

FISKERIDIREKTORATETS KJEMISK-TEKNISKE  
FORSKNINGSINSTITUTT

Vurdering av kapasitetsforhold, varmeøkonomi, etc.,  
ved forskjellige driftsmåter ved limvannsinndamping,  
spesielt ved Vadsø Sildoljefabrikk A/S.

---

Ved Einar Sola.

R.nr. 87/64.  
A. h. 45.

BERGEN

Vurdering av kapasitetsforhold, varmeøkonomi, etc.,  
ved forskjellige driftsmåter ved limvannsinndamping,  
spesielt ved Vadsø Sildoljefabrikk A/S.

Varmeovergangstall ved 4 trinns limvannsinndamping.  
-----

Ved inndampingskontroll som ble utført under loddeseongen 1957 ved Vadsø Sildoljefabrikk A/S ble resultatene som beskrevet i rapport R.nr. 47/58.

Inndampingsanlegget som er 4 trinns ble kjørt på følgende måter:

Driftsmåte I: Væskegang 1.-2.-3.-4. trinn

Driftsmåte II: Væskegang 2.-3.-4.-1. trinn

Ved begge driftsmåter ble målt konsentratmengder, tørrstoff i limvann og konsentrat, pågangsvæskens temperatur, samt væsketemperatur i hvert trinn. Disse observasjonene er gjengitt i vedlagte tabell 1 og 2, og i samme tabeller er beregnet varmeovergangstall, tørrstoffkonsentrasjonsamt fordampet vannmengde i hvert trinn. Videre er beregnet varme- og dampforbruk.

Da denne kontroll ble gjennomført, var inndampingsanlegget enda ikke isolert, og ved beregningene er derfor tatt i betraktning varmetap til omgivelsene som en har funnet for hvert trinn vil ligge på

ca. 120 kcal/h<sup>0</sup>C for dampkappen  
ca. 120 " for resten av trinnet.

Driftsmåte I,  
-----

Av tabell 1 fremgår det at for de 4 observasjoner som er gjort er

Tabell 3. Midlere varmeovergangstall:

1. trinn:	K <sub>1</sub>	=	377	kcal/m <sup>2</sup> h <sup>0</sup> C
2. "	K <sub>2</sub>	=	430	"
3. "	K <sub>3</sub>	=	300	"
4. "	K <sub>4</sub>	=	90	"

Det er her å bemerke at væskepågangen har variert ganske mye. Dessuten er 3/4 av observasjonene fra fredag og lørdag, da anlegget må antas å ha fått mye belegg, spesielt i 1. trinn. Dette er vel forklaringen på at det midlere varmeovergangstall er så lavt for 1. trinn, lavere enn for 2. trinn.

Tabellen viser også adskillig lavere varmeovergangstall ved lavere væskepågang:

Tabell 4.

Væskepågang (l/h)		<u>7700-10500</u>	<u>16500-19000</u>
Midlere	$k_1 =$	310	446
"	$k_2 =$	285	573
"	$k_3 =$	210	388
"	$k_4 =$	70	110

Varmeovergangstallet for et rent 1. trinn ved skikkelig belastning fikk en ikke målinger for. Tallene for onsdag i tabell 1 skulle imidlertid kunne gi et visst grunnlag for å anslå varmeovergangstallet for 1. trinn ved noenlunde rent anlegg og større belastning.

Forholdet mellom varmeovergangstallene for hvert trinn må kunne antas å være noenlunde det samme uansett belastning, og ved noenlunde rent anlegg og skikkelig belastning skulle da kunne regnes med følgende omtrentlige varmeovergangstall:

Tabell 5.

1. trinn:	$k_1 =$	1000	kcal/m <sup>2</sup> h <sup>0</sup> C
2. "	: $k_2 =$	700	"
3. "	: $k_3 =$	450	"
4. "	: $k_4 =$	200	"

Ved rimelig belagt anlegg mot slutten av uken skulle en ved skikkelig belastning kunne regne med varmeovergangstall omtrent som gjennomsnittet for fredag II og lørdag i tabell 1, altså

Tabell 6.

1. trinn:	$k_1 =$	450	kcal/m <sup>2</sup> h <sup>0</sup> C
2. "	: $k_2 =$	600	"
3. "	: $k_3 =$	350	"
4. "	: $k_4 =$	100	"

I overensstemmelse med tabell 1 skulle da disse tallene gjelde for følgende omtrentlige væsketemperaturer:

1. trinn:	120-130 <sup>0</sup> C
2. "	: 110-120 "
3. "	: 95-105 "
4. "	: 40- 50 "

Driftsmåte II.

Av tabell 2 fremgår at ved væskegang 2.-3.-4.-1. trinn blir:

Tabell 7. Midlere varmeovergangstall:

1. trinn:	$K_1 =$	543	kcal/m <sup>2</sup> h <sup>0</sup> C
2. "	: $K_2 =$	694	"
3. "	: $K_3 =$	460	"
4. "	: $K_4 =$	270	"

Også av denne tabellen fremgår det at varmeovergangstallene ligger adskillig lavere ved lav belastning enn ved høy. Tabellen viser også at ved rent anlegg (mandag) ligger varmeovergangstallene for 1. trinn høyere enn for 2. trinn selv om konsentrasjonen i 1. trinn er høy (ca. 30 %) og i 2. trinn lav (ca. 9,5 %). Det er også bemerkelsesverdig at ved de to observasjonene med lavt tørrstoff i limvannet (7,7 og 7,9 %) er varmeovergangstallet for 2. trinn hvor limvannet går på, forholdsvis mye høyere enn for limvann med høyere tørrstoffinnhold. Ser en bort fra obs. I mandag (med lav kapasitet) finner en således:

Tabell 8.

