangere vil kunne placeres på låget.

Fordele: Lav pris i.f.t. andre løsninger

Kileformet kantløsning unødvendiggør lodrette vægge i lagerkanten

Store sektioner - få samlinger

Gode varmetekniske egenskaber - få kuldebroer, lille varmetab

Særlige probl.: Kileformet kantløsning skal demonstreres m.h.t. funktionsdygtighed

Tvivl omkring stabiliteten af de store sektioner under opbygningen af låget

Ingen understøttende konstruktion

Bilag: 1) Beskrivelsen af udførelsen af låget

2) Skitser

3) Prissættelse

Referencer: Maureschat, G (red.): Udvikling af flydende lågkonstruktioner..., Rapport R-23 1

Videreudvikling af Ottrupgård-låget (løsning 4.2)

ID:	37	Oprettet:	25-05-98
Titel:	Videreudvikling af Ottrupgård-låget (løsning 4.2)		
Kontakt:	Carsten Wesenberg, NNR a/s	Telefon:	9818 1344
Adresse:	Digtervejen 11, 9200 Aalborg	Telefax:	9818 3328
Sted:	Projektering	Land:	DK
Byggeår:	1998	Areal: 12.100	Pris/ m2: kr 1,437.00

☒ Flydende ☒ Metal ☒ En sektion ☐ Homogen isolering

☐ Statisk ☐ Plast ☐ Flere sektioner ☒ Flere isolag

Princip: Videreudvikling af Ottrupgård-låget med stålindkapslet PUR-skum i det nederste lag og mineraluld-terrænbats i det øverste lag. Låget afsluttes foroven med en PP-tagfolie og tynges med singles og betonfliser. Låget er understøttet med en søjle-bjælke konstruktion.

Sikkerhed: Opfylder kravene til tagkonstruktioner jvf. DS 409 og 410.

☒ **Understøttet** **Princip:** Søjle-bjælke konstruktion i stål

Montage: Sandwichelementerne udlægges på en søjle-bjælke konstruktion og samles i forbandt. Fugerne tætnes midlertidigt med ID-bånd hvorefter overfladen er vandtæt som et fladt tag. I en stabil tørvejrsperiode fritlægges og sammensvejses bundpladesamlingerne med sømsvejsemaskine. Krydssamlinger TIG-svejses på en løs 1,5 mm RS-plade og samlingerne dækkes ved genmontering af de tidligere fjernede elementdele. Fugerne dækkes med ID-bånd. Herefter udlægges mineraluld, som afdækkes med tagfolie, fliser og singles.

Garanti: [ ] år **Omfatter:**

Garanti: [ ] år **Omfatter:**

Topliner: PP-tagfolie 1 mm **Bundliner:** Tyndpladeliner RS 0,5 mm (AISI

Isolering: Materiale:	Lambda:	Tykkelse:	Isolans:
PUR-frostpanel	0.028	0.1	3.571428571
Mineraluld 39	0.039	0.25	6.410256410
(...)	1	0	0
	Total:	0.35	9.981684982

Temperatur: **Max. korttids:** > 100 C **Max. langtids:** > 100 C

Videreudvikling af Ottrupgård-låget (løsning 4.2) 2

ID:	37	Oprettet:	25-05-98
Titel:	Videreudvikling af Ottrupgård-låget (løsning 4.2)		
Kontakt:	Carsten Wesenberg, NNR a/s	Telefon:	9818 1344
Adresse:	Digtervejen 11, 9200 Aalborg	Telefax:	9818 3328
Sted:	Projektering	Land:	DK
Byggeår:	1998	Areal: 12.100	Pris/ m2: kr 1,437.00

Miljørelationer: Løsningen har en god miljøprofil idet sandwichelementerne kan genbruges ved produktion af frysehuselementer m.v. Øvrige materialer kan genbruges.

Æstetik: Lågets afdækning med tagfolie, fliser og singles vil fremtræde som et fladt tag.

Sek anvendelse: Den flydende lågkonstruktion kan befærdes som et tag. Med en forstærket understøtning vil der kunne opstilles store solfangermoduler på låget.

Fordele: Låget kan klare 95 C konstant driftstemp. i over 20 år

Lågbund er 100% damptæt, fleksibel og robust rustfri stålliner

Låget kan bygges udenvand i lageret og færdiggøres fra oven

Lageret kan tømmes for vand, uden at låget ødelægges

Særlige probl.: Lågprisen er høj

Samlingen af lågets rustfri bundliner er under vand i en driftssituation

Ingen sektionsopdeling af låget

Bilag: 1) Skitser

2) Beskrivelse af montagen

3) Prisberegning

Referencer: Maureschat, G (red.): Udvikling af flydende lågkonstruktioner..., Rapport R-23 1

Videreudvikling af IBE's forsøgslåg

ID:	38	Oprettet:	26-05-98
Titel:	Videreudvikling af IBE's forsøgslåg		
Kontakt:	Karsten Duer, IBE	Telefon:	4525 1867
Adresse:	DTU, Bygning 118, 2800 Lyngby	Telefax:	4593 4430
Sted:	Projektering	Land:	DK
Byggeår:	1998	Areal: 12.100	Pris/ m2: kr 668.00

☒ Flydende ☐ Metal ☐ En sektion ☒ Homogen isolering

☐ Statisk ☒ Plast ☒ Flere sektioner ☐ Flere isolag

Princip: Videreudvikling af IBE's forsøgslåg. Låget består af store sektioner på 22 x 22 m, der bliver opbygget i en tørdok. Samlingen af sektionerne til hinanden foregår v.h.a. ståltagrender på den ene led og stålblik på den anden led. Konstruktionen er dækket med tagfolie og tynget med betonfliser og singles.

Sikkerhed: Opfylder kravene til tagkonstruktioner jvf. DS 409 og 410. Ingen understøtning. Ved katastrofetømning af lageret lægger sektionerne sig på siderne og bunden af lageret.

☐ Understøttet **Princip:**

Montage: Bundlineren udlægges i tørdok. Isoleringen opbygges ovenpå og lineren foldes og sammensvejses op langs siderne af sektionen. Langs sektionernes kant indbygges foroven en ramme af træplader til fastgørelse af forskellige emner. Sektionen dækkes med tagfolie og singles. Herefter trækkes sektionerne ud på vandet og samles til hinanden v.h.a. tagrender og samleblik, som skrues på træpladerne. Herved fastklemmes bundlineren mellem træpladen og tagrender/samleblik. Tagfolien tapes til tagrenderne og der lægges en række fliser langs med renderne. Til sidst etableres

Garanti: år **Omfatter:**

Garanti: år **Omfatter:**

Topliner: PP-tagfolie 1 mm **Bundliner:** PP-folie 1,5 mm

Isolering: Materiale:	Lambda:	Tykkelse:	Isolans:
Mineraluld 39	0.039	0.4	10.25641026
(...)	1	0	0
(...)	1	0	0
	Total:	0.4	10.25641026

Temperatur: **Max. korttids:** > 100 C **Max. langtids:** 70-80 C

Videreudvikling af IBE's forsøgslåg

ID:	38	Oprettet:	26-05-98
Titel:	Videreudvikling af IBE's forsøgslåg		
Kontakt:	Karsten Duer, IBE	Telefon:	4525 1867
Adresse:	DTU, Bygning 118, 2800 Lyngby	Telefax:	4593 4430
Sted:	Projektering	Land:	DK
Byggeår:	1998	Areal: 12.100	Pris/ m2: kr 668.00

Miljørelationer: Løsningen har en god miljøprofil idet alle materialer kan genbruges og ikke afgiver farlige stoffer ved drift og evt. destruktion.

Æstetik: Låget afsluttes foroven med singles og integrerede rækker af betonfliser og fremstår som et fladt tag. Betonfliserækkerne skal ligge langs med tagrenderne for hver 22. meter men kan ellers udlægges i forskellige mønstre.

Sek anvendelse: P.g.a. manglende understøtning er der af sikkerhedshensyn ikke mulighed for sekundære anvendelser, hvor mennesker skal færdes på låget. Låget er konstrueret således, at det udover egenvægten og evt. snelast kan belastes med ca. 100 kg/m2, hvilket giver mulighed for beplantning, placering af solfangere o.s.v. Dette forudsætter dog, at der bliver kompenseret for vandstandsstigning som følge af opvarmning.

Fordele: Billig løsning

Forholdsvis store sektioner - få samlinger (kuldebroer)

Afprøvet samlemetode (tørdok)

Særlige probl.: Levetiden af PP-lineren er ukendt ved høje temperaturer over lang tid

Ingen understøtning (katastrofetømning!)

Bilag: 1) Skitser

2) Prisberegning

Referencer: Maureschat, G (red.): Udvikling af flydende lågkonstruktioner..., Rapport R-23 1

Flerlagsløsning med små PP-kar

ID:	39	Oprettet:	26-05-98
Titel:	Flerlagsløsning med små PP-kar		
Kontakt:	Karsten Duer, IBE	Telefon:	4525 1867
Adresse:	DTU, Bygning 118, 2800 Lyngby	Telefax:	4593 4430
Sted:	Projektering	Land:	DK
Byggeår:	1998	Areal:	12.100
		Pris/ m2:	kr 957.00

☒ Flydende ☐ Metal ☐ En sektion ☒ Homogen isolering
☐ Statisk ☒ Plast ☒ Flere sektioner ☐ Flere isolag

Princip: Låg, opbygget af flere lag med forskellige funktioner. Låget er opbygget af et nedre isoleringslag af mineraluld-fyldte PP-kar og et øvre isoleringslag af ubeskyttet isolering. Konstruktionen er dækket med tagfolie og tynget med betonfliser og singles.

Sikkerhed: Opfylder kravene til tagkonstruktioner jvf. DS 409 og 410. Ingen understøtning. Ved katastrofetømning af lageret lægger sektionerne sig på siderne og bunden af lageret.

☐ **Understøttet** **Princip:**

Montage: Karrene samles på fabrikken til sektioner på 2 x 10 m. tætningen mellem karrene opnås ved anvendelse af siliconegummi-profiler. Sektionerne udbringes på vandet og samles til hinanden. Herpå etableres løbende det øvre isoleringslag regnfrakken og singles i 22 m brede baner. Tagrenderne etableres på den ene led for hver 22'nde meter. Til sidst etableres kantkonstruktionen.

