

DNMI - RAPPORT

DET NORSKE METEOROLOGISKE INSTITUTT
POSTBOKS 320 BLINDERN 0314 OSLO 3
TELEFON : (02) 60 50 90

ISBN

RAPPORT NR.

35/85 KLIMA

DATO

16.08.1985

TITTEL

BESTEMMELSE AV TEMPERATUREN
I ET VANNRESERVOAR

UTARBEIDET AV

SOFUS LINGE LYSTAD

OPPDRAGSGIVER

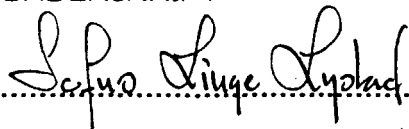
TIEDEMANN'S

OPPDRAGSNR.

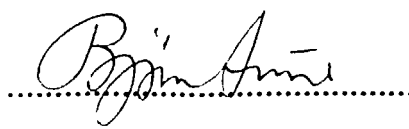
SAMMENDRAG

I forbindelse med et akvakultur prosjekt i Portugal var det nødvendig å beskrive temperaturforløpet gjennom året i definerte vannreservoarer, "Salinas". Energetisk og hydrologisk budsjett for disse er diskutert. Effekten av fordampningshindrende tiltak er vurdert.

UNDERSKRIFT



Sofus Linge Lystad
PROSJEKTLEDER



Bjørn Aune
FAGSJEF

BESTEMMELSE AV TEMPERATUREN

I ET VANNRESERVOAR.

Innholdsfortegnelse

1. Innledning.	side 1.
2. Teoretiske resultater.	side 2.
3. Reservoarparametre som har direkte betydning for vanntemperaturen.	side 4.
4. Direkte fordampningshindrende tiltak.	side 7.
5. Numeriske resultater.	side 10.
6. Konklusjon.	side 29.

Appendiks

A1. TIEDEMANNNS forespørsel.	
A2. Energibalanseligningen for et vannreservoar.	
A3. Symbolliste.	
A4. Fordampningshindrende tiltak; litteraturoversikt.	
A5. Referanseliste.	

1. Innledning

Denne rapporten er et resultat av en henvendelse fra firma TIEDEMANN'S som er gjengitt i appendiks 1.

Problemstillingen var å bestemme temperaturens gang gjennom året i et definert vannreservoar i Portugal under påvirkningen av de stedlige klimaforhold.

Metodikk for en manipulasjon av vanntemperaturen var også av interesse å få undersøkt.

Det ble så utført en teoretisk studie som er referert i appendiks 2 med utgangspunkt i energibalansen for et generelt vannreservoar med løsning av en differensialligning for vanntemperaturen som resultat.

Med basis i dette ble det utviklet et interaktivt EDB-program til bestemmelse av de hydrologiske- og energetiske budsjetter som igjen bestemmer vanntemperaturen .

Noen resultater fra forsøk med direkte fordampningshindrende tiltak (monomolekulære filmer) er referert.

2. Teoretiske resultater.

Vanntemperaturen i et reservoar lar seg beskrive ved en førsteordens ikke-lineær differensialligning (appendiks 2):

$$\frac{dT_V}{dt} + \frac{T_V}{s} = \frac{T_E}{s}$$

hvor T_V er vanntemperaturen.

T_E er en definert "likevektstemperatur" gitt ved:

$$T_E = (T_{EA} \cdot s_H + T_I \cdot s_A) / (s_H + s_A)$$

s er en skalafaktor for tid som gir et mål på vanntemperaturens endring i retning av T_E .

Denne er gitt som:

$$s = (s_A \cdot s_H) / (s_H + s_A)$$

Både T_E og s er satt sammen av faktorer som skyldes atmosfæriske (energetiske) påvirkninger (T_{EA} , s_A), og den hydrologiske balansen, naturlig og/eller kunstig inn eller utstrømning (T_I , s_H).

T_I er midlere (veiet) temperatur på tilførte vannmengder og s_H er tidsskalaen for denne tilførselen gitt ved

$$s_H = M/M_I$$

der M er reservoarmassen (volum) og M_I masse eller volum av de tilførte vannmengder.

Tidsskalaen for de atmosfæriske påvirkningene er uttrykt som

$$s_A = r_0 \cdot c \cdot H / (L \cdot f(U) \cdot (e' + g) + 4 \cdot s_B \cdot T_w^3)$$

og likevektstemperaturen som følger av disse påvirkningene er gitt via

$$T_{EA} = T_w + R / (L \cdot f(U) \cdot (e' + g) + 4 \cdot s_B \cdot T_w^3)$$

T_w "wet-bulb" temperaturen i luften like over vannflaten. For øvrige symboler henvises til appendiks 3.

Ved en form for linearisering av differensialligningen via krav om at om at T_E og s kan ansees som tilnærmet konstante innen en periode på N tidsenheter Δt (eksempelvis døgn) finnes en løsning som

$$T_v(t_0 + N \cdot \Delta t) = \bar{T}_E + (T_v(t_0) - \bar{T}_E) \cdot \exp(-N \cdot \Delta t / s)$$

Velges Δt lik 1 døgn vil $T_v(t_0 + N \cdot \Delta t)$ være vanntemperaturen N døgn etter et vilkårlig starttidspunkt t_0 .

$T_v(t_0)$ er en gitt initiell vanntemperatur (ved tiden $t = t_0$), og \bar{T}_E, s er midlere verdier av T_E og s innen perioden på N døgn.

Dette uttrykket vil danne basis for de numeriske beregningene.

3. Reservoarparametre som har direkte betydning for vanntemperaturen.

3.1 Midlere vanddyb.

Utfra uttrykkene for s_A og s_H sees at begge er direkte proporsjonale med vanddypet. Den kombinerte tidsskala vil derved også være proporsjonal med vanddypet.

Et lite dyp vil derfor medføre at vanntemperaturen lettere (raskere) justerer seg etter de ytre påvirkninger. Likevektstemperaturen vil hele tiden være den assymptotiske verdien for vanntemperaturen.

Praktisk sett vil den termiske masse og dermed treghet være proporsjonal med vanddypet.

3.2 Albedo (refleksjonsevne).

Med albedo forståes forholdet (kvotienten) mellom den reflekterte kortbølgete strålingsfluks og den innkomne kortbølgete strålingsfluks.

Denne kan matematisk uttrykkes som

$$a = \int r_1 q_{\lambda}(l) dl / \int q_{\lambda}(l) dl$$

der $Q_{\lambda} = \int q_{\lambda}(l) dl$ og $q_{\lambda}(l)$ er innstrålt flux på bølgelengden l og r_1 er den spektrale refleksjonskoeffisienten for den samme bølgelengden.

Albedoen vil for de fleste praktiske formål kunne betraktes som en konstant (integrert) verdi, det vil si

$$Q_{\lambda R} = a \cdot Q_{\lambda}$$

uavhengig av bølgelengden.

Albedo avhenger ikke bare av selve flatetypen, men også av solhøyde, dvs. under hvilken vinkel strålingen treffer flaten. For midlere energiberegninger over en dag eller lengre perioder er solhøydeavhengigheten av liten praktisk betydning og man velger å se bort fra denne i dette arbeid.

Fra den utviklede ligningen for strålingsbalansen (appendiks 2) sees at albedoen inngår som et fratrukk for energitilskuddet for vannflaten. Desto mindre albedoen er for en flate desto større vil evnen for flaten og dermed reservoaret være til å "utnytte" den tilgjengelige strålingsenergien. En liten albedo vil gi en bedre absorpsjon av energi.

3.3 Saltholdighet.

Oppløst salt i vannet har primært den virkning at metningsstrykket for vanddamp reduseres i luften som har kontakt med denne.

Reduksjonen kan uttrykkes som

$$e_s = e_w (1 - 0.000537 \cdot S)$$

e_s og e_w er metningstrykkene over henholdsvis saltvann og "rent" vann, S er saltholdighet i promille.

Fordampningen fra en vannflate er proporsjonal med vandedamptrykkgradienten mellom flaten og den omgivende luften og økende saltinnhold har derfor en reduserende effekt på fordampningen.

Eksperimenter (WMO 1966) viser at reduksjonen øker med ca. 1% pr. 1% økning i spesifikk vekt for oppløsningen inntil utfelling av salt starter.

En redusert fordampning vil gi mer energi til hevning av vanntemperaturen.

3.4 Forstyrrelse av vannflaten, bølger.

For vann i bevegelse er fordampningen større enn for vann i ro. Dannes bølger vil fordampningen øke ytterligere.

For vann i sterk og rotete bevegelse (eksempelvis bobbleannlegg) kan oppnåes en såkalt "mekanisk fordampning". Vann vil kunne slynges ut fra vannflaten og forstøves i luften over. Leddet Q_w (energi brakt vekk via fordampet vann) vil øke signifikant og bidra til en senkning av vanntemperaturen.

Fordampningen fra dråper som slynges ut vil også være større enn den midlere fordampning fra en plan flate under ellers like atmosfæriske betingelser.

3.5 Sammenfatning.

Fordampning er sett fra vanntemperaturens side et energisluk hvis effekt bør reduseres i størst mulig grad.

Vannflaten bør holdes mest mulig i ro og direkte fordampningshindrende tiltak bør iverksettes.

For å øke den termiske treghet i reservoaret bør dybden økes. De numeriske beregningene viser at for et dyp på ca. 5m vil den atmosfæriske tidsskala være ca. 10 døgn.

En reduksjon i albedoen for vannflaten vil også ha en gunstig virkning og dessuten være relativt enkelt realiserbar.

4. Direkte fordampningshindrende tiltak.

4.1 Generell teori.

Problemene med direkte å redusere eller hindre fordampning fra et vannreservoar har vært studert i tørre regioner i Australia, Afrika og Amerika, kfr. appendiks 4.

En metode er å danne en "monolayer-film" på overflaten. Filmen består av alkoholer i området $C_{16} - C_{20}$ som danner lange kjeder, eksempelvis hexadecanol.

En direkte analyse av effektiviteten av slike tiltak er en relativt komplisert prosedyre.

Når en monomolekylær film (monolayer) legges ut over en vannflate reduseres fordampningen og derved leddet Q_E . Den energien som ellers ville ha vært benyttet til fordampning går nå isteden til en heving av vanntemperaturen. Ved at vanntemperaturen heves vil imidlertid også konduksjonsleddet Q_H (transporten av følbare varme) øke sammen med termalstrålingen Q_{DS} fra vannflaten.

Reservoaret vil altså raskt få en øket temperatur som så vil avta og det vil oppstå en ny termal likevekt hvor reservoaret har en "noe høyere" temperatur enn den som "normalt" eksisterer.