Ved tørrstoff i limvann:	7,8 %	9,2 %
Midlere varmeovergangstall: $k_1$ =	626	610
$k_2$ =	1038	606
$k_3$ =	595	484
$k_4$ =	358	274

Hvilke varmeovergangstall en kan regne som rimelige for denne driftsmåten ved noenlunde rent anlegg er noe usikkert, men også her må en kunne gå ut fra at forholdet mellom varmeovergangstallene for hvert trinn vil være noenlunde konstant uansett belastning, og som utgangspunkt skulle da kunne brukes varmeovergangstallene for mandag II. Belastningen for mandag II var noe lav, og for skikkelig belastning må derfor kunne regnes noe høyere tall.

For slutten av uken (belagt anlegg) skulle det være rimelig å ta utgangspunkt i tallene for fredag i tabell 2. Belastningen på anlegget var imidlertid da svært høy, og varmeovergangstallene blir derfor høye. Forutsatt noenlunde konstant forhold mellom varmeovergangstallene og at varmeovergangstallet for 4. trinn sannsynligvis vil ligge omkring 250 ved rimelig belastning, skulle en da kunne regne med omtrentlige følgende varmeovergangstall:

Tabell 9.

	Ukens beg. (rent anl.)	Ukens slutt (belagt anl.)
Varmeovergangstall 1. trinn: $k_1$ =	700	400
2. " $k_2$ =	800	600
3. " $k_3$ =	600	400
4. " $k_4$ =	400	250

I overensstemmelse med tabell 2 skulle da disse tallene gjelde for følgende omtrentlige væsketemperaturer:

1. trinn:	90-100°C
2. " :	80-90 "
3. " :	65-80 "
4. " :	40-50 "

For samtlige trinn unntatt 4. trinn er dette gjennomgående 30° lavere enn for driftsmåte I.

Kapasitetsforhold ved driftsmåte I og II.  
-----

Et spørsmål som det har ganske stor betydning å få nærmere klarlagt er hvilken driftsmåte som gir størst kapasitet ved samme totale temperaturfall. Vanligvis ligger væsketemperaturen i 4. trinn omkring 40°C, og en rimelig belastning på 1. trinn uten å risikere for mye beleggdannelse vil være f.eks. 130°C i dampkappen. Et totalt temperaturfall på 90°C skulle det altså være rimelig å bruke som sammenlikningsbasis.

For varmeovergangstallene vil det være rimelig å bruke gjennomsnittsverdiene for uken, altså middeltallene for foran angitte tall for rent og urent anlegg. Foran angitte tall for driftsmåte I gjelder for omtrentlig samme temperaturområde som det her er tale om. De angitte tall for driftsmåte II gjelder imidlertid for noe lavere temperaturer, spesielt i 1. og 2. trinn. Temperaturen innflytelse på varmeovergangstallene ved så høye temperaturområder er imidlertid liten, slik at samme varmeovergangstall skulle kunne brukes også for det temperaturområde det her er tale om, uten nevneverdig feil. De forutsatte varmeovergangstall for driftsmåte II vil da i hvert fall ikke være for høye. For beregningene skulle da kunne forutsettes følgende:

Tabell 10. Midlere varmeovergangstall:

Driftsmåte:	I	II
1. trinn:	700	550
2. " :	650	700
3. " :	400	500
4. " :	150	300

Heteflatten i hvert trinn er 283 m<sup>2</sup>. Limvannstemperaturen ved påløpet til inndampingsanlegget ligger på ca. 85°C. Spesifikk varme for væsken varierer med tørrstoffinnholdet. Ved limvann med 8 % tørrstoff og konsentrat med 40 % får en omtrentlig følgende:

Tabell 11.

	<u>Tørrstoff</u>	<u>Spes. varme</u>
Limvann:	8 %	0,95
1. inndamping:	10 "	0,94
2. " :	13 "	0,92
3. " :	20 "	0,88
4. " :	40 "	0,76

Ut fra disse forutsetninger får en da:

Tabell 12.

Driftsmåte	Rent anlegg (beg. uke)		Urent anlegg (slutt uke)		Middel	
	I	II	I	II	I	II
<b>Forutsatte varmeovergangstall:</b>						
1. trinn (kcal/m <sup>2</sup> h°C)	1000	700	450	400	700	550
2. " "	700	800	600	600	650	700
3. " "	450	600	350	400	400	500
4. " "	200	400	100	250	150	300
<b>Temperaturer:</b>						
Dampkappe 1. trinn (°C)	130	130	130	130	130	130
Væske 1. " "	119	108	116	106	118	107
" 2. " "	107	92	108	93	108	92
" 3. " "	88	73	94	74	91	74
" 4. " "	40	40	40	40	40	40
<b>Temp.fall 1. trinn (°C)</b>						
2. " "	11	22	14	24	12	23
3. " "	12	16	8	13	10	15
4. " "	19	19	14	19	17	18
	48	33	54	34	51	34
<b>Fordampet vann:</b>						
1. trinn (kg/h)	4.320	6.570	2.520	4.200	3.400	5.260
2. " "	4.610	6.040	2.650	3.870	3.660	4.780
3. " "	5.030	6.810	2.820	4.330	3.960	5.400
4. " "	5.560	7.700	3.170	4.900	4.360	6.160
<b>Totalt:</b>	<b>19.520</b>	<b>27.120</b>	<b>11.160</b>	<b>17.300</b>	<b>15.380</b>	<b>21.600</b>
Limvannskapasitet (kg/h)	24.400	33.900	13.950	21.630	19.240	27.000
Dampforbruk (kg/h)	5.890	8.300	3.370	5.290	4.620	6.640
(kg/kg v.)	0.302	0.306	0.302	0.306	0.302	0.306
Varmeforbr. (kcal/kg v.)	157	159	157	159	157	159