Garanti: år **Omfatter:**
Garanti: år **Omfatter:**

Topliner: PP-tagfolie 1 mm **Bundliner:** Vakuumformede PP-kar 4 mm

Isolering: Materiale:	Lambda:	Tykkelse:	Isolans:
Mineraluld 39	0.039	0.2	5.128205128
Mineraluld 39	0.039	0.2	5.128205128
(...)	1	0	0
	Total:	0.4	10.25641026

Temperatur: **Max. korttids:** > 100 C **Max. langtids:** 70-80 C

Flerlagsløsning med små PP-kar

ID:	39	Oprettet:	26-05-98
Titel:	Flerlagsløsning med små PP-kar		
Kontakt:	Karsten Duer, IBE	Telefon:	4525 1867
Adresse:	DTU, Bygning 118, 2800 Lyngby	Telefax:	4593 4430
Sted:	Projektering	Land:	DK
Byggeår:	1998	Areal: 12.100	Pris/ m2: kr 957.00

Miljørelationer: Løsningen har en god miljøprofil idet alle materialer kan genbruges og ikke afgiver farlige stoffer ved drift og evt. destruktion.

Æstetik: Låget afsluttes foroven med singles og integrerede rækker af betonfliser og fremstår som et fladt tag. Betonfliserækkerne skal ligge langs med tagrenderne for hver 22. meter men kan ellers udlægges i forskellige mønstre.

Sek anvendelse: P.g.a. manglende understøtning er der af sikkerhedshensyn ikke mulighed for sekundære anvendelser, hvor mennesker skal færdes på låget. Låget er konstrueret således, at det udover egenvægten og evt. snelast kan belastes med ca. 100 kg/m2, hvilket giver mulighed for beplantning, placering af solfangere o.s.v. Dette forudsætter dog, at der bliver kompenseret for vandstandsstigning som følge af opvarmning.

Fordele: Lagdelt konstruktion med inddeling i mange sektioner

Nem håndtering af de små lågkomponenter

Særlige probl.: Forholdsvis dyr plastløsning

Tætningen af samlingen mellem PP-karrene skal afklares

Vanskelig kantkonstruktion

Mange samlinger i det nedre lag - kuldebroer

Bilag: 1) Skitser

2) Prisberegning

Referencer: Maureschat, G (red.): Udvikling af flydende lågkonstruktioner..., Rapport R-23 1

Bilag 2

Alternativer af løsningsforslag 1

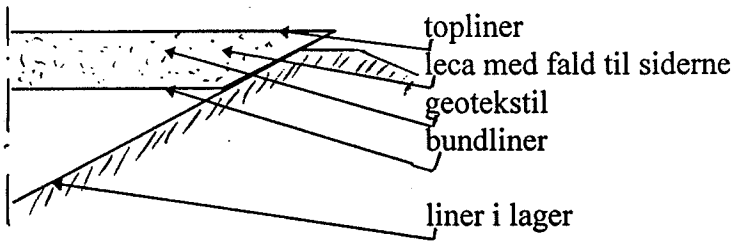
2A: Minimumsløsningen med en gennemgående bundliner

2B: Modulløsning af PEX

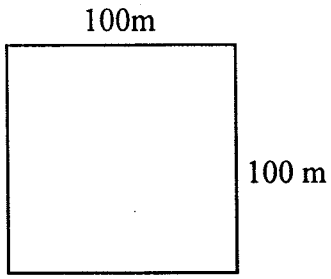
Skitseprojekt af lågkonstruktion til damvarmelager
Én stor liner og løs isolering

OPBYGNING

Låget opbygges af én stor bundliner af 1,5 mm PP opbukket i kanterne til anlæg mod damlagerets sider, så der dannes et trug. Der ifyldes isolering af løs leca og der afdækkes med én stor topliner. Den løse isolering stabiliseres ved indlægning af et eller flere lag geotekstil.



Ydermålene er 100 x 100 m og isoleringen udlægges med en tykkelse på 50 til 70 cm, så der bliver fald mod lågets kanter.



Der tages udgangspunkt i et damvarmelager med anlæg 1:2, hvor bundlineren føres lige igennem til lagerets top. Det er uden stiv randkonstruktion, så lågets kanter ligger tæt ned mod lagerets bundliner.

Linerbanerne sammensvejses med en dobbeltsvejsning, der kan trykprøves og senere udnyttes ved tilstandskontrol af svejsningerne.

DESIGN

Overfladen kan vælges blandt tagfolier, der er designet til tagkonstruktioner.

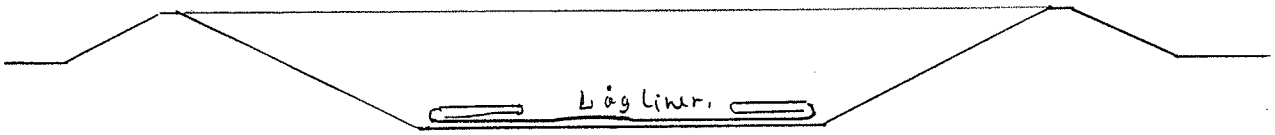
Det færdige låg vil virke som en robust og rolig konstruktion. Når konstruktionen har konsolideret sig, vil personer, der går på låget med stor sandsynlighed opleve det som at have fast grund under fødderne. Store solfangere som HT-solfangere vil kunne pladseres på låget.

Løsningen har en god miljøprofil.

UDFØRELSE

Bundlineren laves på pladsen udfra ruller af PP-liner med bredden 10,5 m og en længde på 101 m. Hver rulle vejer 1500 kg. Med de svejseprocedurer man har i dag vil svejsning og kvalitetssikring uden videre kunne udføres med det nødvendige høje kvalitetsniveau.

Håndtering af den store linerflade må betragtes som en særlig problemstilling. Linerfladen kan eksempelvis laves med dammens færdigsvejste bundmembran som underlag. Når den udføres i tre lag eller som vist herunder, vil den kunne sammensvejses uden at den kommer ud i området med dammens hjørnelinier.



Linermaterialets vægtfylde er o,90 og vil således flyde oven på en vandoverflade. Når der efterfølgende fyldes vand i dammen vil den derfor følge med op og lægge sig i vandoverfladen. Når dammen er fyldt op med vand trækkes linerfladerne ud. Opbukning i de fire hjørner sker ved foldning af lineren uden at den brydes. Eventuelle vandmængder pumpes væk fra linerens overflade.

Når lineren er positioneret og fikseret korrekt i forhold til dammen, ifyldes der leca med en byggekran. Der udlægges minimum ét lag geotekstil for at stabilisere den løse leca.

Lecaen vibreres og afrettes med størst tykkelse på midten, for at opnå en pilhøjde, så låget kan afvandes.. Afretning sker med laser og formen af den endelige overflade etableres med metoder fra vejbygning.. Der gøres en særlig indsats for at den færdige flade får den fastlagte form og planhed.

Toplineren er sammensvejset på fabrik i størst mulige sektioner. Sektionerne sammensvejses til én stor liner på lecaoverfladen stabiliseret med geotekstil.

PRISOVERSLAG

Priser for låg i kr/m^2.

Bundliner	50
Leca	150
Geotekstiler	30
Topliner	40
Udlægning	20
IALT	290 kr/m^2

Samlet pris pr. m^2 låg : 250-350 kr.

Der vil endvidere være besparelser, ved at dammen udføres uden randfundamenter og støttekonstruktion for låg.

FUNKTION

Fugtstyring sker ved udluftning med tør natteluft med tvungen ventilation i laget over den øverste geotekstil.

Varmeudvidelsen er bestemt af isoleringsmaterialet, der har lille varmeudvidelseskoefficient. Varmeudvidelsen i plastfolien optages ved foldninger i overfladen.

Afvanding klares med en lille pilhøjde over hele lågfladen og et større fald på de sidste 1,5 m langs lågets kanter. Lågets kanter afsluttes i et niveau over damlagerets top, så der bliver naturlig afledning ud over lagerkanten - evt. til rende.

Tilstandsvurdering kan ske ved fugtighedsmålinger af luft fra låget. Der ventes ikke problemer med utætte svejsninger. Men utætheder vil let kunne lokaliseres ved trykprøvning af kanalen mellem de to svejsninger

Ved tømning af lager lægger låget sig på bundlineren. Ved genfyldning af lageret ventes der ikke væsentlige blivende ændringer i lågets overflade. Det kan i værste fald blive nødvendigt med en ny udjævning af overfladen.

Vedligeholdelse og servicering ventes ikke nødvendig. I givet fald vil eventuelle skader kunne udbedres fra lågets top.

Maksimumstemperatur over 100 °C.

Maksimal driftstemperatur over længere perioder: 70-90 °C.

Levetid fra xx til xx år afhængig af temperaturbelastningen.

SÆRLIGE FORHOLD

Problemområder

- Utraditionel konstruktion, der for udenforstående umiddelbart kan virke usikker.
- Håndtering af de store linerflader.

Udviklingsbehov

- Design af kantløsning.
- Pakningsforsøg i fuldskalamodel.

Stærke sider

- Optimal konstruktion hvis den begrænsede temperaturbelastning er uden betydning.
- Optimal pris.
- Ingen kuldebroer.
- Ukritiske samlinger, der er lette at tilstandsvurdere og i givet fald reparere oppe fra.
- Billigere og simplere damkonstruktion uden støttekonstruktion og randfundamenter.
- Effektivt damareal svarende til lågarealet.
- Let kvalitetsstyring.
- God miljøprofil.
- Det samlede lagerkoncept bliver væsentligt billigere og mindre kompliceret.

Egå d. 27/2-98

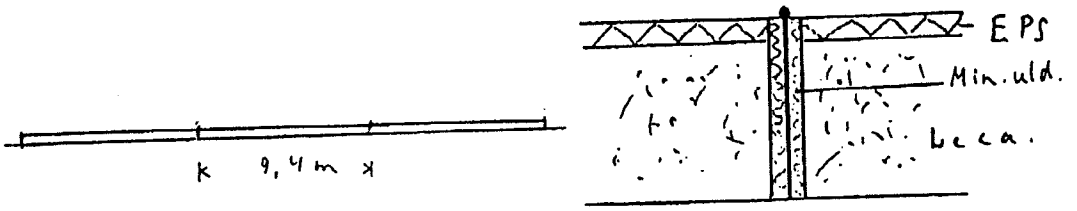
Uffe Dan Nielsen

Skitseprojekt af lågkonstruktion til damvarmelager

Modulløsning af PEX med løs isolering

OPBYGNING

Lågkonstruktionen består af moduler af 2 mm PEX, der ved udlægning på vandet danner et kasseformet tværsnit på 0,5 x 9,4 m og en længde på 97 m. 1. Hulrummet udfyldes med løs isolering. Der tages udgangspunkt i en løsning baseret på leca med stive mineraluldsbats langs siderne og EPS-plader under toplineren.