Dette gir mulighet til en formulering av effektiviteten av et fordampningshindrende tiltak på rent formell basis.

For leddene i energibalanseligningen betegnes tilstanden etter appliseringen av en fordampningshindrende film med merkede bokstaver, tilstanden før (naturlig) med umerkede.

En redusert fordampning vil medføre:

$$Q_E' - Q_E < 0$$

dette vil igjen si en økning i Q_H og Q_{DS} :

$$(Q_{DS}' - Q_{DS}) + (Q_H' - Q_H) > 0$$

Den nye likevektstilstanden er da karakterisert ved

$$(Q_E' - Q_E) + (Q_{DS}' - Q_{DS}) + (Q_H' - Q_H) = 0$$

Bowen-forholdet som forbinder Q_E med Q_H vil ikke lenger være umiddelbart gyldig etter at de fordampningshindrende tiltak er iverksatt og leddet Q_H må uttrykkes ved en "bulk transfer"-funksjon:

$$Q_H = K \cdot U \cdot (T_V - T_A)$$

Som før vil

$$Q_{BB} = e_m \cdot s_B \cdot T_V^4$$

Dette gir en formell ligning

$$(Q_E' - Q_E) + e_m' \cdot s_B \cdot T_V'^4 - e_m \cdot s_B \cdot T_V^4 + K' \cdot U' \cdot T_V' - K \cdot U \cdot T_V = 0$$

som er av 4-grad i T_V' , og lar seg derfor analytisk løse:

$$T_V' = T_V'(Q_E' - Q_E, T_V, e_m, e_m', K, K', U, U')$$

For å finne en numerisk løsning må man kjenne emisjonsfaktor for den filmbelagte flaten og transportkoeffisientene for flaten før og etter filmen legges ut.

Siden filmen også har en effekt på overflatespenningen for vannflaten vil ruhetsparameteren endre seg og dermed effekten av vindforholdene.

Overnevnte betraktninger betinger homogene forhold med hensyn til filmdekning av flaten. Med vind vil filmen lett kunne drive på vannflaten og man vil få en dekningsgrad på mindre enn 100%. Dette kan imidlertid taes hensyn til ved en flatemessig veining av bidragene i energiligningen.

4.2 Praktiske resultater.

Det finnes en god del litteratur om bruken og effekten av fordampningshindrende mekanismer, noen referanser er gitt i appendiks 4.

Her skal bare refereres noen få resultater som kan ha relevans til denne spesifikke problemstillingen.

I fig. 1 er vist essensen av noen forsøk i Pactola reservoaret i USA (Bartholic et al. 1967). Størrelsen av dette reservoaret er ca. 600 acres eller 24 000 000 m². Effekten av tiltakene vises tydelig og gir opphav til en temperaturstigning på ca. 3. °C i de øvre lag av vannmassene. Virkninger i lag dypere enn 12.5 fot, ca. 3.8 m, synes neglisjerbare.

Disse resultatene stemmer bra overens med Crow (1961) hvor det rapporteres om en temperaturstigning på 3.0 C nær overflaten i et lite vann (7 fot dypt) og en økning på 1.7 °C i en dybde av ca. 5 fot.

Det er også referert problemer vedrørende dekkningsgraden for det monomolekylære laget. Denne påvirkes som nevnt av de stedlige vindforhold og annen forstyrrelse av vannet.

I Pactola forsøkene oppnådde man med en 70% dekkning en reduksjon av fordampningen på ca. 40% uansett hvilken temperatur vannet hadde før filmutleggingen.

Appliseringen av ulike kjemikalier kunne synes å ha en negativ effekt på en eventuell marin fauna, men hexadecanol som er benyttet i begge overnevnte forsøk har tydeligvis ingen slike negative virkninger.

I et sitat fra Roberts (1959) heter det:

".... A stricter rationing of the chemical (hexadecanol) might have effected some saving of the monolayer which was washed up on the windward shore. Problems that ordinarily would not confront owners of small lakes occurred at these lakes because they were used constantly in the fish hatchery program. Thousands of fingerlings were added or removed from lakes during the period of testing. These plus other aquatic life, such as turtles fed on the monolayer constantly."

En kombinasjon mellom et fordampningshindrende monolayer som også fungerer som en foringsmekanisme synes derfor mulig.

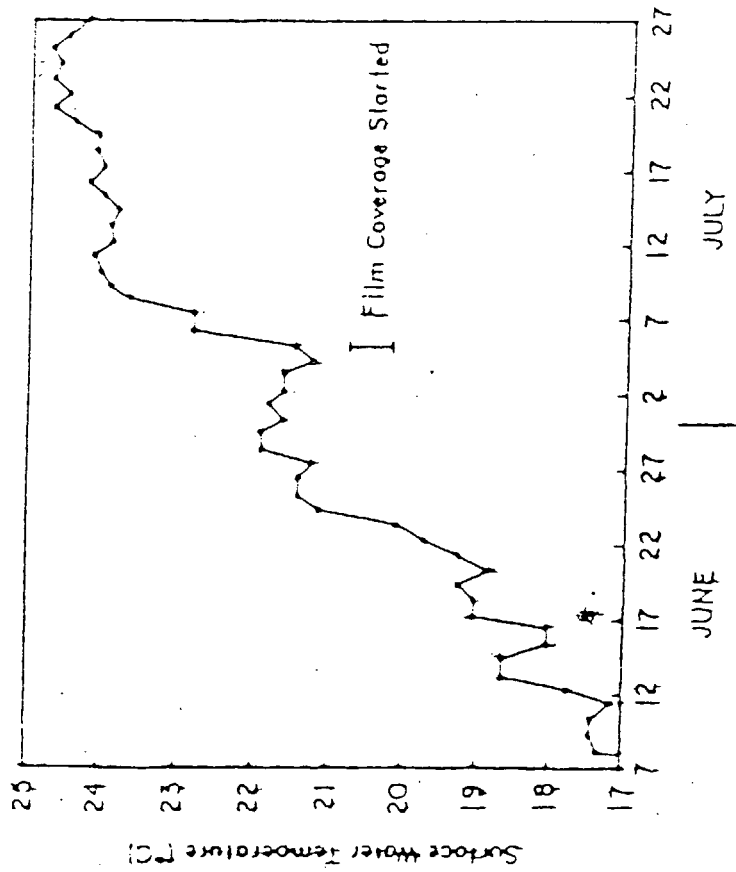


Fig. 1. Surface water temperature versus time of year at Pactola Reservoir, 1963.

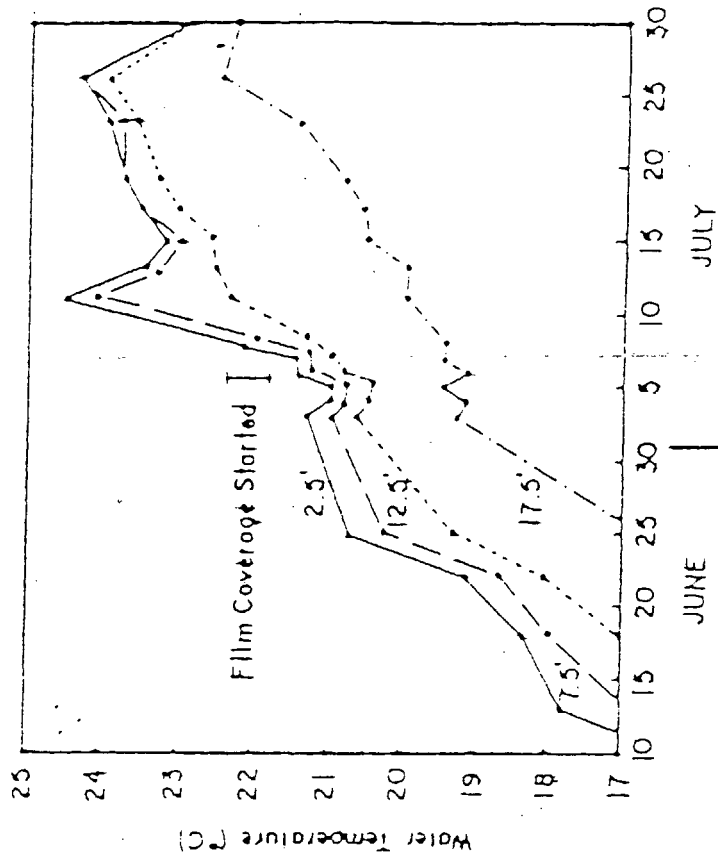


Fig. 2. Water temperature at various depths versus time of year at Pactola Reservoir, 1963.

BARTHOLOIC, J. F., RANKLES, J. R. and STENMARK, E. B. 1967. Effects of a monolayer on reservoir temperatures and evaporation. *Water Resources Research*. 3 (1): 173-180.

5. Numeriske resultater

Med utgangspunkt i den angitte løsningen av differensial-ligningen for vanntemperaturen er laget et interaktivt EDB-program for beregningen av denne på månedsbasis.

Programmet beregner også en del avledede klimatiske variable, noen av disse belyser direkte løsningen av vanntemperaturproblemet og vil bli diskutert både under avsnittene om inngangsvariable og resultatvariable.

Programmet er istand til å manipulere inngangsparametre (klima- og reservoar-parametre) samt generelle inngangsbetingelser som etterfylling av vann med ulik temperatur, reduksjon av fordampning og initial temperatur for reservoaret.

Det vil i det følgende bli gitt noen eksempler på resultater fra ulike start og drifts-betingelser for reservoaret.

5.1 Inngangvariable

Reservoarparametrene areal og vanndyp i tabell 5.1.1 er oppgitt av TIEDEMANN, albedo og salinitet er antatte verdier.

Vannareal	:	100000.0	m ²
Vanndyp	:	1.5	m
Vannalbedo	:	2.7	%
Salinitet	:	35.0	promille

Tabell 5.1.1 Reservoarparametre.

Som en beskrivelse av de midlere klimatiske forhold for området er benyttet klimatiske normalverdier for den meteorologiske stasjonen i FARO, Servicio Meteorologico Nacional (1952) , (1956), disse verdiene er listet i tabell 5.1.2 .

I samme tabell inngår også sjø(hav)temperatur, verdier som er oppgitt av TIEDEMANS.

Klimadata på månedsbasis betyr en mindre god oppløsning på de variable som programmet skal benytte sett på bakgrunn av størrelsen av den atmosfæriske tidsskalaen. For å få en noe bedre tilpassning til de aktuelle forhold er det lagt inn en kunstig termisk treghet i reservoaret. Praktisk vil dette si at vanndypet økes noe.