Som det fremgår av tabell 12 foran gir driftsmåte II et adskillig jevnere temperaturfall gjennom trinnene enn driftsmåte I, uansett om anlegget er rent eller ikke. Det fremgår også med all tydelighet av tabellen at ved samme totale temperaturfall vil kapasiteten bli adskillig større ved driftsmåte II enn ved driftsmåte I, uansett om det er i begynnelsen eller slutten på uken. Ved f.eks. midlere varmeovergangsforhold vil som en ser fordampingskapasiteten ved driftsmåte II ligge omkring 21,6 tonn/h, mens den ved driftsmåte I bare vil være omkring 15,4 tonn/h. Varmeøkonomisk er det praktisk talt det samme hvilken driftsmåte som nyttes.

Som en ser er ikke fordampet vannmengde lik for alle trinn. Ved driftsmåte I øker den fortløpende for hvert trinn fra 1. til 4. trinn, slik at fordampingen er 26-30 % større i 4. enn i 1. trinn. Ved driftsmåte II er fordampingen minst i 2. trinn (limvannstrinnet) og størst i 4. trinn (ca. 27 % større).

Det er mulig at beleggplagen i 1. trinn ved samme kappetemperatur blir større ved driftsmåte II enn ved driftsmåte I både på grunn av adskillig større tørrstoffinnhold i væsken ved driftsmåte II, men kanskje ikke minst på grunn av den større temperaturfor-

skjell mellom heteflate og væske, som kan tenkes lettere å gi fastbrenning av belegg, selv om væsken hadde samme tørrstoffinnhold. Dette har en imidlertid ikke sikre holdepunkter for. Ved samme kapasitet og samme temperatur i 4. trinn (40°C) vil imidlertid det totale temperaturfall bli adskillig mindre ved driftsmåte II enn ved driftsmåte I, og dermed vil også temperaturen både i dampkappe og væske i 1. trinn bli adskillig lavere ved driftsmåte II enn ved driftsmåte I. Det er derfor slett ikke sikkert at temperaturforholdene i 1. trinn vil gi større mulighet for beleggdannelse ved driftsmåte II enn ved I, hvis der forutsettes samme kapasitet.

Går en ut fra midlere forhold vil som nevnt kapasiteten ved totalt temperaturfall 90°C bli ca. 15,4 tonn vann/h ved driftsmåte I og 21,6 tonn vann/h ved driftsmåte II. Går en ut fra at mindre forandringer av temperaturen i 1. trinn ikke influerer nevneverdig på varmeovergangstallene, og forutsetter en at fordampingskapasiteten skal være den samme ved begge driftsmåter, f.eks. 20,0 tonn vann/h, får en:

Tabell 13. Temperatur- og kapasitetsforhold ved total fordampingskapasitet 20.000 kg vann/h.

	Driftsmåte I	Driftsmåte II
Forutsatt midlere varmeovergangstall:		
1. trinn: (kcal/m <sup>2</sup> h°C)	700	550
2. " "	650	700
3. " "	400	500
4. " "	150	300
Temperatur i dampkappe 1. trinn (°C)	157	123
" " væske 1. " "	139	103
" " " 2. " "	127	90
" " " 3. " "	105	73
" " " 4. " "	40	40
Temperaturfall i 1. trinn (°C)	18	20
" " 2. " "	12	13
" " 3. " "	22	17
" " 4. " "	65	33
Totalt:	117	83
Fordampet vann i 1. trinn (kg/h)	4.300	4.800
2. " "	4.700	4.500
3. " "	5.120	5.020
4. " "	5.880	5.680
Totalt:	20.000	20.000
Dampforbruk: (kg/h)	6.980	5.970
(kg/kg vann)	0,349	0,299
Varneforbruk: (kcal/kg vann)	174	157

Som en ser blir temperaturene i alle trinn unntatt 4. trinn adskillig høyere ved driftsmåte I enn ved driftsmåte II. Temperaturfallet i 1. trinn er ved driftsmåte I 18°C og ved driftsmåte II 20°C, altså lite forskjellig. Derimot ligger både kappe- og væsketemperaturen i 1. trinn ved driftsmåte I adskillig over driftsmåte II. Ved driftsmåte I er heteflatetemperaturen omkring 157°C, mens

den ved driftsmåte II bare er omkring  $123^{\circ}\text{C}$ . Hvis tørrstoffinnholdet i væsken var det samme i begge tilfeller, ville en da fått mer fastbrenning av belegg ved driftsmåte I enn ved II. Imidlertid er tørrstoffinnholdet ca. 10 % ved driftsmåte I mot ca. 40 % ved driftsmåte II. Dette medfører at beleggplagen i 1. trinn nok likevel vil bli større ved driftsmåte II enn ved driftsmåte I.