Tætning og samling af modulerne sker med et klemprofil over vandlinien i den kolde zone.



Kantløsning klares ved at modulerne afsluttes med et anlæg svarende til damvarmelagerets bund og sidekanterne afsluttes med to kileformede specialmoduler, der ligger tæt til lagerets liner. Der tages udgangspunkt i et damvarmelager uden en stiv randkonstruktion, der må betragtes som problemskabende for en tæt bundliner i lageret.



Tildannelsen af foliedelene sker ved varmbukning, så kasse og overfolie kan lynes sammen.

Udlægning på vandet sker som udrulning af tæppe på et svømmebassin.

DESIGN

Overfladen kan vælges blandt tagfolier, der er designet til tagkonstruktioner. Samleprofiler vil kunne vælges i forskellige farver.

Modulerne, der laves med pilhøjde vil sammen med samleprofilerne give et billede af en robust og rolig konstruktion. Når konstruktionen har konsolideret sig, vil personer,

der går på låget med stor sandsynlighed opleve det som at have fast grund under fødderne. Store solfangere som HT-solfangere vil kunne pladseres på låget.

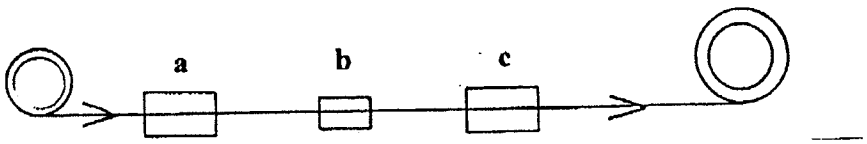
Løsningen har en god miljøprofil.

PRODUKTION

PEX-linere kan produceres med det produktionsudstyr der anvendes til produktion af geomembraner af PEH, suppleret af en metode til krydsbinding af PEH til PEX.

Et modul laves udfra to ruller liner med bredden 10,5 m og en længde på 98 m - én til bundkassen og én til topdækning. Hver rulle vejer 2000 kg.

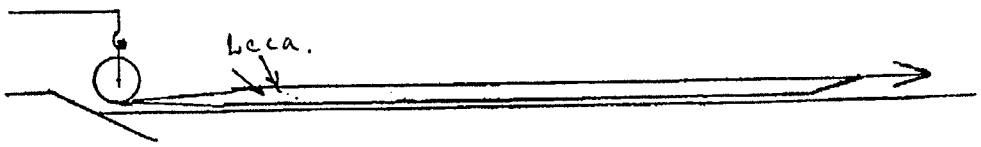
I produktionslinien, der er opbygget af ukomplicerede komponenter, sker der først en opvarmning **a**, herefter en bukning **b** og til sidst en køling **c** i en kontinuerlig proces. Elementdelen spoles herefter op på den anden side af linien. Der startes og afsluttes med en endeafslutning, der også udføres ved en simpel bukkeproces.



Tildanningen af modulerne må som udgangspunkt ske på fabrik; men kan meget vel tænkes etableret i et telt ved udlægningsstedet. Der er tale om en ukritisk proces, hvor kvalitetssikringen består i en visuel kontrol og et tjek af målene på profilet.

UDLÆGNING

Udlægning kan ske direkte fra kranbil med rullen hængende i et åg. For at give en midlertidig stabilisering påfyldes der leca fra to lastbiler samtidig med udrulningen.



Kassens side fikseres herefter til naboelementet med et midlertidigt samleprofil. Når alle bundsektioner er udlagt opsættes stive mineraluldsbats langs siderne. Kassemodulerne fikseres til en "målfast konstruktion" udfra mål svarende til +10 °C for bundliner og -10 °C for toplineren. Leca påfyldes i lag og vibreres for at opnå en ensartet fyldning. Lecaen afrettes med mindst tykkelse på midten, for med en mindre vægt at opnå en pilhøjde i sektionens længderetning. Afretning sker med laser og formen af den endelige overflade etableres med metoder fra vejbygning. Der afsluttes med plader af EPS. Eventuelt udskåret med fald som ved tagisolering ti flade tage. Der gøres en særlig indsats for at den færdige flade får den fastlagte form og planhed.

Topliner udrulles fra kranvogn og fastlynes til bundkassen.

Samleprofiler monteres med en specialmaskine, der er opbygget udfra en selvkørende foliesvejsemaskine. Samleprofilet består af et PEX-rør, der efter opvarmning opskæres, åbnes og krænges ned over elementkanterne. Under afkølingen af profilet vil der opstå store trækspændinger indvendig i rørprofilet, der vil give en blivende sammenpresning af fladerne i samlingen. Sammenpresningstrykket kan varieres ved at tilføre mere eller mindre varme til rørets inderside.

PRISOVERSLAG

Priser for låg i kr/m^2.

Materialer: *Detailpriser*	kr.
2 linere (10,5:9,4) x 48,10 x 2	107,44
Rockwool i sider (1:9,4) x 27,50	2,92
75 mm EPS	38,00
Leca udblæst 0,42 x 280	117,60
MATERIALER I ALT	265,96

SAMLET PRIS	kr
Materialer	266
Tildanning af linere	10
Udlægning af linere	20
Klemsamlinger og lænsebrønde	11
Udlægning af Rockwool og EPS, og vibrering og afretning af leca	93
I ALT	400

Samlet pris pr. m^2 låg : 400 - 600 kr.

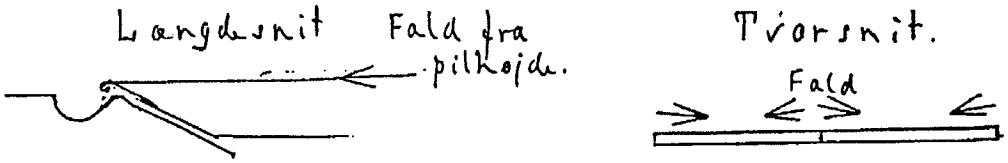
FUNKTION

Fugtstyring sker ved udluftning med tør natteluft med tvungen ventilation gennem tilslutninger i elementernes ender. *Der kan senere arbejdes videre med løsninger med naturlig ventilation eller konstruktioner, hvor vanddiffusionen gennem toplineren er større end gennem bundlineren.*

Varmeudvidelsen er bestemt af isoleringsmaterialet, der har lille varmeudvidelseskoefficient. Varmeudvidelsen i plastfolien optages ved foldninger i overfladen. Varmeudvidelsen af samleprofilerne optages ved at der med passende afstand - eksempelvis 10 m - laves ekspansionsmulighed i profilet med fræsespor fra siderne.



Afvanding klares med lettere isolering på midten i længderetningen, så modulerne får en pilhøjde. På tværs af modulet laves der fald mod modulets midte. Ved modulets ender afledes vandet til en rende.



Tilstandsvurdering vil ud over en visuel registrering af modulernes flydehøjde kunne ske ved fugtighedsmålinger af luft fra modulerne.

Ved tømning af lager lægger sektionerne sig på bundlineren. Låget kan eventuelt trækkes op før tømning af lager

Vedligeholdelse og servicering ventes ikke nødvendig. I givet fald vil eventuelle fejl i et modul kunne udbedres fra modulets top. Udskiftning af et lågmodul vil kunne ske medens lageret er i drift. Modulet tømmes for isolering, bundlineren trækkes op, ny liner flådes ud og isoleringen fyldes i igen.

Maksimumstemperatur over 100 °C.

Levetid fra 20 til 100 år afhængig af temperaturbelastningen.

SÆRLIGE FORHOLD

Problemområder

- Utraditionel konstruktion, der for udenforstående umiddelbart kan virke usikker
- Håndtering af de store linerflader. De første låg laves ud fra linere med en bredde på 6,86 m, så der opnås en modulbredde på 5,8 m
- PEX-linere er ikke umiddelbart tilgængelige på markedet. PP og PEH kan anvendes i udviklingsforløbet
- Hvad sker der, hvis lageret tømmes hurtigt uden varsel

Udviklingsbehov

- Design af kantløsning
- Kantløsning skal trimmes ind
- Pakningsforsøg i fuldskalamodel
- Udvikling af metode og udstyr til klemsamling
- Udstyr til kantbukning af linere
- Konstruktionsdetaljer

Stærke sider

- Tæt på den optimale konstruktion
- Tæt på den optimale pris. Liner og grundkonstruktion koster 160 kr/m^2
- Sektionsopdelt med lille antal samlinger og svage kuldebroer
- Ukritiske samlinger. Ingen svejse- eller limesamlinger
- Ingen samlinger under vand
- Billigere og simplere damkonstruktion hvor støttekonstruktion og randfundamenter udelades
- Effektivt damareal svarende til lågarealet
- Let kvalitetsstyring
- God miljøprofil

Egå d. 1/12-97

Uffe Dan Nielsen

BILAG TIL
Skitseprojekt af lågkonstruktion til damvarmelager
Modulløsning af PEX med løs isolering

Bearbejdning af problemområder:
Idet der tages udgangspunkt i det foranstående som en helhed, vil løsningsmuligheder for de enkelte problemområder efterfølgende blive behandlet hver for sig.

Termisk ekspansion
En væsentlig del af grundidéen er, at der opbygges en konstruktion, hvor isoleringsmaterialet er bestemmende for de termiske udvidelser og sammentrækninger, samt at isoleringsmaterialet er "løst", så forskelle i termiske ekspansioner i isolering og liner ikke koncentreres.

Det kræver en dyberegående detailprojektering med beregning og vurdering af de termiske deformationer, som det kendes fra konstruktion af plastløsninger.

En anden løsning kan være at lade et plastbaseret isoleringsmateriale være bestemmende for varmeudvidelsen og tage højde for de termiske deformationer, der hvor de koncentreres.

Kantløsning
Kantløsningen er en nykonstruktion, hvor der ikke umiddelbart kan overføres løsninger fra eksisterende produkter.

Løsningsproblematikkerne er imidlertid lette at overskue og bearbejde. Så der skønnes ikke at være uløselige problemstillinger her.

Det vurderes, at der skal bruges en del ressourcer på at trimme kantløsningen ind gennem beregninger og modelforsøg. Idet en god kantløsning vil gøre hele produktet simpelt.