Summeres de oppgitte fordampningsverdiene for hver måned vil fordampningen i året være ca. 1800 mm. Dette er en verdi som er i samsvar med den originale bruk av disse vannmagasinene som "salinas". Verdien er kanskje litt i høyeste laget, og det er ikke i normalene oppgitt hvordan denne er målt, men det vil være rimelig å anta at det i målingene har vært benyttet enten et Piche-evaporimeter eller en fordampningstank.

Målingene med disse instrumentene vil gi noe høyere fordampningsverdier pr. flateenhet enn verdiene fra et stort vannmagasin som et resultat av en "oase-effekt".

Dette vises også i den beregnede fordampningen i tabell 5.1.3 som viser verdier i samme størrelsesorden, men med litt lavere verdier. Disse beregningene er foretatt uten å ta hensyn til noen form for fordampningshindrende tiltak.

FARO Lat. 37.0 Lon. 7.5 Alt. 2.0

PRES : Lufttrykk i stasjonsnivå RSD : Relativ solskinnstid
 TA : Lufttemperatur TSJ : Hav(sjø)temperatur
 UU : Relativ fuktighet EVA : Observert fordampning
 U10 : Vindhastighet i 10m nivå PRE : Nedbørsmengde

Md	PRES mb	TA °C	UU %	U10 m/s	RSD	TSJ °C	EVA mm	PRE mm
1	1019.1	12.0	77.8	3.4	0.56	15.6	105.0	58.5
2	1017.3	12.7	76.2	3.3	0.64	15.4	109.1	50.0
3	1014.7	14.3	74.9	3.2	0.62	15.8	127.6	58.3
4	1013.7	16.2	71.5	4.1	0.70	16.1	150.0	33.8
5	1013.4	18.1	71.4	3.9	0.71	18.3	167.0	18.6
6	1014.2	21.3	69.5	3.6	0.81	19.1	183.6	7.3
7	1013.6	24.0	66.0	3.3	0.85	20.4	224.8	0.6
8	1013.0	24.2	65.8	3.1	0.86	20.9	217.7	0.6
9	1014.0	22.1	71.3	2.9	0.74	20.8	169.7	21.7
10	1014.6	19.4	73.1	3.0	0.69	20.3	141.9	46.8
11	1015.7	15.4	76.2	3.1	0.61	17.8	114.6	68.6
12	1018.2	12.5	76.5	3.3	0.60	16.6	109.0	58.6

Tabell 5.1.2 Inngangsvariable: Klimadata.

Med en normal årlig nedbør på 423.4 mm er årsnormalen for vanndefisiten på -1396.6 mm. Dette medfører at ifølge målingene må et reservoar med et overflateareal på 100 000 m² etterfylles med et vannvolum på nær 140 000 m³ i løpet av året for å ha et konstant volum.

I tabell 5.1.3 er vist et beregnet hydrologisk budsjett med data for hver måned. Betingelsene for dette er at fordampningen skjer under en reservoartemperatur som er et resultat av en etterfylling av nedbør og havvann slik at volumet er konstant. Nedbøren tilordnes lufttemperaturen for hver måned og havtemperaturen er den som er gitt i tabell 5.1.2.

Som nevnt er den beregnede fordampning for hver måned mindre enn den som er oppgitt i normalene.

Pre : Observert nedbørsmengde
 Eber : Beregnet fordampling
 Def : Vanndefisit

Md	Pre	Eber	Def	Pre	Eber	Def
	mm/nd	mm/nd	mm/nd	m ³	m ³	m ³
1	58.5	93.1	-34.6	5850.0	9309.2	-3459.2
2	50.0	100.4	-50.4	5000.0	10041.0	-5041.0
3	58.3	109.0	-50.7	5830.0	10901.3	-5071.3
4	33.8	155.1	-121.3	3380.0	15514.5	-12134.5
5	18.6	158.9	-140.3	1860.0	15887.5	-14027.5
6	7.3	176.9	-169.6	730.0	17690.4	-16960.4
7	0.6	203.7	-203.1	60.0	20370.4	-20310.4
8	0.6	198.8	-198.2	60.0	19877.0	-19817.0
9	21.7	147.9	-126.2	2170.0	14788.4	-12618.4
10	46.8	130.9	-84.1	4680.0	13093.5	-8413.5
11	68.6	104.3	-35.7	6860.0	10426.1	-3566.1
12	58.6	98.6	-40.0	5860.0	9855.2	-3995.2

Tabell 5.1.3 Eksempel på et hydrologisk budsjett.

Den beregnede fordampling beløper seg til 1677.6 mm pr. år, hvilket gir med de normale nedbørverdiene en defisit som tilsvarer en etterfylling på ca. 125 500 m³, altså en reduksjon på nær 25 000 m³ i etterfyllingskapasitet.

5.2 Beregnede variable

Først beregnes en del klimaparametre som er nødvendige for den videre beregningsprosedyren. Disse er gitt nedenfor i tabell 5.2.1 .

Twet : Wetbulbtemperatur QM : Ekstrateristrisk stråling pr dag
Ea : Aktuelt vanndaaptrykk QSU : Ekstrateristrisk stråling pr ød

Md	Twet C	Ea mb	QM W/m ²	QSU W/m ²
1	9.87	10.7	146.2	4531.3
2	10.36	11.0	192.6	5971.7
3	11.69	12.0	251.5	7796.9
4	13.07	12.9	315.4	9778.6
5	14.78	14.6	359.5	11143.7
6	17.44	17.3	378.5	11732.3
7	19.38	19.4	369.5	11453.4
8	19.53	19.5	332.6	10311.7
9	18.39	18.6	273.3	8471.0
10	16.16	16.2	208.5	6464.4
11	12.84	13.1	155.3	4815.7
12	10.20	10.9	133.0	4123.6

Tabell 5.2.1 Beregnede klimavariabte.

Dette er variable som ligger til grunn for beregningen av både likevektstemperaturen og den atmosfæriske tidsskalaen. Disse basisvariable kan nå beregnes.

Det vil alltid beregnes en kombinert likevektstemperatur og tidsskala idet nedbøren tilordnes lufttemperaturen og blandes inn i reservoaret.

I denne spesielle problemstillingen er virkningen av innblandingene meget liten som en følge av sparsomme nedbørmengder. Nedbørmengden er størst når lufttemperaturen i middel er lavest (i vinterhalvåret) slik at innblandingene av nedbør får en svak negativ effekt.

Når det gjelder beregningen av likevektstemperatur og tidsskala er det mulig å velge en rekke initialbetingelser. Det er her vist 3 ulike typer som kan ha direkte interesse for problemet.

Det første eksempelet tar utgangspunkt i en etterfylling via nedbør og en kontinuerlig fiktiv ifylling av vann med likevekts-temperatur.

I tabell 5.2.2 er vist resultatene av beregningen og man ser at den atmosfæriske likevektstemperaturen følger lufttemperaturen, dog med en litt større årssamplitude. Den kombinerte likevektstemperatur er ikke særlig avvikende fra den atmosfæriske som en følge av de sparsomme nedbørmengdene især om sommeren.

De to tidsskalaene er av samme årsak også tilnærmet like.

Kollonnen for "Inflow temperatur" gir et uriktig inntrykk siden den kun inneholder lufttemperatur da øvrig etterfylling er fiktiv.

Md	Atmosfæriske variable		Inflow variable	Kombinasjons variable	
	tidsskala døgn.	likevekts- temperatur	temperatur	tidsskala døgn.	likevekts- temperatur
1	11.78	10.69	12.0	10.35	10.85
2	11.78	12.33	12.7	10.54	12.37
3	11.51	15.08	14.3	10.15	14.99
4	9.87	17.64	16.2	9.25	17.55
5	9.62	20.34	18.1	9.29	20.27
6	9.23	23.89	21.3	9.10	23.86
7	9.05	26.00	24.0	9.04	26.00
8	9.26	25.54	24.2	9.25	25.54
9	9.87	22.76	22.1	9.46	22.73
10	10.40	18.88	19.4	9.48	18.93
11	11.29	14.09	15.4	9.78	14.27
12	11.83	10.76	12.5	10.39	10.97

Tidsskala og likevektstemperatur i et fiktivt tilfelle:
vannvolumet etterfylles med nedbør av lufttemperatur,
ellers forutsettes en fiktiv etterfylling av vann med
temperatur lik likevektstemperatur slik at vannspeilet
holdes konstant.

Tabell 5.2.2 Eksempel på beregning av tidsskala og likevektstemperatur.

I eksempel to som lar seg realistisk gjennomføre foretaes etterfyllingen av vann via nedbør og havvann. Det forutsettes at denne gjennomføres kontinuerlig gjennom måneden.

Resultatet, tabell 5.2.3, vises tydelig i verdiene for "Inflow temperatur" som blir høyere enn i foregående eksempel.

Også den kombinerte tidsskalaen påvirkes klart idet større vannmasser med avvikende temperatur tilføres. Dette påvirker primært den hydrologiske tidsskalaen.

-- Likevektstemperaturen får en mindre årssamplitude, påvirkningen av det mere temperaturstabile havvannet vises tydelig.

Md	Atmosferiske variable		Inflow variable	Kombinasjons variable	
	tidsskala dagn.	likevekts-temperatur	temperatur	tidsskala dagn.	likevekts-temperatur
1	11.78	10.69	13.34	9.66	11.17
2	11.78	12.33	14.06	9.52	12.66
3	11.51	15.08	15.00	9.20	15.06
4	9.87	17.64	16.12	7.56	17.28
5	9.62	20.34	18.28	7.37	19.68
6	9.23	23.89	19.19	6.96	22.73
7	9.05	26.00	20.41	6.61	24.49
8	9.26	25.54	20.91	6.77	24.29
9	9.87	22.76	20.99	7.64	22.36
10	10.40	18.88	19.98	8.18	19.12
11	11.29	14.09	16.22	9.14	14.50
12	11.83	10.76	14.16	9.59	11.40

Tidsskala og likevektstemperatur i et realistisk tilfelle: vannvolumet etterfylles med nedbør av lufttemperatur samt med vann av havtemperatur slik at vannspeilet holdes holdes konstant.

Tabell 5.2.3 Eksempel på beregning av tidsskala og likevektstemperatur.

I siste eksempel, tabell 5.2.4, er vist de forhold som kan oppstå dersom det foretaes rene fordampningshindrende tiltak. Det forutsettes en total reduksjon av fordampningen på 50% uten å vite om dette lar seg gjennomføre i praksis.

Etterfyllingen av vann foretaes fortsatt med nedbør og havvann som i eksempel to.

Effekten av de fordampningshindrende tiltakene slår kraftigst ut om sommeren da fordampningen er utgjør det største energisluket, den atmosfæriske likevektstemperaturen øker med litt over 4 °C i juli og den kombinerte likevektstemperaturen med ca. 3,5 °C. Dette er en verdi som absolutt er i godt samsvar med de observerte resultatene fra forsøk i USA som er referert fra Bartolic et al. (1967) og Crow (1961).