Som en ser ligger varmekonsumet ved driftsmåte I en god del, hele ca. 10 %, over varmekonsumet ved driftsmåte II. Dette er bemerkelsesverdig, og kommer i vesentlig grad av det høyere temperaturfall gjennom anlegget.

#### Kapasitetsøkning ved øking av heteflatten i ett trinn.

-----

På grunn av beleggplagen fordobles ofte 1. trinn slik at den ene halvpart kan gjøres skikkelig ren mens den andre er i drift. I perioder med svært vannholdig råstoff, kan det være ønskelig å bruke også reservetrinnet for å øke kapasiteten på inndampingen. Det enkleste er da å kjøre reservetrinnet sammen med 1. trinn, altså fordoble heteflatten i 1. trinn. Alle trinn har samme heteflate, og reservetrinnet kan også tenkes satt inn sammen med ett av de andre trinn, spesielt da 4. trinn, for om mulig å få enda større kapasitetsøkning. Går en ut fra at varmeovergangstallene forblir noenlunde de samme om heteflatten fordobles i ett trinn, samt at temperaturen er  $130^{\circ}\text{C}$  i dampkappe til 1. trinn og  $40^{\circ}\text{C}$  i væsken i 4. trinn, vil en ved bruk av reservetrinnet sammen med hvert av de andre trinn, altså ved fordobling av heteflatten i ett av trinnene, få temperatur- og kapasitetsforhold som gjengitt i tabell 14.

Som en ser av tabell 14 blir ikke kapasitetsøkningen så stor ved fordobling av heteflatten i 1.-2. eller 3. trinn, hverken ved driftsmåte I eller II. Kapasitetsøkningen blir avgjort størst ved fordobling av 4. trinn. Ved driftsmåte I vil en da få en økning på ca. 39 %, mens økningen ved driftsmåte II blir ca. 25 %. Ved driftsmåte II vil da kapasiteten ligge ca. 26 % over driftsmåte I.

I tilfelle reservetrinnet bare kan brukes sammen med 1. trinn vil kapasitetsøkningen bli ca. 8 % ved driftsmåte I og ca. 15 % ved driftsmåte II. Ved driftsmåte II vil da kunne oppnås ca. 50 % høyere kapasitet enn ved driftsmåte I. Det er også bemerkelsesverdig at varmekonsumet både ved driftsmåte I og II, blir avgjort best ved øking (fordobling) av heteflatten i 4. trinn.

#### Nåværende inndampingsmuligheter ved Vadsø Sildoljefabrikk A/S.

-----

Ved Vadsø Sildoljefabrikk er anskaffet et reservetrinn til 1. trinn på  $425\text{ m}^2$ . Dette vil kunne kjøres som 1. trinn alene eller sammen med det opprinnelige 1. trinn. Der er også laget mulighet for å kunne kjøres 3. og 4. trinn sammen som 3. trinn ved 3 trinns inndamping.

Ved 4 trinns inn-damping vil som 1. trinn kunne kjøres:



- a) det gamle 1. trinn alene = 283 m<sup>2</sup>  
 b) " nye 1. " " = 425 "  
 c) begge disse sammen = 708 "

Hvordan temperaturfordeling, kapasitetsforhold og varmemøkonomi da vil bli, fremgår av tabell 15.

Tabell 15. Ved 4 trinns inndamping.

Kombinasjon:	Driftsmåte I			Driftsmåte II		
	a	b	c	a	b	c
Heteflate 1. trinn (m <sup>2</sup> )	283	425	708	283	425	708
Temp.fall 1. trinn (°C)	12	9	6	23	16,5	11
2. " "	10	10	10	15	16	17
3. " "	17	18	19	18	19,5	21
4. " "	51	53	55	34	38	41
Totalt:	90	90	90	90	90	90
Væsketemperatur:						
1. trinn (°C)	118	121	124	107	113,5	119
2. " "	108	111	114	92	97,5	102
3. " "	91	93	95	74	78	81
4. " "	40	40	40	40	40	40
Ford. i 1. trinn (kg/h)	3.400	3.580	3.700	5.260	5.900	6.550
2. " "	3.660	3.840	3.980	4.780	5.130	5.440
3. " "	3.960	4.140	4.320	5.400	5.840	6.240
4. " "	4.360	4.600	4.840	6.160	6.730	7.370
Totalt: (kg/h)	15.380	16.160	16.840	21.600	23.600	25.600
Limvannskapasitet (kg/h)	19.240	20.200	21.050	27.000	29.500	32.000
Dampforbruk (kg/h)	4.620	4.950	5.230	6.640	7.500	8.390
" (kg/kg vann)	0,302	0,306	0,311	0,306	0,318	0,328
Varmeforbr. (kcal/kg v.)	157	159	161,5	159	165	170,5
Kapasitetsøkning i forhold til a) (%)	0	5	9,5	0	9,3	18,5
Kapasitetsøkning driftsmåte II i forhold til samme kombinasjon driftsmåte I (%)				40,5	46,0	52,0

Som en ser vil heteflateøkning i 1. trinn medføre størst kapasitetsøkning ved driftsmåte II, men økningen er ikke i noe tilfelle stor i forhold til økningen i 1. trinns heteflate. Også her er det tydelig at driftsmåte II vil kunne gi adskillig større kapasitet enn driftsmåte I.