Tømning af lager
Hvis lageret tømmes enten planlagt eller utilsigtet kan de lecafyldte moduler få blivende deformationer.

Behovet for at kunne håndtere denne problemstilling afhænger ud over de tekniske løsningsmuligheder af hvor stor risiko der er for at lageret skal tømmes samt omkostningerne ved at rette konstruktionen op efter en genfyldning af lageret.

Da der ikke umiddelbart ligger nogen god teknisk løsningsmulighed, der harmonerer med det enkle koncept, arbejdes der indtil videre med det oprindelige koncept. Tekniske og økonomiske konsekvenser undersøges, samtidig med at der foretages enkle forholdsregler for at opnå et styret deformationsforløb og mindske konsekvenserne ved en lagertømning.

En løsning med opdeling af låget i fire sektioner efter diagonalerne et skitseret. En løsning kan også vise sig fra et af de andre lågprojekter uden understøtninger.

Gode løsningsforslag er velkomne!

Fremskaffelse af PEX-linere
PEX-linere kan produceres med det produktionsudstyr der anvendes til produktion af geomembraner af PEH, suppleret af en metode til krydsbinding af PEH til PEX. Der findes forskelligartede metoder til krydsbinding af PEH som eksempelvis bestråling og forskellige kemiske processer. Der er altså ingen tekniske barrierer for en PEX-løsning. Alligevel kan det blive en tung opgave at fremskaffe de ønskede linere. Det afhænger af, om der i forvejen produceres PEX-linere til andre formål. Hvis ikke kan der være lang vej til etablering af en produktion. Det kender vi fra søgningen efter PP-linere.

Der er igangsat en søgning efter PEX-linere gennem leverandører af geomembraner. Der bør igangsættes en bredere og mere intensiv søgning snarest, fordi tidsforløbet kan være langt og tingene skal modnes i branchen. Der kan således meget vel gå et par år, før det, der sættes igang nu, vil bære frugt.

På grund af den usikre tidshorisont kan man, hvis der ikke findes eksisterende produkter i første omgang, lige så godt starte udviklingsforløbet med andre materialer som PEH - det opfører sig næsten som PEX i forbindelse med håndtering - og PP - det har en relativ god langtidsholdbarhed ved de store temperaturbelastninger.

Håndtering af folieemner
Håndtering af folieemner med en vægt på 1 ton vil kræve særligt udstyr og de 1,5 til 2,0 mm tykke flader vil virke som plader eller folier - afhængig af materialets stivhed og fladens udbredelse.

Der skønnes ikke at være uløselige eller tunge problemstillinger her. Løsningerne vil kunne bearbejdes når man får tingene i hånden. Altså simple modeller og forsøg.

Egå d.1/12-97

Uffe Dan Nielsen

Bilag 3

Varmetekniske undersøgelser

3A: Beregningsforudsætninger

3B: Beskrivelse af løsningsforslag

3C: Detaljerede resultater

Bilag 3A
Beregningsforudsætninger

Varmetabsberegningerne er udført numerisk vha. beregningsprogrammet HEAT2[9], som er velegnet til modelleringen af konstruktioner, der forenklet består af rektangulære enheder. Konstruktionerne defineres vha. de indgående materialers dimensioner varmeledningsevner og varmekapacitet.

Det er muligt at beregne både stationært og dynamisk varmetab med HEAT2. Bestemmelsen af konstruktionernes U-værdi foretages med stationære beregninger. Derimod benyttes dynamiske simuleringer til bestemmelsen af det årlige varmetab, hvorved variationerne for både udeklimaet og lagervandets temperatur medregnes.

Der gælder en række forudsætninger for beregning af varmetab for alle løsningsforslag:

For at kunne sammenligne beregningsresultaterne, gælder det for alle forslag, at lagerets overfladeareal er 110 m × 110 m = 12100 m², der samtidigt er arealet af vandoverfladen.

Det skal bemærkes, at de modellerede mellemrum mellem sektionerne - og kantbredden - ikke er de samme som ved projekteringen. De er beregnede værdier for en gennemsnitsdriftssituation, når det øverste vandlag i lageret har en temperatur på T=55°C. Udgangspunktet er, at der ingen hulrum er mellem sektionerne når T=95°C. Varmeudvidelseskoefficient for plast β=0,02 - 0,11 mm/mK, der svarer til en varmeudvidelse på 2,8mm/m ved β=0,07 og en temperaturforskel på T=95°C-55°C = 40°C. Tilsvarende varmeudvidelseskoefficient for stål er på β=0,01mm/mK.[2]

Modelleringen af de omtalte konstruktioner helt præcis er vanskelig, såfremt der mellem dele af låget og vandoverfladen findes luft: På grund af de høje temperaturer på vandoverfladen eksisterer der et højt damptryk i lufthulrummet, hvis modellering med de benyttede værktøj er umuligt. Det mest ekstreme tilfælde, hvor vanddampen kontinuerligt transporterer varme fra vandoverfladen til hele hulrummet, kan dog tilnærmelsesvis modelleres. Hvorvidt varmetransporten foregår på denne måde, er der delte meninger og erfaringer om. Under alle omstændigheder kan der ved denne metode bestemmes det størst tænkelige varmetab. For at give et indtryk af beregningsmetodens betydning angives resultaterne baseret på 3 forskellige forudsætninger:

1. Stillestående, mættet luft ved 55°C i hulrumme: Varmeledningsevnen for mættet luft er i [4] opgivet til λ = 0,021 W/mK. Denne værdi ændres til λ = 0,04 W/mK, fordi der ikke er tale om stillestående luft.
2. Vand i hele hulrummet: λ = 0,64 W/mK [4].
3. Højt damptryk i hele hulrummet: randbetingelserne i hele hulrummet som under låget.

Benyttelsen af gennemsnitsdriftssituation til beregningerne resulterer i værdier, der strengt taget kun er sammenlignelige med hinanden. Yderligere lægges der vægt på, at netop mellemrummenes temperaturafhængighed betyder, at varmetabet for konstruktionerne uden et hulrum mellem sektionerne kan blive undervurderet, hvis der i virkeligheden alligevel opstår hulrum mellem sektionerne.

1 BEREGNING AF U-VÆRDI FOR HOMOGEN KONSTRUKTION

Varmetransmissionskoefficienten (U-værdien) for den homogene del af konstruktionen bestemmes ved, at 1 m² af konstruktionen modelleres med følgende randbetingelser:

- under låget (vand - låg): T=1°C og $R_{overgang}$= 0 m²K/W
- over låget (låg - luft): T=0°C og $R_{overgang}$= 0,04 m²K/W [3].

2 BEREGNING AF KULDEBROEFFEKT GRUNDET SAMLINGERNE I LÅGET

Til beregning af kuldebroeffekt benyttes linievarmetabsmetoden: Konstruktionen modelleres både uden og med kuldebroer og varmetabet per løbende meter konstruktion (W/mK) bestemmes. Differencen mellem disse specifikke varmetab angiver størrelsen af kuldebroeffekten for en given konstruktion. Kender man længden af kuldebroen, bestemmes varmetabet grundet kuldebroen som:

$$Linievarmetabet[W/K] = (q_{\,med\ kuldebro} - q_{\,uden\ kuldebro})[W/mK] \cdot l_{\,kuldebro}[m]$$

Benyttelsen af linievarmetabsmetoden for beregningen af kuldebroer er anbefalet bl.a. i CEN-standard prEN ISO 10211-1. Eftersom konstruktionen også her er modelleret i en bredde på 1 m, er $q_{\,med\ kuldebro}$ [W/mK] = $U_{\,kuldebro}$ [W/m²K].

Randbetingelserne er de samme som for beregningen af U-værdi.

3 BEREGNING AF KULDEBROEFFEKT LANGS KANTEN AF LAGERET

Da formålet med beregningerne er sammenligning af de forskellige lågudformningers varmetab, skal kun varmetabet *gennem* låget bestemmes.

Kantløsningen modelleres sammen med ca. 1 m låg, 0,05 m vand under låget og 10 m jord både vandret og lodret fra kanten.

Varmetabet grundet kanten bestemmes igen bedst vha. linievarmetabsmetoden: Varmetabet gennem hele kantkonstruktionen fratrækkes varmetabet uden om låget (med et perfekt isolerende låg = adiabat rand imod låget), og varmetabet gennem det homogene låg. Resultatet multipliceres med længden af kanten: 4 · 110m = 440m. Linievarmetabet grundet kantkonstruktionen er:

$$Linievarmetabet[W/K] = (q_{hele\ konstruktion} - q_{perfekt\ låg} - q_{uden\ kuldebroer})[W/mK] \cdot l_{kuldebro}[m]$$

Til beregningerne benyttes følgende materialeværdier for jord (ler): λ = 1,5 W/mK [5] og beton: λ = 1,6 W/mK[3]. Der ses bort fra betydningen af ikke fuldstændig isolering pga. tagrende ved kanten.

4 BEREGNING AF DET SAMLEDE ÅRLIGE VARMETAB

Det årlige varmetab for lageret gennem lågkonstruktionen bestemmes vha. en dynamisk simulering over et år, der er udført for den homogene konstruktion, hvorefter kuldebroeffekterne fra selve låget og fra kanten er tilføjet. Varmetabet per år fås udfra det akkumulerede varmetab i kWh.