"Inflow temperaturen" vil også afiseres da den utjevneende virkningen av havvannet reduseres. Mindre havvann i forhold til nedbøren på vinterstid gir nær samme kombinerte likevektstemperatur som i foregående eksempel, mens verdiene av denne på sommeren øker signifikant.

Md	Atmosfæriske variable		Inflow variable	Kombinasjons variable	
	tidsskala dagn.	likevekts-temperatur	temperatur	tidsskala dagn.	likevekts-temperatur
1	18.86	11.19	11.08	16.04	11.17
2	18.83	13.51	12.71	15.84	13.38
3	18.44	17.13	14.20	15.35	16.64
4	16.23	20.58	16.14	12.97	19.69
5	15.84	23.94	18.25	12.66	22.80
6	15.23	28.09	19.28	12.00	26.66
7	14.94	30.31	20.42	11.45	28.00
8	15.22	29.41	20.92	11.69	27.43
9	16.07	25.50	21.18	12.98	24.67
10	16.84	20.56	19.66	13.80	20.40
11	18.12	14.84	14.64	15.24	14.81
12	18.90	11.09	11.72	15.93	11.19

Tidsskala og likevektstemperatur i et realistisk tilfelle: Fordampningen reduseres med 50% hver måned og vannvolumet etterfylles med nedbør av lufttemperatur samt med vann av havtemperatur slik at vannspeilet holdes konstant.

Tabell 5.2.4 Eksempel på beregning av tidsskala og likevektstemperatur.

Siden likevektstemperaturen er den assymptotiske verdi for vann-temperaturen, er vinterverdiene sett på bakgrunn av en nedre kritisk grense på 14 °C årsak til bekymring.

Det er liten grunn til å tro at rene atmosfæriske forhold lar seg manipulere til å bedre disse forhold. Videre vil det antagelig være like liten grunn til å tro at fordampningshindrende tiltak kan bedre forholdene på vinterstid. Det gjenstår da muligheten av å kombinere fordampningshindrende mekanismer med en manipulert hydrologisk balanse (tilførsel av kunstig "oppvarmet" vann) for om mulig å kunne heve vintertemperaturene over den kritiske grensen.

En totalutskiftning av reservoarvannet med havvann på vinterstid vil kunne bedre situasjonen, men siden tidsskalaen for temperatur- endringene er av størrelsesorden 10 døgn (ca. 9 døgn i eksempel 2 og ca. 15 til 16 døgn i eksempel 3) vil effekten av en slik total- utskiftning dø ut i løpet av dette tidsrommet, dvs. at vanntemperat- uren vil tendere hen mot den beregnede likevektstemperaturen.

Det er så på bakgrunn av de overnevnte beregningene foretatt en utregning av vanntemperaturen i "salinas" for hver måned.

Det er tatt utgangspunkt i de overnevnte eksempler, dog med det tillegg at det foretaes en totalutskiftning av reservoarvannet i en eller annen gitt måned. Hver initialtilstand vil da gi opphav til 12 dataserier for hvert "år" hvor det i en bestemt måned er foretatt en fullstendig utskiftning av vann.

I tabellene er reservoartemperaturen for måneden hvor vann- utskiftning foretaes satt med uthevet og understreket verdi. Det er også for hvert "tilfelle" plukket ut de måneder som har en reservoartemperatur under den kritiske verdi på 14.0 °C.

Hvilken direkte effekt ifyllingen har på temperaturen kan man se ved å sammenligne temperaturen i neste måned med en tilsvarende måned i et annet begynsestilfelle.

I tabell 5.2.5 sidene 19 til 21 er vist resultatet av vann- temperaturberegninger for det fiktive ifyllings tilfellet.

Som tidligere nevnt vil effekten av ifyllingen dø ut i løpet av måneden, og den påfølgende måned vil bare få en nærmest neglisjerbar temperaturstigning. Eksempelvis vil en ifylling i januar bevirke en temperaturstigning på bare 0.27 °C i februar.

Effekten av ifyllingen vil være rent negativ i sommermånedene hvor havtemperaturen ligger under likevektstemperaturen. Dette forhold vil være tilstede under enhver definert naturlig begynses- tilstand. Vann som tilføres om sommeren må i alle tilfelle for- varmes naturlig eller kunstig for å ha noen "oppvarmende" effekt på reservoaret.

Start måned: 1 gitt temperatur: 15.60						Start måned: 2 gitt temperatur: 15.40				
md	Tair	Twet	Teqa	Tsal	Thav	Tair	Twet	Teqa	Tsal	Thav
1	12.00	9.87	10.85	<u>15.60</u>	15.60	12.00	9.87	10.85	10.87	15.60
2	12.70	10.36	12.37	12.55	15.40	12.70	10.36	12.37	<u>15.40</u>	15.40
3	14.30	11.69	14.99	14.86	15.80	14.30	11.69	14.99	15.01	15.80
4	16.20	13.07	17.55	17.44	16.10	16.20	13.07	17.55	17.45	16.10
5	18.10	14.78	20.27	20.15	18.30	18.10	14.78	20.27	20.16	18.30
6	21.30	17.44	23.86	23.72	19.10	21.30	17.44	23.86	23.72	19.10
7	24.00	19.38	26.00	25.92	20.40	24.00	19.38	26.00	25.92	20.40
8	24.20	19.53	25.54	25.55	20.90	24.20	19.53	25.54	25.55	20.90
9	22.10	18.39	22.73	22.85	20.80	22.10	18.39	22.73	22.85	20.80
10	19.40	16.16	18.93	19.09	20.30	19.40	16.16	18.93	19.09	20.30
11	15.40	12.84	14.27	14.49	17.80	15.40	12.84	14.27	14.49	17.80
12	12.50	10.20	10.97	11.17	16.60	12.50	10.20	10.97	11.17	16.60

Utplukk av måneder med temp lavere enn : 14.00

Utplukk av måneder med temp lavere enn : 14.00

Måned: 2 Temperatur: 12.55

Måned: 1 Temperatur: 10.87

Måned: 12 Temperatur: 11.17

Måned: 12 Temperatur: 11.17

Start måned: 3 gitt temperatur: 15.80						Start måned: 4 gitt temperatur: 16.10				
md	Tair	Twet	Teqa	Tsal	Thav	Tair	Twet	Teqa	Tsal	Thav
1	12.00	9.87	10.85	10.87	15.60	12.00	9.87	10.85	10.87	15.60
2	12.70	10.36	12.37	12.28	15.40	12.70	10.36	12.37	12.28	15.40
3	14.30	11.69	14.99	<u>15.80</u>	15.80	14.30	11.69	14.99	14.85	15.80
4	16.20	13.07	17.55	17.48	16.10	16.20	13.07	17.55	<u>16.10</u>	16.10
5	18.10	14.78	20.27	20.16	18.30	18.10	14.78	20.27	20.10	18.30
6	21.30	17.44	23.86	23.72	19.10	21.30	17.44	23.86	23.72	19.10
7	24.00	19.38	26.00	25.92	20.40	24.00	19.38	26.00	25.92	20.40
8	24.20	19.53	25.54	25.55	20.90	24.20	19.53	25.54	25.55	20.90
9	22.10	18.39	22.73	22.85	20.80	22.10	18.39	22.73	22.85	20.80
10	19.40	16.16	18.93	19.09	20.30	19.40	16.16	18.93	19.09	20.30
11	15.40	12.84	14.27	14.49	17.80	15.40	12.84	14.27	14.49	17.80
12	12.50	10.20	10.97	11.17	16.60	12.50	10.20	10.97	11.17	16.60

Utplukk av måneder med temp lavere enn : 14.00

Utplukk av måneder med temp lavere enn : 14.00

Måned: 1 Temperatur: 10.87

Måned: 1 Temperatur: 10.87

Måned: 2 Temperatur: 12.28

Måned: 2 Temperatur: 12.28

Måned: 12 Temperatur: 11.17

Måned: 12 Temperatur: 11.17

Tabell 5.2.5 Vanntemperaturens naturlige gang gjennom året ved en gitt start temperatur (havtemperatur) for hver måned.

Tair: Lufttemperatur Teqa: Likevektstemperatur Twet: Wetbulbtemperatur
 Thav: Havtemperatur Tsal: Vanntemperatur

Start måned: 5 gitt temperatur: 18.30

Start måned: 6 gitt temperatur: 19.10

md	Tair	Twet	Teqa	Tsal	Thav	Tair	Twet	Teqa	Tsal	Thav
1	12.00	9.87	10.85	10.87	15.60	12.00	9.87	10.85	10.87	15.60
2	12.70	10.36	12.37	12.28	15.40	12.70	10.36	12.37	12.28	15.40
3	14.30	11.69	14.99	14.85	15.80	14.30	11.69	14.99	14.85	15.80
4	16.20	13.07	17.55	17.44	16.10	16.20	13.07	17.55	17.44	16.10
5	18.10	14.78	20.27	<u>18.30</u>	18.30	18.10	14.78	20.27	<u>20.15</u>	18.30
6	21.30	17.44	23.86	23.65	19.10	21.30	17.44	23.86	<u>19.10</u>	19.10
7	24.00	19.38	26.00	25.91	20.40	24.00	19.38	26.00	25.75	20.40
8	24.20	19.53	25.54	25.55	20.90	24.20	19.53	25.54	25.54	20.90
9	22.10	18.39	22.73	22.85	20.80	22.10	18.39	22.73	22.85	20.80
10	19.40	16.16	18.93	19.09	20.30	19.40	16.16	18.93	19.09	20.30
11	15.40	12.84	14.27	14.49	17.80	15.40	12.84	14.27	14.49	17.80
12	12.50	10.20	10.97	11.17	16.60	12.50	10.20	10.97	11.17	16.60

Utplukk av måneder med temp lavere enn : 14.00

Utplukk av måneder med temp lavere enn : 14.00

Måned: 1 Temperatur: 10.87

Måned: 1 Temperatur: 10.87

Måned: 2 Temperatur: 12.28

Måned: 2 Temperatur: 12.28

Måned: 12 Temperatur: 11.17

Måned: 12 Temperatur: 11.17

Start måned: 7 gitt temperatur: 20.40

Start måned: 8 gitt temperatur: 20.90

md	Tair	Twet	Teqa	Tsal	Thav	Tair	Twet	Teqa	Tsal	Thav
1	12.00	9.87	10.85	10.87	15.60	12.00	9.87	10.85	10.87	15.60
2	12.70	10.36	12.37	12.28	15.40	12.70	10.36	12.37	12.28	15.40
3	14.30	11.69	14.99	14.85	15.80	14.30	11.69	14.99	14.85	15.80
4	16.20	13.07	17.55	17.44	16.10	16.20	13.07	17.55	17.44	16.10
5	18.10	14.78	20.27	20.15	18.30	18.10	14.78	20.27	20.15	18.30
6	21.30	17.44	23.86	23.72	19.10	21.30	17.44	23.86	23.72	19.10
7	24.00	19.38	26.00	<u>20.40</u>	20.40	24.00	19.38	26.00	25.92	20.40
8	24.20	19.53	25.54	25.34	20.90	24.20	19.53	25.54	<u>20.90</u>	20.90
9	22.10	18.39	22.73	22.84	20.80	22.10	18.39	22.73	22.66	20.80
10	19.40	16.16	18.93	19.09	20.30	19.40	16.16	18.93	19.08	20.30
11	15.40	12.84	14.27	14.49	17.80	15.40	12.84	14.27	14.49	17.80
12	12.50	10.20	10.97	11.17	16.60	12.50	10.20	10.97	11.17	16.60

Utplukk av måneder med temp lavere enn : 14.00

Utplukk av måneder med temp lavere enn : 14.00

Måned: 1 Temperatur: 10.87

Måned: 1 Temperatur: 10.87

Måned: 2 Temperatur: 12.28

Måned: 2 Temperatur: 12.28

Måned: 12 Temperatur: 11.17

Måned: 12 Temperatur: 11.17

Tabell 5.2.5 Vanntemperaturens naturlige gang gjennom året ved en gitt start temperatur (havtemperatur) for hver måned.