Ved 3 trinns inndamping vil som 1. trinn kunne brukes:

- a) det gamle 1. trinn alene = 283 m<sup>2</sup>  
 b) " nye 1. " " = 425 "  
 c) begge disse sammen = 708 "

på samme måte som ved 4 trinns inndamping. Ved 3 trinns inndamping blir da

- Heteflaten i 2. trinn = 283 m<sup>2</sup>  
 " " 3. " = 566 "

Ved 3 trinns inndamping vil væskeegenskapene bli omtrent som følger:

Tabell 16.

	<u>Tørrstoff</u>	<u>Spes. varme</u>
Limvann:	8 %	0,95
1. inndamping:	10,8 "	0,94
2. "	17,0 "	0,90
3. "	40,0 "	0,76

Da tørrstoffinnholdet er det samme i konsentrattrinnet, kan en under ellers like forhold regne med samme varmeovergangstall for dette ved 3 trinns som ved 4 trinns inndamping. I limvannstrinnet er også tørrstoffinnholdet praktisk talt det samme, og dermed skulle en også for dette under ellers like forhold kunne regne samme varmeovergangstall ved 3 trinns som ved 4 trinns inndamping. Tørrstoffinnholdet i mellomtrinnet ved 3 trinns inndamping (ca. 17 %) er som en ser praktisk talt det samme som middeltallet for de to mellomtrinn ved 4 trinns inndamping (13 og 20 %), og da temperaturen også vil ligge mellom disse trinns temperaturer, kan en regne med at varmeovergangstallet for mellomtrinnet ved 3 trinns inndamping vil være temmelig lik middeltallet for de to mellomtrinn ved 4 trinns inndamping. Dermed skulle en kunne gå ut fra følgende:

Tabell 17. Midlere varmeovergangstall ved 3 trinns inndamping.

	<u>Driftsmåte I</u>	<u>Driftsmåte II</u>
1. trinn	700	550
2. "	500	600
3. "	150	300

Går en videre ut fra dampkappetemperatur  $130^{\circ}\text{C}$  i 1. trinn og væsketemperatur  $40^{\circ}\text{C}$  i 3. trinn skulle en da få

Tabell 18. Ved 3 trinns inndamping.

Kombinasjon	Driftsmåte I			Driftsmåte II		
	a	b	c	a	b	c
Heteflate 1. trinn (m <sup>2</sup> )	283	425	708	283	425	708
Temp.fall 1. trinn (°C)	20	15	10	35	27	18
2. " "	24	26	27	26	30	35
3. " "	46	49	53	29	33	37
Totalt:	90	90	90	90	90	90
Væsketemperatur:						
1. trinn (°C)	110	115	120	95	103	112
2. " "	86	89	93	69	73	77
3. " "	40	40	40	40	40	40
Ford. i 1. trinn (kg/h)	6,390	6,900	7,380	8,320	9,610	11,100
2. " "	7,050	7,650	8,240	9,000	10,120	11,300
3. " "	7,680	8,370	9,060	9,960	11,270	12,900
ZTotalt:	21,120	22,920	24,680	27,280	31,000	35,300
Limvannskapasitet (kg/h)	26,400	28,650	30,850	34,100	38,750	44,100
Dampforbruk (kg/h)	7,760	8,620	9,440	10,120	11,980	13,900
" (kg/kg vann)	0,368	0,376	0,382	0,371	0,386	0,394
Varmeforbr. (kcal/kg v.)	191	195	198	193	200	205
Kapasitetsøkning i forhold til a) (%)	0	8,5	16,9	0	13,6	29,4
Kapasitetsøkning ved driftsmåte II i forhold til kombinasjon ved driftsmåte I (%)				29,2	35,3	43,1

Det fremgår av tabellen foran at ved 3 trinns inndamping med 3. og 4. trinn sammen som 3. trinn vil kunne oppnås ganske stor kapasitet, men også stort dampforbruk. Ved dampkappetemperature ca. 130°C, altså uten større anstrengelse av anlegget, skulle kunne oppnås en fordamping på ca. 30 tonn vann/h ved driftsmåte II, mens en ved driftsmåte I antakelig må regne med noe mindre. Dampbehovet bare til inndampingen vil da bli 11-12 tonn/h.

Som en ser er også her som ved 4 trinns inndamping temperaturfallet adskillig jevnere over hvert trinn ved driftsmåte II enn ved I. Som ved 4 trinns inndamping fører dette til større temperaturdifferanse mellom heteflate og væske i 1. trinn ved driftsmåte II enn ved I, og dermed også til samme refleksjoner med hensyn til muligheter for beleggdannelse ved forskjellige kapasitetsforhold.

Som det fremgår av tabell 18 foran vil driftsmåte II kunne gi 29-43 % kapasitetsøkning i forhold til driftsmåte I, men samtidig må en altså sannsynligvis regne med større beleggplage, i hvert fall i 1. trinn.

Ellers ser en ved sammenlikning med tabell 15 at økning av heteflaten i 1. trinn gir relativt større kapasitetsøkning ved 3 trinns enn ved 4 trinns inndamping.

Etterfølgende tabell 19 viser hvordan kapasitetsforhold og damp- og varmemeforbruk blir ved forskjellige kombinasjoner i 1. trinn ved 4 trinns inndamping, og ved 3 trinns inndamping med 3. og 4. trinn sammen som 3. trinn. Av tabell 19 fremgår det at ved 3 trinns inndamping i forhold til 4 trinns vil kapasiteten ved driftsmåte I alt etter kombinasjon i 1. trinn, kunne økes med 37-46 %, mens tilsvarende økning ved driftsmåte II vil bli 26-38 %. Samtidig vil som en ser, dampbehovet øke med 68-80 % ved driftsmåte I, og 52-66 % ved driftsmåte II.