Udeklimaet for damvarmelageret - altså udeluftens temperatursvingning - tilnærmes vha. en sinuskurve [5]:

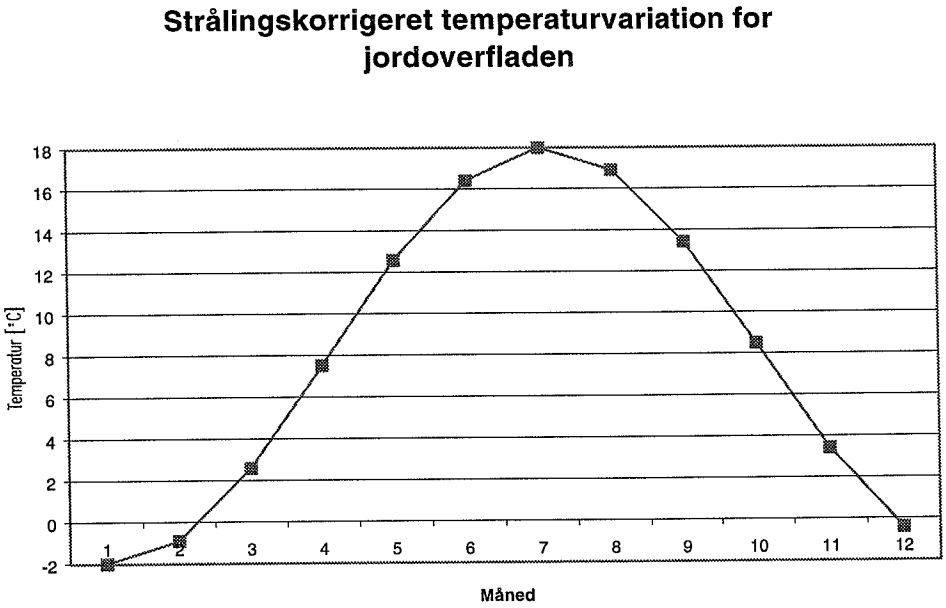
$$T(t) = 8 + 10{,}5*\sin(2\pi(t-3{,}5q)/12q)$$

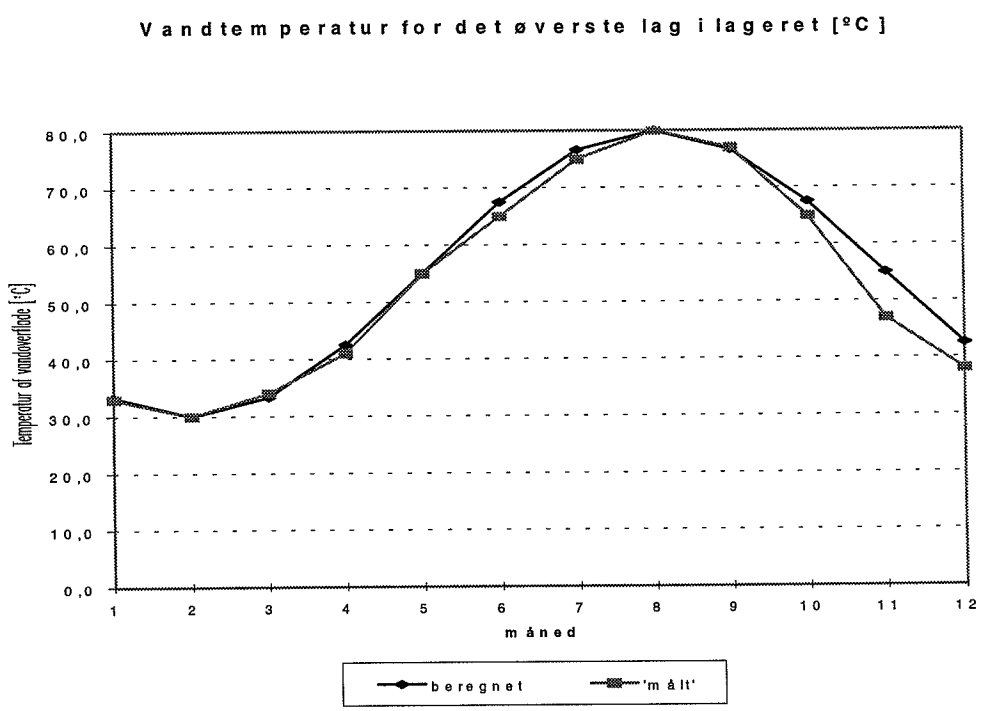
Kurven er baseret på månedsmiddelværdierne for lufttemperatur i Danmark, som er korrigeret for strålingsudvekslingen for en vandret flade. (t = tidsvariabel, q = måned)

Temperaturforløbet for det øverste lag af lagervandet kan ligeledes tilnærmes vha. en sinuskurve:

$$T(t) = 55 + 25*\sin(2\pi(t-5q)/12q),$$

som er baseret på målinger [6] i et damvarmelager, dog med de forudsætninger, at T_{max} =80°C og T_{min} = 30°C. Sinuskurverne er vist nedenfor.





Tynde plast- og metaldele der udstrækker sig vinkelret på varmestrømmen er ikke modelleret i forbindelse med dynamiske simuleringer, fordi i numeriske beregningsmetoder som HEAT2 forøges beregningstiden voldsomt, hvis modellen indeholder meget tynde sektioner med betydeligt forskellige varmeledningsevner end resten af modellen. Fejlen gjort ved denne tilnærmelse er forsvindende.

Bilag 3B.
Beskrivelse af de enkelte løsningsforslag

I dette afsnit gennemgås de beregninger og forudsætninger - herunder dimensioner og materialeværdier -, der ligger til grund for bestemmelsen af varmetabet for de undersøgte lågudformninger. Materialeværdierne, i dette tilfælde varmeledningsevnen, er bestemt vha. litteraturen [7] og [8].

For at bestemme længden af de analyserede kuldebroer, defineres antallet af moduler i et låg som et oprundet heltal. Modulstørrelsen opfattes dermed som et maksimum: Det forudsættes at være muligt at lave en række mindre moduler for at tilpasse låget til det ønskede bruttoareal på 12100 m².

Til hver løsningsforslag er der vedlagt tegninger over de benyttede beregningsmodeller. Tegningerne er ikke målfaste, dog er de virkelige dimensioner angivet på tegningerne i meter.

1 MODULLØSNING AF PP (PLASTCONSULT, UFFE DAN NIELSEN)

Beskrivelsen af løsningsforslaget gælder for det oprindelige forslag (1a). Sidst i projekteringsforløbet blev forslaget ændret med hensyn til følgende punkter:

- modulerne indkapsles i plastliner med tykkelse på 1,5mm
- der benyttes 0,4meter mineraluld til isoleringen i stedet for PUR-skum og EPS

Der er foretaget varmetabsberegninger også for dette forslag (1b), men der findes ingen tilknyttede tegninger.

1.1 LÅGETS HORISONTALE DIMENSIONER

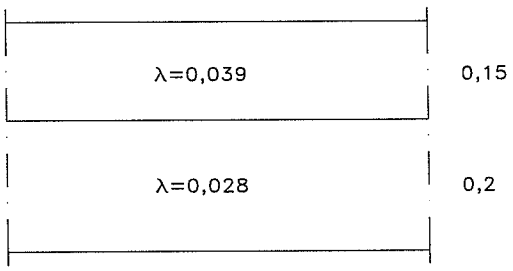
Lagerets bund har en hældning på 1:2. En lågtykkelse på 0,35m betyder, at kantlængden af selve låget l = 110m - 2 · 2 · 0,35m = 108,6m.

Arealet af selve låget $A_{låg} = (108{,}6m)^2 = 11794m^2$

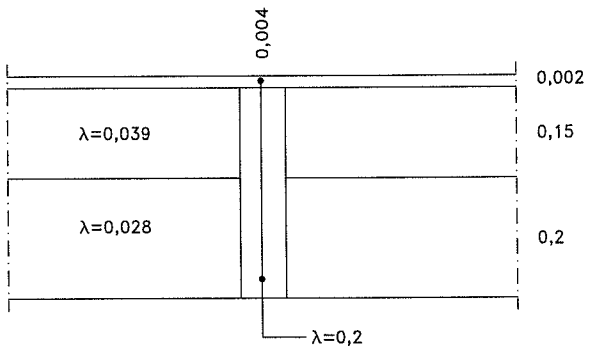
Modulbredden er 5,5m: Der skal bruges 108,6/5,5 = 19,75 ~ 20 moduler.

Længden af kuldebroer excl. kanter $l_{kuldebro} = 19 \cdot 108{,}6m = 2063m$

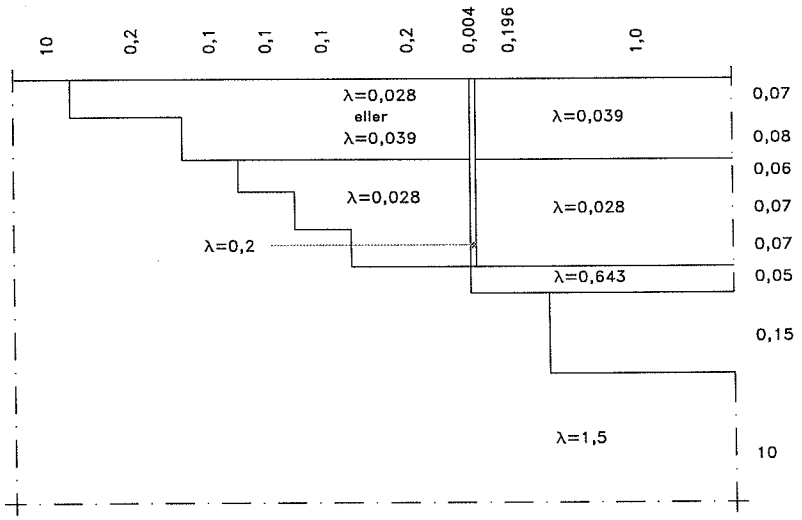
1.2 BEREGNINGSMODELLER



Figur 1.1: Homogen konstruktion



Figur 1.2 : Konstruktion med kuldebro



Figur 1.3: Kantløsning

2 VIDEREUDVIKLING AF OTTRUPGÅRD-LÅGET (NNR A/S, CARSTEN WESENBERG)

Under beregningsprocessen udviklede NNR sit forslag flere gang, hvorfor beregninger er lavet for i alt 7 forskellige løsninger:

1a)	Den oprindelige: med en lille isoleringsliste over alle samlinger
1b)	Et halvrør: ingen isolering på modulernes korte led, en halvrørisolering på den lange led
1c)	Ingen isolering over samlingerne
2+3a)	Ikke gennemgående: halvvejs uafbrudt isolering på modulernes korte led, en halvrørisolering på den lange led
2+3b)	Ingen gennemgående: alle samlinger har delvis uafbrudt isolering.
4.2b)	Sammensvejset bund med en ny kantløsning
4.2b (mod.))	Sandwichkonstruktion med en ny kantløsning

2.1 LÅGETS HORISONTALE DIMENSIONER

Et mellemrum i kanten på 0,14m betyder, at kantlængden af selve låget l_{kant} = 110m - 2 · 0,14m = 109,7m.

Arealet af selve låget $A_{låg} = (109{,}7m)^2 = 12038m^2$

Modulstørrelsen for løsningerne 1-5 er 1,2m × 12m: Der skal bruges 92 · 10 = 920 moduler.