Tair: Lufttemperatur Teqa: Likevektstemperatur Twet: Wetbulbtemperatur
 Thav: Havtemperatur Tsal: Vanntemperatur

Start måned: 9 gitt temperatur: 20.80

Start måned: 10 gitt temperatur: 20.30

md	Tair	Twet	Teqa	Tsal	Thav	Tair	Twet	Teqa	Tsal	Thav
1	12.00	9.87	10.85	10.87	15.60	12.00	9.87	10.85	10.87	15.60
2	12.70	10.36	12.37	12.28	15.40	12.70	10.36	12.37	12.28	15.40
3	14.30	11.69	14.99	14.85	15.80	14.30	11.69	14.99	14.85	15.80
4	16.20	13.07	17.55	17.44	16.10	16.20	13.07	17.55	17.44	16.10
5	18.10	14.78	20.27	20.15	18.30	18.10	14.78	20.27	20.15	18.30
6	21.30	17.44	23.86	23.72	19.10	21.30	17.44	23.86	23.72	19.10
7	24.00	19.38	26.00	25.92	20.40	24.00	19.38	26.00	25.92	20.40
8	24.20	19.53	25.54	25.55	20.90	24.20	19.53	25.54	25.55	20.90
9	22.10	18.39	22.73	<u>20.80</u>	20.80	22.10	18.39	22.73	22.85	20.80
10	19.40	16.16	18.93	19.01	20.30	19.40	16.16	18.93	<u>20.30</u>	20.30
11	15.40	12.84	14.27	14.49	17.80	15.40	12.84	14.27	14.55	17.80
12	12.50	10.20	10.97	11.17	16.60	12.50	10.20	10.97	11.17	16.60

Utplukk av måneder med temp lavere enn : 14.00

Utplukk av måneder med temp lavere enn : 14.00

Måned: 1 Temperatur: 10.87

Måned: 1 Temperatur: 10.87

Måned: 2 Temperatur: 12.28

Måned: 2 Temperatur: 12.28

Måned: 12 Temperatur: 11.17

Måned: 12 Temperatur: 11.17

Start måned: 11 gitt temperatur: 17.80

Start måned: 12 gitt temperatur: 16.60

md	Tair	Twet	Teqa	Tsal	Thav	Tair	Twet	Teqa	Tsal	Thav
1	12.00	9.87	10.85	10.88	15.60	12.00	9.87	10.85	11.17	15.60
2	12.70	10.36	12.37	12.28	15.40	12.70	10.36	12.37	12.30	15.40
3	14.30	11.69	14.99	14.85	15.80	14.30	11.69	14.99	14.85	15.80
4	16.20	13.07	17.55	17.44	16.10	16.20	13.07	17.55	17.44	16.10
5	18.10	14.78	20.27	20.15	18.30	18.10	14.78	20.27	20.15	18.30
6	21.30	17.44	23.86	23.72	19.10	21.30	17.44	23.86	23.72	19.10
7	24.00	19.38	26.00	25.92	20.40	24.00	19.38	26.00	25.92	20.40
8	24.20	19.53	25.54	25.55	20.90	24.20	19.53	25.54	25.55	20.90
9	22.10	18.39	22.73	22.85	20.80	22.10	18.39	22.73	22.85	20.80
10	19.40	16.16	18.93	19.09	20.30	19.40	16.16	18.93	19.09	20.30
11	15.40	12.84	14.27	<u>17.80</u>	17.80	15.40	12.84	14.27	14.49	17.80
12	12.50	10.20	10.97	11.35	16.60	12.50	10.20	10.97	<u>16.60</u>	16.60

Utplukk av måneder med temp lavere enn : 14.00

Utplukk av måneder med temp lavere enn : 14.00

Måned: 1 Temperatur: 10.88

Måned: 1 Temperatur: 11.17

Måned: 2 Temperatur: 12.28

Måned: 2 Temperatur: 12.30

Måned: 12 Temperatur: 11.35

Tabell 5.2.5 Vanntemperaturens naturlige gang gjennom året ved en gitt start temperatur (havtemperatur) for hver måned.

Tair: Lufttemperatur Teqa: Likevektstemperatur Twet: Wetbulbtemperatur
 Thav: Havtemperatur Tsal: Vanntemperatur

Start måned: 1 gitt temperatur: 15.60

md	Tair	Twet	Teqa	Tsal	Thav
1	12.00	9.87	11.17	<u>15.60</u>	15.60
2	12.70	10.36	12.66	12.78	15.40
3	14.30	11.69	15.06	14.98	15.80
4	16.20	13.07	17.28	17.24	16.10
5	18.10	14.78	19.86	19.82	18.30
6	21.30	17.44	22.73	22.70	19.10
7	24.00	19.38	24.49	24.48	20.40
8	24.20	19.53	24.29	24.29	20.90
9	22.10	18.39	22.36	22.40	20.80
10	19.40	16.16	19.12	19.20	20.30
11	15.40	12.84	14.50	14.67	17.80
12	12.50	10.20	11.40	11.54	16.60

Utplukk av måneder med temp lavere enn : 14.00

Måned: 2 Temperatur: 12.78

Måned: 12 Temperatur: 11.54

Start måned: 2 gitt temperatur: 15.40

Tair	Twet	Teqa	Tsal	Thav
12.00	9.87	11.17	11.19	15.60
12.70	10.36	12.66	<u>15.40</u>	15.40
14.30	11.69	15.06	15.08	15.80
16.20	13.07	17.28	17.24	16.10
18.10	14.78	19.86	19.82	18.30
21.30	17.44	22.73	22.70	19.10
24.00	19.38	24.49	24.48	20.40
24.20	19.53	24.29	24.29	20.90
22.10	18.39	22.36	22.40	20.80
19.40	16.16	19.12	19.20	20.30
15.40	12.84	14.50	14.67	17.80
12.50	10.20	11.40	11.54	16.60

Utplukk av måneder med temp lavere enn : 14.00

Måned: 1 Temperatur: 11.19

Måned: 12 Temperatur: 11.54

Start måned: 3 gitt temperatur: 15.80

md	Tair	Twet	Teqa	Tsal	Thav
1	12.00	9.87	11.17	11.19	15.60
2	12.70	10.36	12.66	12.59	15.40
3	14.30	11.69	15.06	<u>15.80</u>	15.80
4	16.20	13.07	17.28	17.25	16.10
5	18.10	14.78	19.86	19.82	18.30
6	21.30	17.44	22.73	22.70	19.10
7	24.00	19.38	24.49	24.48	20.40
8	24.20	19.53	24.29	24.29	20.90
9	22.10	18.39	22.36	22.40	20.80
10	19.40	16.16	19.12	19.20	20.30
11	15.40	12.84	14.50	14.67	17.80
12	12.50	10.20	11.40	11.54	16.60

Utplukk av måneder med temp lavere enn : 14.00

Måned: 1 Temperatur: 11.19

Måned: 2 Temperatur: 12.59

Måned: 12 Temperatur: 11.54

Start måned: 4 gitt temperatur: 16.10

Tair	Twet	Teqa	Tsal	Thav
12.00	9.87	11.17	11.19	15.60
12.70	10.36	12.66	12.59	15.40
14.30	11.69	15.06	14.97	15.80
16.20	13.07	17.28	<u>16.10</u>	16.10
18.10	14.78	19.86	19.80	18.30
21.30	17.44	22.73	22.70	19.10
24.00	19.38	24.49	24.48	20.40
24.20	19.53	24.29	24.29	20.90
22.10	18.39	22.36	22.40	20.80
19.40	16.16	19.12	19.20	20.30
15.40	12.84	14.50	14.67	17.80
12.50	10.20	11.40	11.54	16.60

Utplukk av måneder med temp lavere enn : 14.00

Måned: 1 Temperatur: 11.19

Måned: 2 Temperatur: 12.59

Måned: 12 Temperatur: 11.54

Tabell 5.2.6

Vanntemperaturens gang gjennom året ved en gitt start temperatur (havtemperatur) for hver måned. Fordampet vann etterfylles med havvann.