Dampforbruket og dermed varmemeforbruket pr. kg fordampet vann vil ved 3 trinns i forhold til 4 trinns inndamping, øke med 20-23 %, alt etter kombinasjon og driftsmåte. Økningen er praktisk talt den samme ved begge driftsmåter. Derimot synes varmemeforbruket å være gjennomgående noe høyere ved driftsmåte II enn ved I, men bare ubetydelig.

Regner en med fyroljepris ca. 135 kr/tonn og 70 % total virkningsgrad for dampforbruket, vil økningen i brenselomkostninger ved 3 trinns i forhold til 4 trinns inndamping bli 6,50-7,00 kr/tonn fordampet vann, uansett driftsmåte. Ved en gjennomsnittlig fordamping på f.eks. 20 tonn/h i f.eks. 50 døgn/år betyr dette 156-168.000 kr/år i økede brenselomkostninger ved 3 trinns inndamping.

Tabell 19 viser også at en eventuell økning av inndampingskapasiteten ved å bruke 3 trinns inndamping i stedet for 4 trinns, koster 54-55 kr/tonn øket fordampet vannmengde ved driftsmåte I, og 57-61 kr/tonn ved driftsmåte II.

Tabell 19.

Kombinasjon 1. trinn	Driftsmåte I			Driftsmåte II		
	a	b	c	a	b	c
<b>Totalt fordampet vann:</b>						
3 trinns innd. (kg/h)	21.120	22.920	24.680	27.280	31.000	35.300
4 " " "	15.380	16.160	16.840	21.600	23.600	25.600
Økning ved 3 trinns inndamping (kg/h)	5.740	6.760	7.840	5.680	7.400	9.700
(%)	37,2	41,8	46,5	26,3	31,4	37,8
<b>Dampforbruk:</b>						
3 trinns innd. (kg/h)	7.760	8.620	9.440	10.120	11.980	13.900
4 " " "	4.620	4.950	5.230	6.640	7.500	8.390
Økning ved 3 trinns inndamping (kg/h)	3.140	3.670	4.210	3.480	4.480	5.510
(%)	68,0	74,0	80,5	52,4	59,7	65,7
<b>Dampforbruk i kg/kg fordampet vann:</b>						
3 trinns innd. (kg/kg v)	0,368	0,376	0,382	0,371	0,386	0,394
4 " " "	0,302	0,306	0,311	0,306	0,318	0,328
Økning ved 3 trinns inndamping (kg/kg v)	0,066	0,070	0,071	0,065	0,068	0,066
(%)	21,8	22,9	22,8	21,2	21,4	20,1
<b>Varmeforbruk i kcal/kg fordampet vann:</b>						
3 trinns inndamping	191	195	198	193	200	205
4 " " "	157	159	161,5	159	165	170,5
Økning ved 3 trinns inndamping (kcal/kg v)	34	36	36,5	34	35	34,5
<b>Varmeforbruk i kr/tonn fordampet vann ved oljepris 1,35 kr/kg og virkningsgrad 70 % (totalt):</b>						
3 trinns inndamping	36,90	37,60	38,20	37,20	38,60	39,60
4 " " "	30,30	30,70	31,20	30,70	31,80	32,90
Økning ved 3 trinns inndamping	6,60	6,90	7,00	6,50	6,80	6,70
<b>Økning i brenselomkostninger i kr/tonn øket fordamping</b>	54,70	54,30	53,70	61,20	60,60	56,90

Sammendrag og konklusjon.

På grunnlag av kontroll som ble gjennomført i 1957 ved inndampingsanlegget ved Vadsø Sildoljefabrikk A/S kan en ved 4 trinns inndamping av limvann antakelig regne følgende midlere varmeovergangstall som rimelige:

Væskegang:	Driftsmåte I	Driftsmåte II
	<u>1.-2.-3.-4. trinn</u>	<u>2.-3.-4.-1. trinn</u>
Varmeovergangstall (kcal/m <sup>2</sup> h°C)		
1. trinn	700	550
2. "	650	700
3. "	400	500
4. "	150	300

Ved dampkappetemperatur 130°C i 1. trinn og væsketemperatur 40°C i 4. trinn, vil da ved pågangstemperatur 85°C for limvannet kunne oppnås total fordampingskapasitet

ca. 15,4 tonn/h ved driftsmåte I  
" 21,6 " " " II

Ved driftsmåte II vil altså kunne oppnås en kapasitetsøkning på ca. 40 % i forhold til driftsmåte I. Temperaturdifferansen mellom heteflate og væske i 1. trinn vil da være:

ca. 12°C ved driftsmåte I  
" 23 " " " II

For å kunne oppnå fordampingskapasitet 20 tonn vann/h ved væsketemperatur 40°C i 4. trinn må i 1. trinn brukes

Dampkappetemperatur 157°C ved driftsmåte I  
" 123 " " " II

altså 34°C høyere kappetemperatur ved driftsmåte I. Temperaturforskjellen mellom heteflate og væske i 1. trinn blir da

18°C ved driftsmåte I  
20 " " " II

altså lite forskjellig.