Længden af kuldebroer excl. kanter:
Korte led: $l_{kuldebro} = 9 \cdot 109{,}7m = 987m$
Lange led: $l_{kuldebro} = 91 \cdot 109{,}7m = 9983m$
I alt: $l_{kuldebro} = 10970m$

Modulstørrelsen for løsning 4.2 er 1,2m × 8,7m: Der skal bruges 92 · 13 = 1196 moduler.

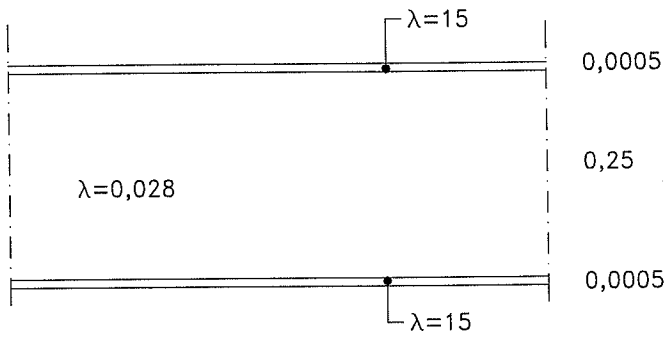
Længden af kuldebroer excl. kanter:
Korte led: $l_{kuldebro} = 12 \cdot 109{,}7m = 1316m$
Lange led: $l_{kuldebro} = 91 \cdot 109{,}7m = 9983m$

I alt: $l_{kuldebro}$ = 11299m

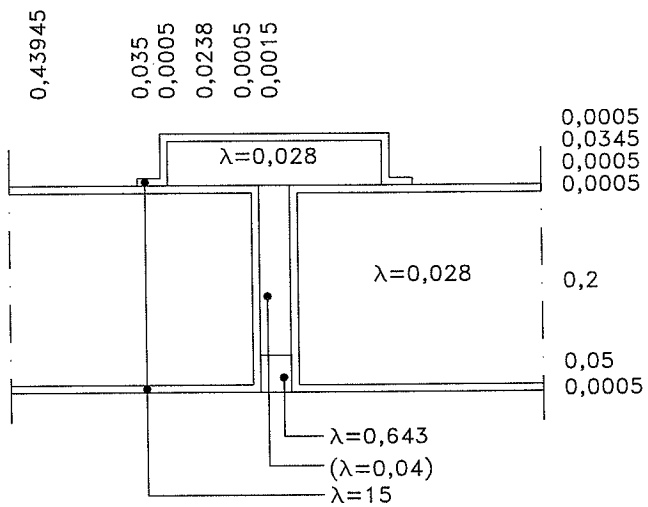
2.2 BEREGNINGSMODELLERNE

I løsningsforslaget fra NNR benyttes λ = 0,02W/mK for PUR. Denne værdi anses for optimistisk og erstattes derfor med λ = 0,028W/mK [7]. Tykkelsen af isoleringen skal efterfølgende være 0,252m for at opnå samme isolans på 9m²K/W. Der vælges en isoleringstykkelse på 0,25 m til løsningerne 1-5.

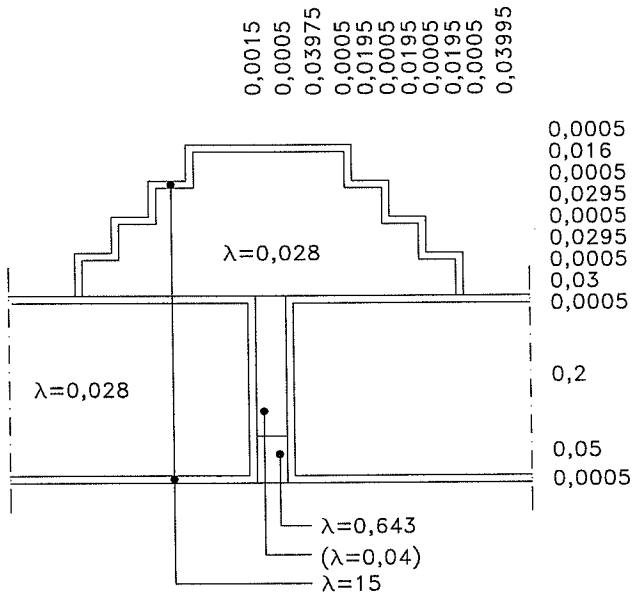
Isoleringstykkelse for løsning 6 er 0,35m bestående af 0,1m PUR λ = 0,028W/mK og 0,25m EPS λ = 0,039W/mK.



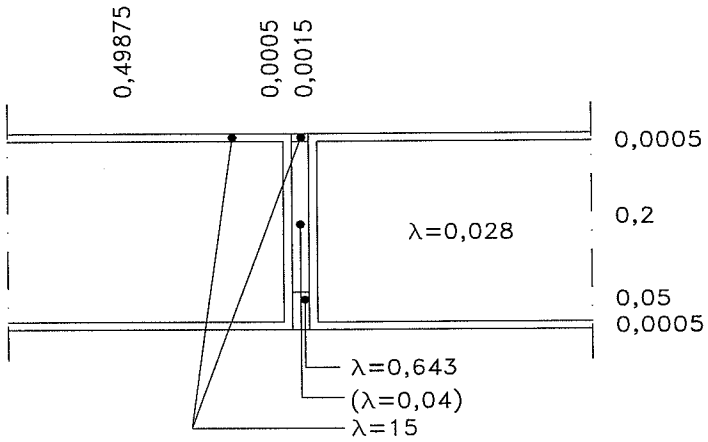
Figur 2.1: Homogen konstruktion



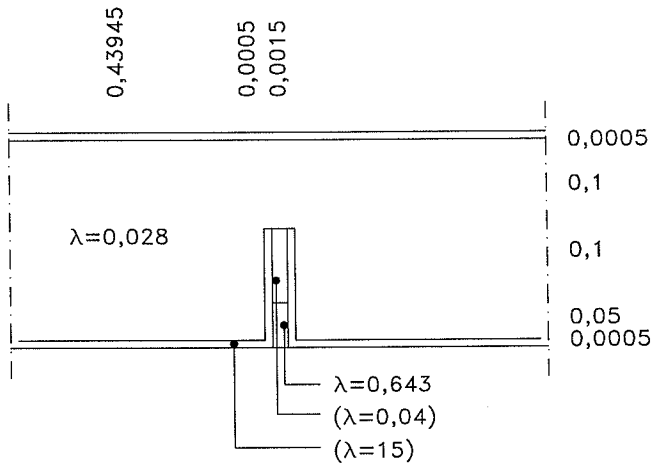
Figur 2.2 : Konstruktion med kuldebro: oprindelige (1a)



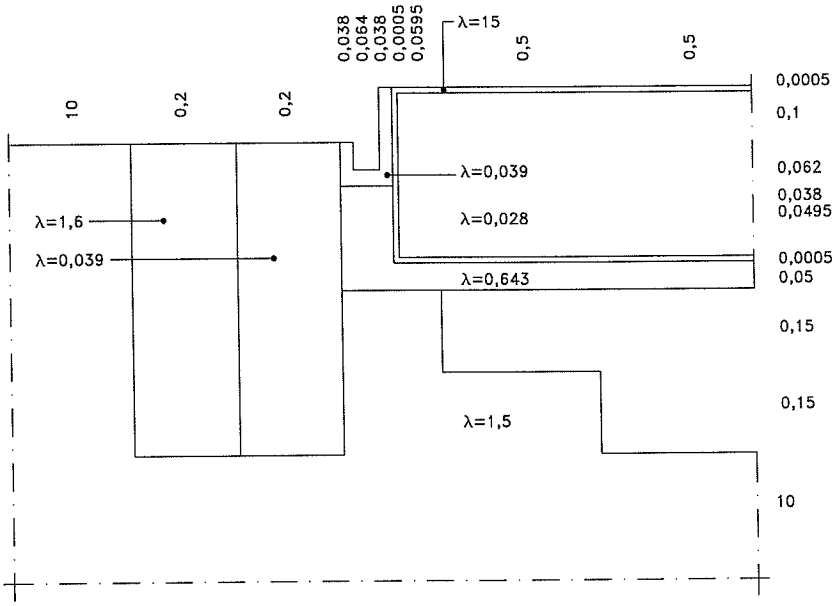
Figur 2.3 : Konstruktion med kuldebro: halvrør isolering (1b og 2+3a)



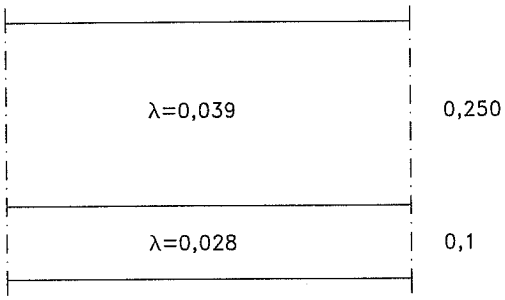
Figur 2.4 : Konstruktion med kuldebro: ingen isolering (1b og 1c)



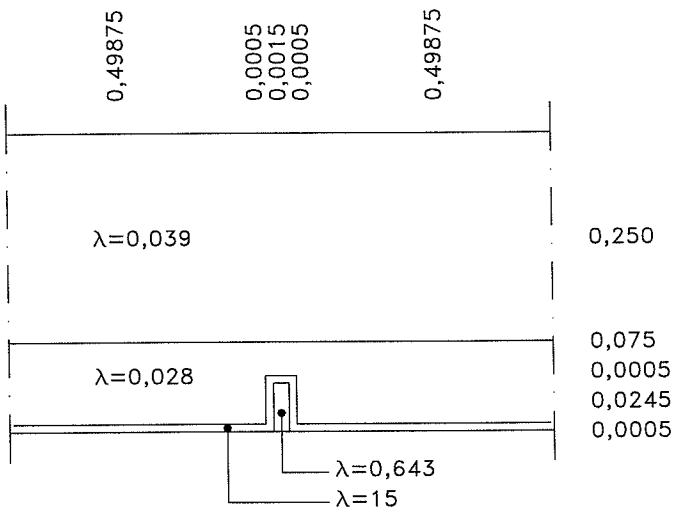
Figur 2.5 : Konstruktion med kuldebro: ikke gennemgående (2+3a og 2+3b)