Tair: Lufttemperatur

Teqa: Likevektstemperatur

Twet: Wetbulbtemperatur

Thav: Havtemperatur

Tsal: Vanntemperatur

Start måned: 5 gitt temperatur: 18.30

Start måned: 6 gitt temperatur: 19.10

md	Tair	Twet	Teqa	Tsal	Thav
1	12.00	9.87	11.17	11.19	15.60
2	12.70	10.36	12.66	12.59	15.40
3	14.30	11.69	15.06	14.97	15.80
4	16.20	13.07	17.28	17.24	16.10
5	18.10	14.78	19.86	<u>18.30</u>	18.30
6	21.30	17.44	22.73	22.68	19.10
7	24.00	19.38	24.49	24.48	20.40
8	24.20	19.53	24.29	24.29	20.90
9	22.10	18.39	22.36	22.40	20.80
10	19.40	16.16	19.12	19.20	20.30
11	15.40	12.84	14.50	14.67	17.80
12	12.50	10.20	11.40	11.54	16.60

Tair	Twet	Teqa	Tsal	Thav
12.00	9.87	11.17	11.19	15.60
12.70	10.36	12.66	12.59	15.40
14.30	11.69	15.06	14.97	15.80
16.20	13.07	17.28	17.24	16.10
18.10	14.78	19.86	19.82	18.30
21.30	17.44	22.73	<u>19.10</u>	19.10
24.00	19.38	24.49	24.44	20.40
24.20	19.53	24.29	24.29	20.90
22.10	18.39	22.36	22.40	20.80
19.40	16.16	19.12	19.20	20.30
15.40	12.84	14.50	14.67	17.80
12.50	10.20	11.40	11.54	16.60

Utplukk av måneder med temp lavere enn : 14.00

Utplukk av måneder med temp lavere enn : 14.00

Måned: 1 Temperatur: 11.19

Måned: 1 Temperatur: 11.19

Måned: 2 Temperatur: 12.59

Måned: 2 Temperatur: 12.59

Måned: 12 Temperatur: 11.54

Måned: 12 Temperatur: 11.54

Start måned: 7 gitt temperatur: 20.40

Start måned: 8 gitt temperatur: 20.90

md	Tair	Twet	Teqa	Tsal	Thav
1	12.00	9.87	11.17	11.19	15.60
2	12.70	10.36	12.66	12.59	15.40
3	14.30	11.69	15.06	14.97	15.80
4	16.20	13.07	17.28	17.24	16.10
5	18.10	14.78	19.86	19.82	18.30
6	21.30	17.44	22.73	22.70	19.10
7	24.00	19.38	24.49	<u>20.40</u>	20.40
8	24.20	19.53	24.29	24.25	20.90
9	22.10	18.39	22.36	22.40	20.80
10	19.40	16.16	19.12	19.20	20.30
11	15.40	12.84	14.50	14.67	17.80
12	12.50	10.20	11.40	11.54	16.60

Tair	Twet	Teqa	Tsal	Thav
12.00	9.87	11.17	11.19	15.60
12.70	10.36	12.66	12.59	15.40
14.30	11.69	15.06	14.97	15.80
16.20	13.07	17.28	17.24	16.10
18.10	14.78	19.86	19.82	18.30
21.30	17.44	22.73	22.70	19.10
24.00	19.38	24.49	24.48	20.40
24.20	19.53	24.29	<u>20.90</u>	20.90
22.10	18.39	22.36	22.33	20.80
19.40	16.16	19.12	19.20	20.30
15.40	12.84	14.50	14.67	17.80
12.50	10.20	11.40	11.54	16.60

Utplukk av måneder med temp lavere enn : 14.00

Utplukk av måneder med temp lavere enn : 14.00

Måned: 1 Temperatur: 11.19

Måned: 1 Temperatur: 11.19

Måned: 2 Temperatur: 12.59

Måned: 2 Temperatur: 12.59

Måned: 12 Temperatur: 11.54

Måned: 12 Temperatur: 11.54

Tabell 5.2.6 Vanntemperaturens gang gjennom året ved en gitt start temperatur (havtemperatur) for hver måned. Fordampet vann etterfylles med havvann.

Tair: Lufttemperatur

Teqa: Likevektstemperatur

Twet: Wetbulbtemperatur

Thav: Havtemperatur

Tsal: Vanntemperatur

Start måned: 9 gitt temperatur: 20.80

md	Tair	Twet	Teqa	Tsal	Thav
1	12.00	9.87	11.17	11.19	15.60
2	12.70	10.36	12.66	12.59	15.40
3	14.30	11.69	15.06	14.97	15.80
4	16.20	13.07	17.28	17.24	16.10
5	18.10	14.78	19.86	19.82	18.30
6	21.30	17.44	22.73	22.70	19.10
7	24.00	19.38	24.49	24.48	20.40
8	24.20	19.53	24.29	24.29	20.90
9	22.10	18.39	22.36	<u>20.80</u>	20.80
10	19.40	16.16	19.12	19.16	20.30
11	15.40	12.84	14.50	14.67	17.80
12	12.50	10.20	11.40	11.54	16.60

Utplukk av måneder med temp lavere enn : 14.00

Måned: 1 Temperatur: 11.19

Måned: 2 Temperatur: 12.59

Måned: 12 Temperatur: 11.54

Start måned: 10 gitt temperatur: 20.30

Tair	Twet	Teqa	Tsal	Thav
12.00	9.87	11.17	11.19	15.60
12.70	10.36	12.66	12.59	15.40
14.30	11.69	15.06	14.97	15.80
16.20	13.07	17.28	17.24	16.10
18.10	14.78	19.86	19.82	18.30
21.30	17.44	22.73	22.70	19.10
24.00	19.38	24.49	24.48	20.40
24.20	19.53	24.29	24.29	20.90
22.10	18.39	22.36	22.40	20.80
19.40	16.16	19.12	<u>20.30</u>	20.30
15.40	12.84	14.50	14.71	17.80
12.50	10.20	11.40	11.55	16.60

Utplukk av måneder med temp lavere enn : 14.00

Måned: 1 Temperatur: 11.19

Måned: 2 Temperatur: 12.59

Måned: 12 Temperatur: 11.55

Start måned: 11 gitt temperatur: 17.80

md	Tair	Twet	Teqa	Tsal	Thav
1	12.00	9.87	11.17	11.19	15.60
2	12.70	10.36	12.66	12.59	15.40
3	14.30	11.69	15.06	14.97	15.80
4	16.20	13.07	17.28	17.24	16.10
5	18.10	14.78	19.86	19.82	18.30
6	21.30	17.44	22.73	22.70	19.10
7	24.00	19.38	24.49	24.48	20.40
8	24.20	19.53	24.29	24.29	20.90
9	22.10	18.39	22.36	22.40	20.80
10	19.40	16.16	19.12	19.20	20.30
11	15.40	12.84	14.50	<u>17.80</u>	17.80
12	12.50	10.20	11.40	11.68	16.60

Utplukk av måneder med temp lavere enn : 14.00

Måned: 1 Temperatur: 11.19

Måned: 2 Temperatur: 12.59

Måned: 12 Temperatur: 11.68

Start måned: 12 gitt temperatur: 16.60

Tair	Twet	Teqa	Tsal	Thav
12.00	9.87	11.17	11.41	15.60
12.70	10.36	12.66	12.60	15.40
14.30	11.69	15.06	14.97	15.80
16.20	13.07	17.28	17.24	16.10
18.10	14.78	19.86	19.82	18.30
21.30	17.44	22.73	22.70	19.10
24.00	19.38	24.49	24.48	20.40
24.20	19.53	24.29	24.29	20.90
22.10	18.39	22.36	22.40	20.80
19.40	16.16	19.12	19.20	20.30
15.40	12.84	14.50	14.67	17.80
12.50	10.20	11.40	<u>16.60</u>	16.60

Utplukk av måneder med temp lavere enn : 14.00

Måned: 1 Temperatur: 11.41

Måned: 2 Temperatur: 12.60

Tabell 5.2.6 Vanntemperaturens gang gjennom året ved en gitt start temperatur (havtemperatur) for hver måned. Fordampet vann etterfylles med havvann.

Tair: Lufttemperatur

Teqa: Likevektstemperatur

Twet: Wetbulbtemperatur

Thav: Havtemperatur

Tsal: Vanntemperatur

Start måned: 1 gitt temperatur: 15.60

md	Tair	Twet	Teqa	Tsal	Thav
1	12.00	9.87	11.17	<u>15.60</u>	15.60
2	12.70	10.36	13.38	13.71	15.40
3	14.30	11.69	16.64	16.22	15.80
4	16.20	13.07	19.69	19.35	16.10
5	18.10	14.78	22.80	22.48	18.30
6	21.30	17.44	26.22	25.91	19.10
7	24.00	19.38	28.00	27.85	20.40
8	24.20	19.53	27.43	27.47	20.90
9	22.10	18.39	24.67	24.95	20.80
10	19.40	16.16	20.40	20.92	20.30
11	15.40	12.84	14.81	15.67	17.80
12	12.50	10.20	11.19	11.87	16.60

Utplukk av måneder med temp lavere enn : 14.00

Måned: 2 Temperatur: 13.71

Måned: 12 Temperatur: 11.87

Start måned: 2 gitt temperatur: 15.40

md	Tair	Twet	Teqa	Tsal	Thav
1	12.00	9.87	11.17	11.28	15.60
2	12.70	10.36	13.38	<u>15.40</u>	15.40
3	14.30	11.69	16.64	16.46	15.80
4	16.20	13.07	19.69	19.37	16.10
5	18.10	14.78	22.80	22.48	18.30
6	21.30	17.44	26.22	25.92	19.10
7	24.00	19.38	28.00	27.85	20.40
8	24.20	19.53	27.43	27.47	20.90
9	22.10	18.39	24.67	24.95	20.80
10	19.40	16.16	20.40	20.92	20.30
11	15.40	12.84	14.81	15.67	17.80
12	12.50	10.20	11.19	11.87	16.60

Utplukk av måneder med temp lavere enn : 14.00

Måned: 1 Temperatur: 11.28

Måned: 12 Temperatur: 11.87

Start måned: 3 gitt temperatur: 15.80

md	Tair	Twet	Teqa	Tsal	Thav
1	12.00	9.87	11.17	11.28	15.60
2	12.70	10.36	13.38	13.06	15.40
3	14.30	11.69	16.64	<u>15.80</u>	15.80
4	16.20	13.07	19.69	19.30	16.10
5	18.10	14.78	22.80	22.47	18.30
6	21.30	17.44	26.22	25.91	19.10
7	24.00	19.38	28.00	27.85	20.40
8	24.20	19.53	27.43	27.47	20.90
9	22.10	18.39	24.67	24.95	20.80
10	19.40	16.16	20.40	20.92	20.30
11	15.40	12.84	14.81	15.67	17.80
12	12.50	10.20	11.19	11.87	16.60

Utplukk av måneder med temp lavere enn : 14.00

Måned: 1 Temperatur: 11.28

Måned: 2 Temperatur: 13.06

Måned: 12 Temperatur: 11.87

Start måned: 4 gitt temperatur: 16.10

md	Tair	Twet	Teqa	Tsal	Thav
1	12.00	9.87	11.17	11.28	15.60
2	12.70	10.36	13.38	13.06	15.40
3	14.30	11.69	16.64	16.13	15.80
4	16.20	13.07	19.69	<u>16.10</u>	16.10
5	18.10	14.78	22.80	22.17	18.30
6	21.30	17.44	26.22	25.89	19.10
7	24.00	19.38	28.00	27.85	20.40
8	24.20	19.53	27.43	27.47	20.90
9	22.10	18.39	24.67	24.95	20.80
10	19.40	16.16	20.40	20.92	20.30
11	15.40	12.84	14.81	15.67	17.80
12	12.50	10.20	11.19	11.87	16.60

Utplukk av måneder med temp lavere enn : 14.00

Måned: 1 Temperatur: 11.28

Måned: 2 Temperatur: 13.06

Måned: 12 Temperatur: 11.87

Tabell 5.2.7

Vanntemperaturens gang gjennom året ved en gitt start temperatur (havtemperatur) for hver måned. Fordampningen er redusert med 50% og fordampet vann etterfylles med havvann.