Kapasitetsøkningen ved f.eks. fordobling av heteflaten i ett trinn vil være størst hvis denne fordobling skjer i 4. trinn. En vil da kunne oppnå en kapasitetsøkning på

ca. 39 % ved driftsmåte I  
" 25 " " " II

Ved fordobling av heteflaten i 1. trinn vil kunne oppnås en kapasitetsøkning på

ca. 8 % ved driftsmåte I  
" 15 " " " II

Det nye 1. trinn som har 50 % større heteflate enn det gamle = 425 m<sup>2</sup>, vil kunne gi en kapasitetsøkning på

ca. 5 % ved driftsmåte I  
" 9 " " " II

Ved å bruke det gamle og det nye trinn sammen som 1. trinn vil 1. trinns heteflate økes med 150 % til 708 m<sup>2</sup>. Kapasiteten for hele anlegget vil da i forhold til tidligere kunne økes med

ca. 9,5 % ved driftsmåte I  
" 18,5 " " " " II

Med 150 % større heteflate i 1. trinn vil ved totalt temperaturfall 90°C (130°C kappetemperatur i 1. trinn) kunne oppnås fordampingskapasitet

ca. 16,8 tonn/h ved driftsmåte I  
" 25,6 " " " " II

altså ca. 52 % mer ved driftsmåte II enn ved I.

Ved 3 trinns inndamping ved å bruke 3. og 4. trinn sammen som 3. trinn vil ved totalt temperaturfall 90°C og alt etter hvilken heteflate som brukes i 1. trinn, kunne oppnås en fordampingskapasitet, på

21;1-24;7 tonn/h ved driftsmåte I  
27;3-35;3 " " " " II

altså 30-43 % mer ved driftsmåte II enn ved I. Kapasitetsøkningen i forhold til 4 trinns inndamping med samme totale temperaturfall blir (alt etter hvilken heteflate som brukes i 1. trinn):

37-47 % ved driftsmåte I  
26-38 " " " " II

Santidig vil dampbehovet pr. tonn fordampet vann stige med 20-23 %.

Dampbehovet kan en regne med blir

0,368-0,394 ved 3 trinns inndamping  
0,302-0,328 " 4 " " "

Økningen i varmeforbruk ved 3 trinns i forhold til 4 trinns inndamping, kan en regne med blir

34-36 kcal/kg fordampet vann.

Med fyroljepris 135 kr/tonn og 70 % total virkningsgrad, tilsvarer dette

6,50-7,00 kr/tonn fordampet vann.

Det skulle etter dette synes rimelig å dra følgende konklusjon:

Ved samme totale temperaturfall vil driftsmåte II antakelig kunne gi gjennomgående adskillig (40-50 %) større fordampingskapasitet enn driftsmåte I, men antakelig også større beleggplage i 1. trinn både på grunn av større temperaturforskjell mellom heteflate og væske og på grunn av høyere tørrstoffinnhold i væsken.

Ved samme fordampingskapasitet vil temperaturforskjellen mellom heteflate og væske i 1. trinn bli lite forskjellig for de to driftsmåter. Derimot vil både kappe- og væsketemperatur i 1. trinn ligge adskillig lavere ved driftsmåte II enn ved driftsmåte I.

I dette tilfelle vil altså ikke temperaturforholdene kunne føre til sterkere beleggdannelse i 1. trinn ved driftsmåte II enn ved I, snarere tvert imot. Tørrstoffinnholdet i væsken i 1. trinn er imidlertid også i dette tilfelle adskillig høyere ved driftsmåte II enn ved driftsmåte I, og dette kan føre til at beleggdannelsen likevel blir sterkest ved driftsmåte II.

Kapasitetsøkningen ved det nye 1. trinn som har 50 % større heteflate enn det gamle, vil bli relativt liten. Selv om det gamle og det nye trinn kjøres sammen som 1. trinn vil kapasitetsøkningen bli forholdsvis liten. Typisk er imidlertid at økningen i alle tilfeller blir størst ved driftsmåte II.

Også ved 2. og 3. trinn vil en økning av heteflaten gi relativt liten økning av kapasiteten. En tilsvarende økning av heteflaten i 4. trinn vil derimot gi ganske stor kapasitetsøkning.

Ved 3 trinns inndamping med 3. og 4. trinn sammen som 3. trinn, vil kunne oppnås en betydelig økning av kapasiteten, men samtidig vil også dampforbruk og brenselomkostninger stige ganske betydelig.

Bergen, 21.9.1964.

Einar Sola.



Tabell 1. Væskegang 1.-2.-3.-4. trinn.