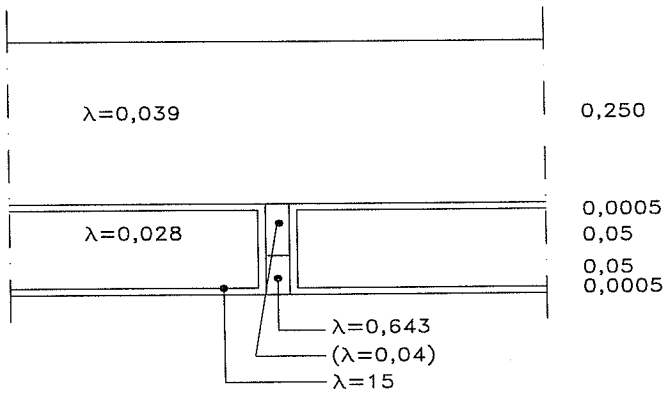
Figur 2.6: Kantløsning: oprindelige(løsning 1-3)



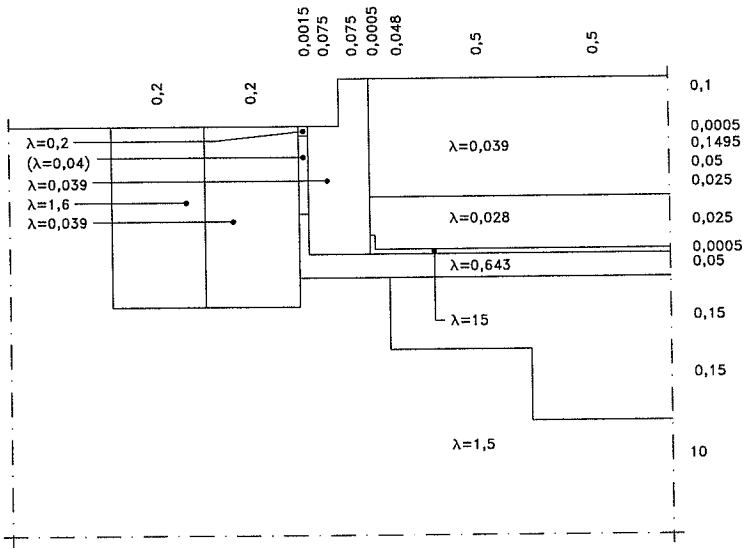
Figur 2.7: Homogen konstruktion (4.2b og 4.2b(mod))



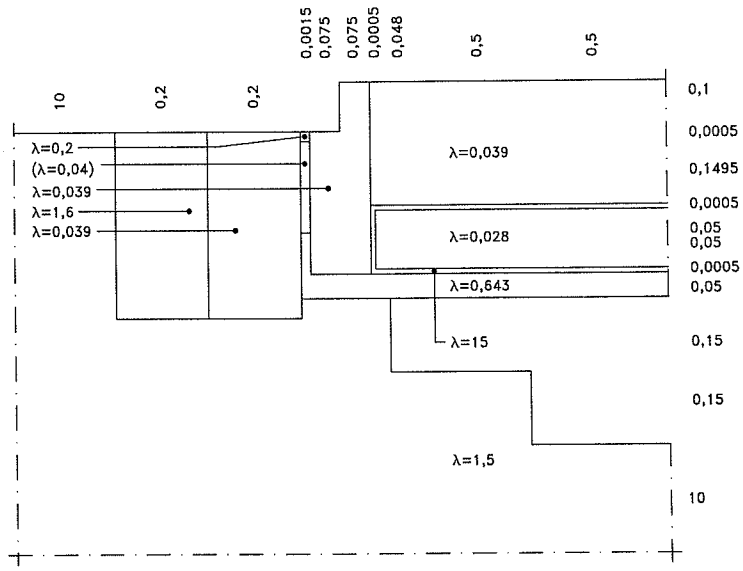
Figur 2.8: Konstruktion med kuldebro: sammensvejset bund (4.2b)



Figur 2.9: Konstruktion med kuldebro: sandwichløsning (4.2b(mod))



Figur 2.10: Kantløsning: sammensvejset bund (4.2b)



Figur 2.11: Kantløsning: sandwichkonstruktion (4.2b(mod))

3 VIDEREUDVIKLING AF IBE'S FORSØGSLÅG (IBE)

Beskrivelsen af løsningsforslaget gælder for det oprindelige forslag (3a). Sidst i projekteringsforløbet blev forslaget ændret med hensyn til følgende punkter:

- samlingen mellem modulerne ændres: hulrummet kan fjernes, fordi isoleringsmaterialet erstattes med mineraluld, hvis varmeudvidelse er forsvindende ved de betragtede temperaturer
- på én led placeres der i låget ovenpå samlingerne en 0,3 meter bred V-formet tagrende, hvis sider hælder 45%
- kantløsningen bliver let modificeret

Der er foretaget varmetabsberegninger også for dette forslag (3b), men der findes ingen tilknyttede tegninger.

3.1 LÅGETS HORISONTALE DIMENSIONER

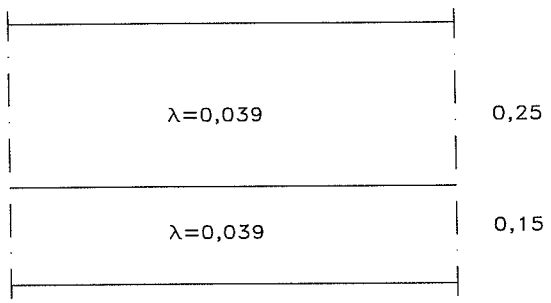
Kantbredden på 0,15 m medfører, at kantlængden af selve låget l_{kant} = 110m - 2 · 0,15m = 109,7m.

Arealet af selve låget $A_{låg} = (109,7m)^2 = 12034m^2$

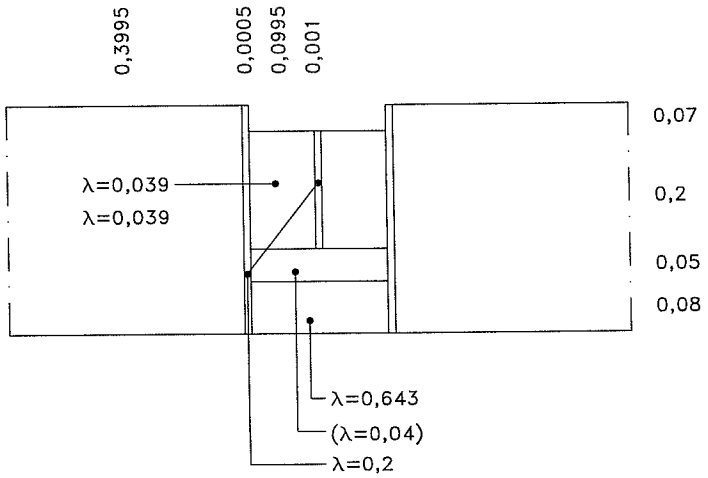
Der bruges 5 · 5 = 25 moduler til låget. Længden af kuldebroer excl. kanter $l_{kuldebro}$ = 2 · 4 · 109,7m = 878m

3.2 BEREGNINGSMODELLERNE

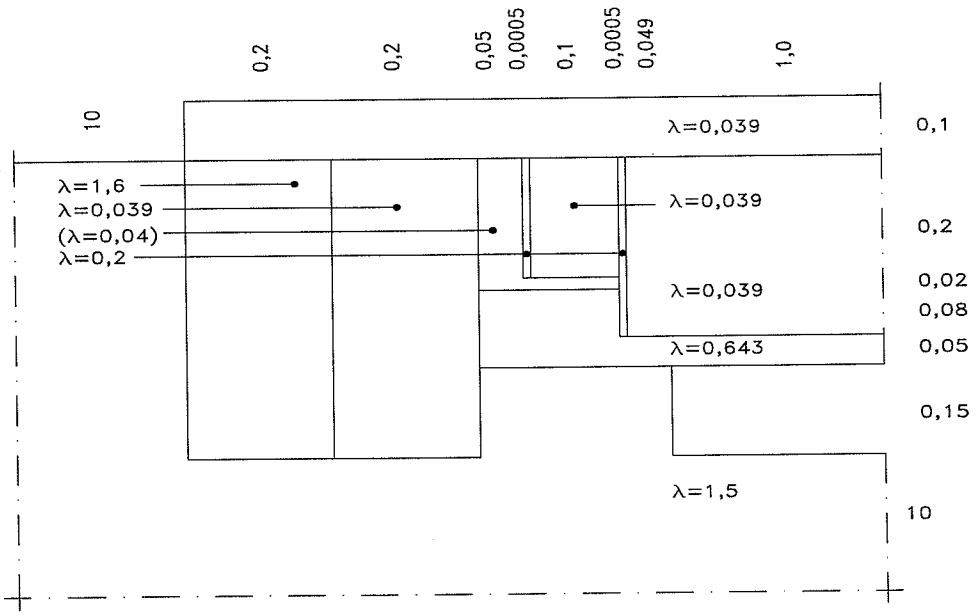
Tagrende og den underliggende isolering mellem sektioner hælder ca. 0,2% fra lågets midte til siderne. Til modelleringen benyttes en gennemsnitlig tykkelse af isoleringen under tagrenden på 20 cm.



Figur 3.1: Homogen konstruktion



Figur 3.2 : Konstruktion med kuldebro



Figur 3.3: Kantløsning

4 FLERELAGSLØSNING MED SMÅ PP-SEKTIONER (IBE)

Beskrivelsen af løsningsforslaget gælder for det oprindelige forslag (4a). Sidst i projekteringsforløbet blev forslaget ændret ved følgende punkter:

- samling og tætning af karrene er forbedret
- luftrummet mellem sektionerne bliver derved lidt bredere

Der er foretaget varmetabsberegninger også for dette forslag (4b), men der findes ingen tilknyttede tegninger.

4.1 LÅGETS HORISONTALE DIMENSIONER

Kantbredden for denne løsning er den samme som for resten af samlingerne - 7mm - derfor er kantlængden af selve låget l_{kant} = 110m - 2 · 0,007m = 109,986m.

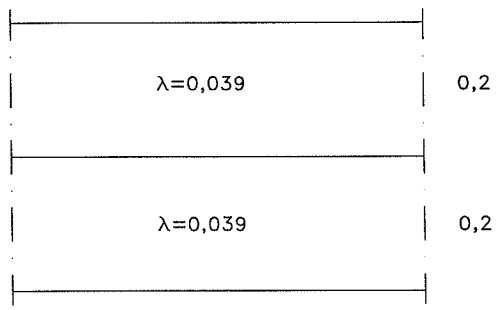
Arealet af selve låget $A_{låg}$ = (109,986m)² = 12097m²

Modulstørrelsen er 1m × 2m: Der skal bruges 110 · 55 = 6050 moduler.