Tair: Lufttemperatur

Teqa: Likevektstemperatur

Twet: Wetbulbtemperatur

Thav: Havtemperatur

Tsal: Vanntemperatur

Start måned: 5 gitt temperatur: 18.30

md	Tair	Twet	Teqa	Tsal	Thav
1	12.00	9.87	11.17	11.28	15.60
2	12.70	10.36	13.38	13.06	15.40
3	14.30	11.69	16.64	16.13	15.80
4	16.20	13.07	19.69	19.34	16.10
5	18.10	14.78	22.80	<u>18.30</u>	18.30
6	21.30	17.44	26.22	25.57	19.10
7	24.00	19.38	28.00	27.83	20.40
8	24.20	19.53	27.43	27.46	20.90
9	22.10	18.39	24.67	24.95	20.80
10	19.40	16.16	20.40	20.92	20.30
11	15.40	12.84	14.81	15.67	17.80
12	12.50	10.20	11.19	11.87	16.60

Utplukk av måneder med temp lavere enn : 14.00

Måned: 1 Temperatur: 11.28
 Måned: 2 Temperatur: 13.06
 Måned: 12 Temperatur: 11.87

Start måned: 6 gitt temperatur: 19.10

Tair	Twet	Teqa	Tsal	Thav
12.00	9.87	11.17	11.28	15.60
12.70	10.36	13.38	13.06	15.40
14.30	11.69	16.64	16.13	15.80
16.20	13.07	19.69	19.34	16.10
18.10	14.78	22.80	22.48	18.30
21.30	17.44	26.22	<u>19.10</u>	19.10
24.00	19.38	28.00	27.35	20.40
24.20	19.53	27.43	27.43	20.90
22.10	18.39	24.67	24.95	20.80
19.40	16.16	20.40	20.92	20.30
15.40	12.84	14.81	15.67	17.80
12.50	10.20	11.19	11.87	16.60

Utplukk av måneder med temp lavere enn : 14.00

Måned: 1 Temperatur: 11.28
 Måned: 2 Temperatur: 13.06
 Måned: 12 Temperatur: 11.87

Start måned: 7 gitt temperatur: 20.40

md	Tair	Twet	Teqa	Tsal	Thav
1	12.00	9.87	11.17	11.28	15.60
2	12.70	10.36	13.38	13.06	15.40
3	14.30	11.69	16.64	16.13	15.80
4	16.20	13.07	19.69	19.34	16.10
5	18.10	14.78	22.80	22.48	18.30
6	21.30	17.44	26.22	25.91	19.10
7	24.00	19.38	28.00	<u>20.40</u>	20.40
8	24.20	19.53	27.43	26.89	20.90
9	22.10	18.39	24.67	24.89	20.80
10	19.40	16.16	20.40	20.91	20.30
11	15.40	12.84	14.81	15.66	17.80
12	12.50	10.20	11.19	11.87	16.60

Utplukk av måneder med temp lavere enn : 14.00

Måned: 1 Temperatur: 11.28
 Måned: 2 Temperatur: 13.06
 Måned: 12 Temperatur: 11.87

Start måned: 8 gitt temperatur: 20.90

Tair	Twet	Teqa	Tsal	Thav
12.00	9.87	11.17	11.28	15.60
12.70	10.36	13.38	13.06	15.40
14.30	11.69	16.64	16.13	15.80
16.20	13.07	19.69	19.34	16.10
18.10	14.78	22.80	22.48	18.30
21.30	17.44	26.22	25.91	19.10
24.00	19.38	28.00	27.85	20.40
24.20	19.53	27.43	<u>20.90</u>	20.90
22.10	18.39	24.67	24.30	20.80
19.40	16.16	20.40	20.84	20.30
15.40	12.84	14.81	15.65	17.80
12.50	10.20	11.19	11.87	16.60

Utplukk av måneder med temp lavere enn : 14.00

Måned: 1 Temperatur: 11.28
 Måned: 2 Temperatur: 13.06
 Måned: 12 Temperatur: 11.87

Tabell 5.2.7

Vanntemperaturens gang gjennom året ved en gitt start temperatur (havtemperatur) for hver måned. Fordampningen er redusert med 50% og fordampet vann etterfylles med havvann.

Tair: Lufttemperatur

Teqa: Likevektstemperatur

Twet: Wetbulbtemperatur

Thav: Havtemperatur

Tsal: Vanntemperatur

Start måned: 9 gitt temperatur: 20.80

md	Tair	Twet	Teqa	Tsal	Thav
1	12.00	9.87	11.17	11.28	15.60
2	12.70	10.36	13.38	13.06	15.40
3	14.30	11.69	16.64	16.13	15.80
4	16.20	13.07	19.69	19.34	16.10
5	18.10	14.78	22.80	22.48	18.30
6	21.30	17.44	26.22	25.91	19.10
7	24.00	19.38	28.00	27.85	20.40
8	24.20	19.53	27.43	27.47	20.90
9	22.10	18.39	24.67	<u>20.80</u>	20.80
10	19.40	16.16	20.40	20.45	20.30
11	15.40	12.84	14.81	15.60	17.80
12	12.50	10.20	11.19	11.86	16.60

Utplukk av måneder med temp lavere enn : 14.00

Måned: 1 Temperatur: 11.28

Måned: 2 Temperatur: 13.06

Måned: 12 Temperatur: 11.86

Start måned: 10 gitt temperatur: 20.30

md	Tair	Twet	Teqa	Tsal	Thav
1	12.00	9.87	11.17	11.28	15.60
2	12.70	10.36	13.38	13.06	15.40
3	14.30	11.69	16.64	16.13	15.80
4	16.20	13.07	19.69	19.34	16.10
5	18.10	14.78	22.80	22.48	18.30
6	21.30	17.44	26.22	25.91	19.10
7	24.00	19.38	28.00	27.85	20.40
8	24.20	19.53	27.43	27.47	20.90
9	22.10	18.39	24.67	24.95	20.80
10	19.40	16.16	20.40	<u>20.30</u>	20.30
11	15.40	12.84	14.81	15.58	17.80
12	12.50	10.20	11.19	11.86	16.60

Utplukk av måneder med temp lavere enn : 14.00

Måned: 1 Temperatur: 11.28

Måned: 2 Temperatur: 13.06

Måned: 12 Temperatur: 11.86

Start måned: 11 gitt temperatur: 17.80

md	Tair	Twet	Teqa	Tsal	Thav
1	12.00	9.87	11.17	11.33	15.60
2	12.70	10.36	13.38	13.07	15.40
3	14.30	11.69	16.64	16.13	15.80
4	16.20	13.07	19.69	19.34	16.10
5	18.10	14.78	22.80	22.48	18.30
6	21.30	17.44	26.22	25.91	19.10
7	24.00	19.38	28.00	27.85	20.40
8	24.20	19.53	27.43	27.47	20.90
9	22.10	18.39	24.67	24.95	20.80
10	19.40	16.16	20.40	20.92	20.30
11	15.40	12.84	14.81	<u>17.80</u>	17.80
12	12.50	10.20	11.19	12.19	16.60

Utplukk av måneder med temp lavere enn : 14.00

Måned: 1 Temperatur: 11.33

Måned: 2 Temperatur: 13.07

Måned: 12 Temperatur: 12.19

Start måned: 12 gitt temperatur: 16.60

md	Tair	Twet	Teqa	Tsal	Thav
1	12.00	9.87	11.17	12.01	15.60
2	12.70	10.36	13.38	13.17	15.40
3	14.30	11.69	16.64	16.15	15.80
4	16.20	13.07	19.69	19.34	16.10
5	18.10	14.78	22.80	22.48	18.30
6	21.30	17.44	26.22	25.91	19.10
7	24.00	19.38	28.00	27.85	20.40
8	24.20	19.53	27.43	27.47	20.90
9	22.10	18.39	24.67	24.95	20.80
10	19.40	16.16	20.40	20.92	20.30
11	15.40	12.84	14.81	15.67	17.80
12	12.50	10.20	11.19	<u>16.60</u>	16.60

Utplukk av måneder med temp lavere enn : 14.00

Måned: 1 Temperatur: 12.01

Måned: 2 Temperatur: 13.17

Tabell 5.2.7

Vanntemperaturens gang gjennom året ved en gitt start temperatur (havtemperatur) for hver måned. Fordampningen er redusert med 50% og fordampet vann etterfylles med havvann.

Tair: Lufttemperatur

Teqa: Likevektstemperatur

Twet: Wetbulbtemperatur

Thav: Havtemperatur

Tsal: Vanntemperatur

I tabell 5.2.6 sidene 22 til 24 er vist tilfellet hvor en foretar en etterfylling med havvann.

Dersom det foretaes en utskiftning i januar vil kun to av årets måneder ha temperatur under den kritiske grense, nemlig februar og desember med henholdsvis 12.78 og 11.54 °C.

Det er i dette tilfelle også en svak forbedring av temperaturholdene i relasjon til første eksempel (tabell 5.2.5), men neppe så stor at den har direkte praktisk betydning.

I tabell 5.2.7 sidene 25 til 27 er vist tilfellet hvor en foretar en etterfylling med havvann og samtidig reduserer fordampningen med 50%.

Dette medfører en forbedring av februartemperaturen med en etterfylling i januar på ca. 1 °C. I samme tilfellet sees også at desember temperaturen begynner å nærme seg 12 °C.

De foreliggende tabellene 5.2.5, 5.2.6 og 5.2.7 skulle på denne måten kunne gi opplysninger til av vannutskiftning kan skje under mest mulig optimale forhold, feks. med å velge de mest hensiktsmessige måneder for utskiftning av vann.

Med hensyn til delutskiftning av vannet i reservoaret vil dette ikke ha noen virkning i den foreliggende beregningsprosedyre som en følge av tidsskalaen. Dette kan avhjelpes med en bedre oppløsning på inngangsdata, for eksempel ved en beregning basert på 10 døgns midler. Dette er imidlertid ikke utført.

Det er likevel mulig via en enkel statistisk kalorimetrisk beregning å få en ide om hvor meget vann som må tilføres for å oppnå den kritiske temperatur grense.