	Onsdag	Fredag		Lørdag	Middel totalt
		I	II		
Limvannsmengde (kg/h)	7.730	10.460	19.000	16.420	
Konsentratmengde "	2.040	2.890	5.070	4.430	
Fordampet (kg/h)	5.690	7.570	13.930	11.990	
<u>Temperaturer:</u>					
Pågangsvæske (°C)	83,5	86,0	88,0	84,5	
Dampkappe 1. trinn "	113,5	135	150,5	139,8	
Væske 1. trinn "	104,0	118,5	130,5	122,8	
" 2. " "	94,2	108,0	121,2	113,2	
" 3. " "	79,0	93,5	105,5	99,0	
" 4. " "	36,2	42,0	48,8	40,0	
Beregnet fordamping					
1. trinn (kg/h)	1300	1690	3070	2650	
2. " "	1370	1800	3260	2810	
3. "" "	1430	1900	3510	3000	
4. " "	1590	2180	4090	3530	
Beregnet dampforbruk (kg/h)	1660	2430	4780	3960	
(kg/kg fordampet vann)	0,292	0,321	0,342	0,330	0,321
Varmeforbruk (kcal/kg ford.v.)	155	165	173	169	165
Beregnet varmeovergangstall					
1. trinn (kcal/m <sup>2</sup> h°C)	340	276	437	455	377
2. " "	260	310	622	525	429
3. " "	178	241	396	380	300
4. " "	68	73	120	100	90
Tørrstoff i limvann (%)	9,2	9,5	9,2	9,3	9,3
Tørrstoff i konsentrat "	34,9	34,4	34,4	34,5	34,5
Beregnet tørrstoff i væske i					
1. trinn (%)	11,1	11,3	11,0	11,1	
2. " "	14,1	14,3	13,8	13,9	
3. " "	19,6	19,6	19,1	19,2	

Tabell 2. Vækegang 2.-3.-4.-1. trinn.

	Mandag		Tirsdag	Onsdag	Fredag	Middel
	I	II				
Limvannsmengde (kg/h)	5.660	12.630	19.930	19.350	32.500	
Konsentrat "	1.995	3.690	5.400	5.800	9.300	
Fordampet ialt (kg/h)	3.665	8.940	14.530	13.550	23.200	
Tørrstoff i kons. (%)	27,8	31,5	28,4	30,7	27,6	
<u>Temperaturer:</u>						
Pågangsvæske ( $t_1$ ) ( $^{\circ}\text{C}$ )	77	87	88,2	88,2	84,7	
Dampkappe 1.tr. ( $t_0$ ) "	87	76,8	106,5	119	116,2	
Væske 1. trinn ( $t_1$ ) "	78,5	69,8	88	106	99,8	
2. " ( $t_2$ ) "	68	62,2	81	94,2	87,2	
3. " ( $t_3$ ) "	55,5	53,8	65,8	78,2	72,5	
4. " ( $t_4$ ) "	33,5	38,2	38,5	47,2	44,8	
<u>Beregnet fordamping:</u>						
1. trinn (kg/h)	800	1780	3210	3300	5520	
2. " "	880	2260	3410	3010	5260	
3. " "	945	2380	3740	3360	5820	
4. " "	1040	2520	4170	3880	6600	
Beregnet dampforbr. "	1050	2105	4025	4200	7070	
(kg/kg fordampet vann)	0,286	0,235	0,278	0,310	0,305	0,282
Varmeforbruk (kcal/kg ford.vann)	157	130	148	163	161	152
<u>Beregnet varmeoverg.tall</u>						
1. tr. (kcal/m <sup>2</sup> h <sup>0</sup> C)	244	603	425	617	828	543
2. " "	180	590	1100	623	975	694
3. " "	149	505	465	383	725	461
4. " "	90	326	285	222	432	271
Tørrstoff i limvann (%)	9,8	9,2	7,7	9,2	7,9	
<u>Beregn. tørrstoff i væske</u>						
1. trinn	27,8	31,5	28,4	30,7	27,6	29,2
2. " "	11,6	11,2	9,3	10,9	9,4	10,5
3. " "	14,4	14,5	12,0	13,7	12,0	13,3
4. " "	19,8	21,2	17,8	19,6	17,3	19,1

Tabell 14.

	Driftsmåte I				Driftsmåte II			
	1	2	3	4	1	2	3	4
Temperaturfall i 1. trinn (°C)	7	13	13,5	16	13	25	25	26,5
2. " "	11	5,5	11	13	17	8	16	17
3. " "	18	18	10	24	20	19	10,5	23,5
4. " "	54	53,5	55,5	37	40	38	38,5	23
Totalt:	90	90	90	90	90	90	90	90
Væsketemperatur 1. trinn (°C)	123	117	116,5	114	117	105	105	103,5
2. " "	112	111,5	105,5	101	100	97	89	86,5
3. " "	94	93,5	95,5	77	80	78	78,5	63
4. " "	40	40	40	40	40	40	40	40
Fordampet i 1. trinn (kg vann/h)	3.630	3.740	3.880	4.650	6.290	5.840	5.910	6.270
2. " "	3.930	3.870	4.160	5.050	5.330	5.160	5.540	6.070
3. " "	4.270	4.170	4.330	5.610	6.070	5.840	5.940	7.000
4. " "	4.730	4.660	4.870	6.050	7.110	6.760	6.850	7.620
Totalt:	16.560	16.440	17.240	21.360	24.800	23.600	24.240	26.920
Limvannskapasitet (kg/h)	20.700	20.550	21.550	26.700	31.000	29.500	30.300	33.700
Dampforbruk (kg/h)	5.110	5.010	5.180	6.160	8.030	7.320	7.410	7.880
(kg/kg vann)	0,309	0,304	0,301	0,288	0,324	0,310	0,306	0,292
Varmeforbruk (kcal/kg vann)	160,5	158	156	149,5	168	161	159	151,5
Kapasitetsøkning i forhold til ingen fordobling (%)	7,7	6,9	12,1	38,8	14,8	9,3	12,2	24,6
Kapasitetsøkning ved driftsmåte II i forhold til driftsmåte I ved samme trinnfordobling (%)					50	43,5	40,5	26,0

1

1

1

1

1  
1