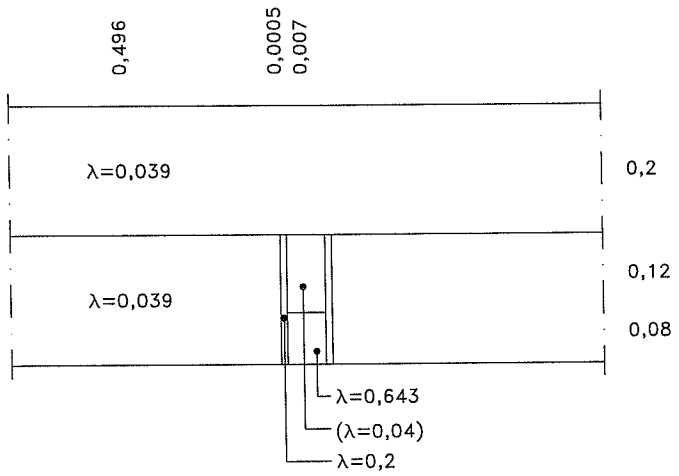
Længden af kuldebroer excl. kanter $l_{kuldebro}$ = (109 + 54) · 109,986m = 17928m
Længden af kuldebroer på grund af tagrende: $l_{kuldebro}$ = 5 · 109,986m = 550m

4.2 BEREGNINGSMODELLER

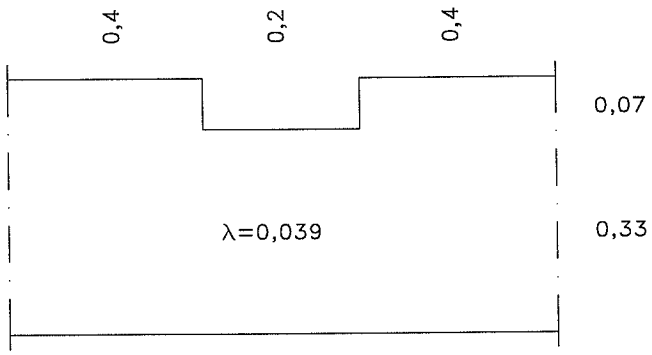
Tagrende hælder ca. 0,2% fra lågets midte til siderne. Til modelleringen benyttes derfor en gennemsnitlig dybde på 0,05m.



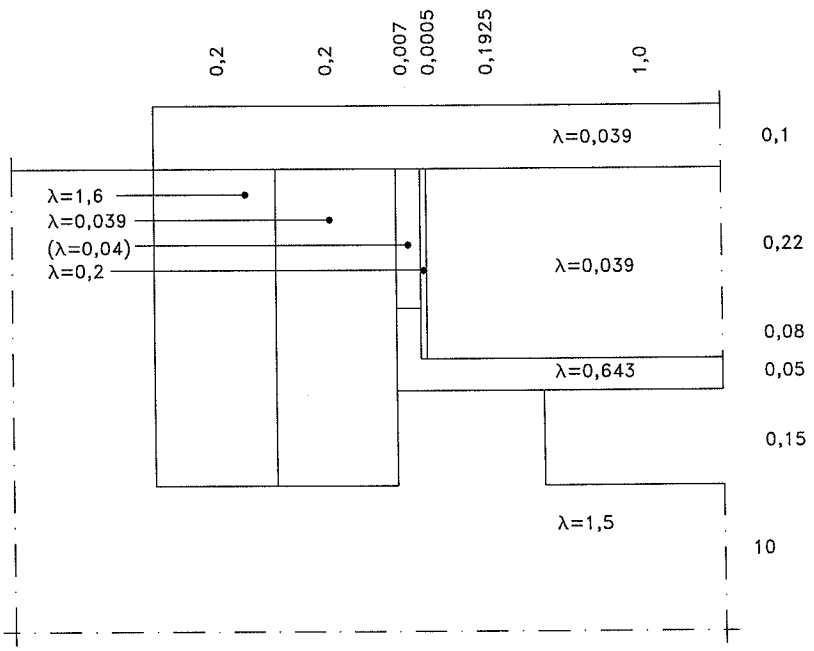
Figur 4.1: Homogen konstruktion



Figur 4.2 : Konstruktion med kuldebro: samling



Figur 4.3 : Konstruktion med kuldebro: tagrende



Figur 4.4: Kantløsning

Bilag 3C:
Detaljerede resultater af de varmetekniske undersøgelser

Stationær beregning

Stillestående luft i hulrummet

Forslag	nr.	U-værdi homogen [W/m²K]	Varmetab 1-D [W/K]	Linievarmetab samlinger [W/K]	Kuldebro-% (af 1-D)	Linievarmetab kant [W/K]	Kuldebro-% (af 1-D)	Varmetab Samlet [W/K]	Kuldebro-% (af 1-D)	Samlet kuldebro-%
Plastconsult	1a	0.09	1079	2	0%	14	1%	**1096**	2%	2%
	1b	0.10	1175	2	0%	12	1%	**1189**	1%	1%
NNR	2.1a	0.11	1342	574	43%	53	4%	**1969**	47%	32%
	2.1b	0.11	1342	470	35%	53	4%	**1865**	39%	28%
	2.1c	0.11	1342	620	46%	53	4%	**2015**	50%	33%
	2.2+3a	0.11	1342	424	32%	53	4%	**1819**	35%	26%
	2.2+3b	0.11	1342	103	8%	53	4%	**1498**	12%	10%
	2.4.2b	0.10	1221	1	0%	8	1%	**1229**	1%	1%
	2.4.2b (mod.)	0.10	1221	120	10%	10	1%	**1350**	11%	10%
IBE 1	3a	0.10	1199	28	2%	10	1%	**1236**	3%	3%
	3b	0.10	1199	8	1%	10	1%	**1217**	2%	2%
IBE 2	4a	0.10	1205	26	2%	5	0%	**1236**	3%	3%
	4b	0.10	1205	50	4%	5	0%	**1260**	5%	4%

Varmt vand i hulrummet i stedet for luft

Plastconsult	1a	0.09	1079	2	0%	14	1%	**1096**	2%	2%
	1b	0.10	1175	2	0%	12	1%	**1189**	1%	1%
NNR	2.1a	0.11	1342	618	46%	53	4%	**2013**	50%	33%
	2.1b	0.11	1342	486	36%	53	4%	**1881**	40%	29%
	2.1c	0.11	1342	649	48%	53	4%	**2045**	52%	34%
	2.2+3a	0.11	1342	437	33%	53	4%	**1832**	36%	27%
	2.2+3b	0.11	1342	104	8%	53	4%	**1499**	12%	10%
	2.4.2b	0.10	1221	1	0%	9	1%	**1230**	1%	1%
	2.4.2b (mod.)	0.10	1221	122	10%	11	1%	**1353**	11%	10%
IBE 1	3a	0.10	1199	37	3%	21	2%	**1257**	5%	5%
	3b	0.10	1199	8	1%	12	1%	**1219**	2%	2%
IBE 2	4a	0.10	1205	73	6%	7	1%	**1285**	7%	6%
	4b	0.10	1205	107	9%	7	1%	**1319**	9%	9%

Højt vanddamptryk i luftrummet

Plastconsult	1a	0.09	1079	2	0%	14	1%	**1096**	2%	2%
	1b	0.10	1175	2	0%	6	1%	**1183**	1%	1%
NNR	2.1a	0.11	1342	5815	433%	53	4%	**7210**	437%	81%
	2.1b	0.11	1342	2766	206%	53	4%	**4161**	210%	68%
	2.1c	0.11	1342	11225	836%	53	4%	**12620**	840%	89%
	2.2+3a	0.11	1342	1769	132%	53	4%	**3165**	136%	58%
	2.2+3b	0.11	1342	148	11%	53	4%	**1543**	15%	13%
	2.4.2b	0.10	1221	1	0%	90	7%	**1312**	7%	7%
	2.4.2b (mod.)	0.10	1221	255	21%	93	8%	**1569**	28%	22%
IBE 1	3a	0.10	1199	40	3%	50	4%	**1289**	8%	7%
	3b	0.10	1199	8	1%	38	3%	**1245**	4%	4%
IBE 2	4a	0.10	1205	308	26%	41	3%	**1554**	29%	22%
	4b	0.10	1205	274	23%	41	3%	**1520**	26%	21%

Dynamisk beregning

Stillestående luft i hulrummet

Forslag	nr.	Varmetab homogen [kWh/m²/år]	med kuldebroeffekt [kWh/m²/år]	[MWh/år]	[GJ/år]	relativt til laveste(100)
Plastconsult	1a	38	38	463	1666	100
	1b	41	41	502	1807	109
NNR	2.1a	46	67	815	2933	176
	2.1b	46	64	772	2779	167
	2.1c	46	69	834	3002	180
	2.2+3a	46	62	753	2710	163
	2.2+3b	46	51	620	2232	134
	2.4.2b	42	42	509	1834	110
	2.4.2b (mod.)	42	46	559	2014	121
IBE 1	3a	41	42	512	1842	111
	3b	41	42	504	1814	109
IBE 2	4a	41	42	509	1832	110
	4b	41	43	519	1868	112

Varmt vand i hulrummet i stedet for luft

Plastconsult	1a	38	38	463	1666	100
	1b	41	41	502	1807	109
NNR	2.1a	46	69	833	2999	180
	2.1b	46	64	778	2802	168
	2.1c	46	70	846	3046	183
	2.2+3a	46	63	758	2729	164
	2.2+3b	46	51	620	2234	134
	2.4.2b	42	42	510	1835	110
	2.4.2b (mod.)	42	46	561	2019	121
IBE 1	3a	41	43	520	1872	112
	3b	41	42	505	1817	109
IBE 2	4a	41	44	529	1905	114
	4b	41	45	543	1955	117

Højt vanddamptryk i luftrummet

Plastconsult	1a	38	38	463	1666	100
	1b	41	41	500	1798	108
NNR	2.1a	46	247	2984	10742	645
	2.1b	46	142	1722	6199	372
	2.1c	46	432	5222	18800	1129
	2.2+3a	46	108	1310	4714	283
	2.2+3b	46	53	639	2299	138
	2.4.2b	42	45	543	1957	117
	2.4.2b (mod.)	42	54	650	2340	140
IBE 1	3a	41	44	533	1920	115
	3b	41	43	515	1856	111
IBE 2	4a	41	53	640	2304	138
	4b	41	52	626	2253	135