Dersom det blandes inn x% av totalvolumet med en temperatur T_1 , og reservoar temperaturen er T_v , vil temperaturen på blandingen, dvs. den "nye" reservoartemperaturen $T_{v,ny}$ være gitt ved

$$T_{v,ny} = T_v + x \cdot (T_1 - T_v)$$

Settes nå $T_{v,ny}$ lik 14 °C og velges T_v utfra tabellene 5.2.5 til 5.2.7 som T_{sal} og T_1 som havtemperaturen i angjeldende måned, vil eneste ukjente i ligningen være x.

Som eksempel kan vises at om januar i første tilfelle (tabell 5.2.5) skal ha en temperatur på 14 °C må ca. 66% av reservoarvannet byttes ut i løpet av måneden.

Igjen vil effekten av innblanding ha en levetid styrt av de gitte tidsskalaene, slik at indikasjoner på styringen av ifyllingen er ikke mulig å gi med noen sikkerhet med den brukte dataoppløsningen.

For dimensjonering av etterfyllings kapasiteten kan imidlertid en slik overslagsregning være praktisk nyttig.

6. Konklusjon.

Utfra de beregningene som er foretatt viser det seg at 2 eller flere måneder i året gir vanntemperaturer under den kritiske grense på 14 °C.

Selv med direkte fordampningshindrende tiltak synes det ikke mulig å endre dette forhold.

Uten å tilføre energi kunstig vil reservoartemperaturen være lavere enn den kritiske grensen i perioder av året.

Det vil være mulig å nyttiggjøre seg de termale energireserver som finnes i avvannet, dette medfører imidlertid en konstant utskiftning av reservoarvannet i vinterperioden, men er sikkert bare et rent teknisk problem.

Det å benytte rene fordampningshindrende tiltak vil hjelpe noe i riktig retning, og kan tydeligvis også kombineres med en foringsfunksjon.

APPENDIKS 1.

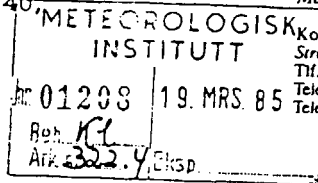
** TIEDEMANN'S **
** forespørsel **



TIEDEMANN'S

GRUPPELEDELSEN
GROUP HEADQUARTERS

Meteorologisk Institutt
Klimaavdelingen
Nils Henrik Abels vei 40
0371 OSLO 3



Postadresse
Mailing address : P.O. Box 6086 Etterstad
0601 Oslo 6, Norway
Kontoradresse
Street address : Joh. H. Andresens vei 5
Tlf./Tel. : + 47 2 68 99 50
Telefax : «19217 ilt n»
Telegram Telegrams : «LLT»

Deres ref. Your ref.

Vår ref. Our ref. GA/BL

Oslo 15. mars 1985

Vedr.: Beregning av temperatur i store basseng på basis av sol-bestråling etc.

VI refererer til behagelig telefonsamtale med Forsker S. Lystad med forespørsel om Meteorologisk Institutt kan assistere ved beregning av temperatur i store basseng. Bakgrunn for dette er vårt ønske om å drive akva-kultur i slike basseng i syd Europa. Nærmere data for prosjektet er som følger:

Basseng:

Utgravet i jord med bunn og vegger bestående av ubehandlet jord/leire (ugjennomtrengelig for vann).

Størrelse av disse basseng varierer fra 10 000 til 100 000 kvadratmeter.

Dybde i bassengene vil gjennomsnittlig være ca. 1,5 m

Beliggenhet:

Algarve, syd Portugal. Bassengene befinner seg tett ut til kystlinjen.

Vann:

Bassengene blir fylt med opp-pumpet saltvann med ca. 35 o/oo salt.

Det hensikten å dyrke reker og dette medfører selvsagt en viss forurensning ved føring etc. Det må også forutsettes å finne sted en relativt sterk algevekst og resultatet vil være en viss turbiditet i vannet.

Vannutskifting:

Her er det aktuelt å basere beregningene på 2 alternativer:

- kun erstatte det vann som fordampes
- utskifting av 10% pr. dag (ekstensiv drift).

A1-2.

Vi har selv innsamlet data for sjøvannstemperatur, lufttemperatur og nedbørsmengde. Vi regner med at data som solhøyder og sol-timer vil være tilgjengelig som vanlige meteorologiske data.

Vennligst vurder om beregning av vanntemperatur kan gjennomføres på basis av ovennevnte informasjoner. For å oppnå gunstig resultat ved dyrking av reker er den laveste temperatur spesielt kritisk. Maksimumstemperaturen kan vi selvsagt regulere ved innpumping av sjøvann.

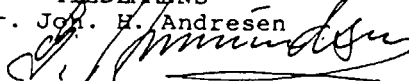
I prinsipp er vi interessert i gjennomsnittstemperaturen for de enkelte måneder i året. Nøyaktighetsgraden er ikke særlig kritisk, men ønskemålet er ca. 1/2 grad C.

Av hensyn til fremdriften i vårt prosjekt er vi interessert i at beregningen kan gjennomføres umiddelbart og vi hører gjerne fra Dem hvor arbeidskrevende denne vil være og hvilke kostnader beregningen vil medføre.

Når De har vurdert saken vil vi gjerne ha et møte for nærmere diskusjon av detaljer.

Med vennlig hilsen

TLEDEMANNS
pr. Jon. H. Andresen



Gunnar Amundsen

APPENDIKS 2.

** ENERGIBALANSELIGNINGEN **
** FOR ET VANNRESERVOAR **

A2. Eneribalanseligningen for et vannreservoar.

Energibudsjettet pr. flate og tidsenhet for et vannreservoar kan uttrykkes som

$$dQ = (Q_B - Q_{BR} + Q_A - Q_{AR} + Q_V) - (Q_{BS} + Q_E + Q_H + Q_W + Q_U)$$

der

- dQ : netto energitilvekst / tap.
- Q_B : kortbølget strålingsenergi mot vannflaten.
- Q_{BR} : reflektert kortbølget strålingsenergi fra vannflaten.
- Q_A : langbølget strålingsenergi fra atmosfæren mot vannflaten.
- Q_{AR} : reflektert langbølget strålingsenergi fra vannflaten.
- Q_V : energi brakt inn med nedbør og annen innstrømning.
- Q_{BS} : langbølget utstrålt energi fra vannflaten.
- Q_E : energiforbruk ved fordampning.
- Q_H : energi ledet til luft som følbare varme.
- Q_W : energi brakt vekk med fordampet vann.
- Q_U : energi brakt vekk via ren utstrømning.

De enkelte leddene er gruppert slik at første parentes er uavhengig av reservoartemperaturen mens leddene i annen parentes alle er avhengig av denne. Med en reservoartemperatur menes her et "praktisk" middel av temperaturen i de øvre lag av vannmassene.

Energiligningen omordnes av rent praktiske hensyn til

$$dQ = (R - Q_{BS}) - (Q_E + Q_H) + (Q_V - Q_U) - Q_W$$

hvor selve strålingsbalansen for vannflaten er gitt som R i første parentes

$$R = Q_B - Q_{BR} + Q_A - Q_{AR}$$

Parentesen $(Q_V - Q_U)$ kan sees som en massebalanse for reservoaret og betraktes separat.

Leddene Q_W er normalt lite av størrelse og kan sløyfes uten vesentlige feil.

Den beskrivende ligning for energiforholdene uten masseutveksling vil da være

$$dQ = R - Q_{BS} - (Q_E + Q_H)$$

Prosedyre for utvikling og beregning av leddene i denne gies i det følgende.

A2.1 Strålingsbalansen R.

Denne deles som nevnt i en kortbølget del R_K og en langbølget del R_L , disse vil bli behandlet hver for seg.

Den kortbølgete balansen er primært avhengig av innstrålt og reflektert solstrålingsenergi, dvs. energi på bølgelengder mindre enn 2500 nm (nanometer: 10^{-9} meter).

Strålingen kan være direkte solstråling eller solstråling som er difusivert via atmosfærens molekyler og partikler (skyer etc.).

Foruten solens stilling på himmelen og strålingens evne til å transmittere atmosfæren, vil denne balansen kun være avhengig av underlagets beskaffenhet med hensyn til å reflektere denne typen av stråling.

Den langbølgete balansen, energi på bølgelengder større enn 2500 nm, kan betraktes som en infrarød balanse eller som ren termalstråling.

Denne energibalansen er primært avhengig av temperaturen på underlaget (vannflaten), men også av temperaturen på de lavere lag av atmosfæren som emitterer en "motstråling" mot underlaget.

Temperaturen på disse atmosfærelagene er igjen avhengig av hvor meget energi som stråles ut fra underlaget (paradoksalt nok "varmes" atmosfæren opp nedenfra), og atmosfærens evne til å absorbere denne strålingen f.eks via sitt vanddampinnhold.

A2.1.1 Kortbølget del R_k .

Avhengig av hvilke observerte klimadata man har til rådighet, lar det kortbølgede budsjettet seg beregne utfra kvasiempiriske relasjoner av typen:

$$R_k = R_k(a, N, p, Q_0)$$

hvor a er albedo for flaten, N beskriver skyforholdene, p er den relative solskinnstid og Q_0 er ekstrateristrisk stråling, stråling ved atmosfærens ytterkant. Denne er kun avhengig av geografiske koordinater, kalenderiske og astronomiske variable.

Siden den relative solskinnstid inngår i de tilgjengelige data, har man valgt en relasjon av typen:

$$R_k = (1 - a) \cdot (C_1 + C_2 \cdot p) \cdot Q_0$$

med de empiriske konstantene $C_1 = 0.2$ og $C_2 = 0.48$ med referanse til Anderson (1954) og De Bruin (1982).

Den ekstrateristriske strålingen beregnes som en sum for hver dag fra relasjonen:

$$Q_0 = I_0 \cdot (h_t \cdot \sin(B) \cdot \sin(d) + \cos(B) \cdot \cos(d) \cdot \sin(h_t)) / \pi \cdot r_A^2$$

Her er

- I_0 : solarkonstanten.
- r_A : normalisert radiusvektor for ordbanen.
- h_t : døgnlign timevinkel, den tid solen er over en astronomisk (flat) horisont.
- B : breddegrad.
- d : deklinasjonsvinkel for angjeldende dagn.

A2.1.2 Langbølget del R_L .

En flate emitterer langbølget stråling etter Kirchofs lov

$$Q_{BS} = e_m \cdot s_B \cdot T_V^4$$

dvs. proporsjonalt med absolutt flatetemperatur i 4-potens, e_m er emisiviteten for flaten og s_B er Stefan-Boltzmanns konstant.

Den effektive utstrålingen fra vannflaten er gitt som differansen mellom emisjonen fra flaten Q_{BS} og den delen av den atmosfæriske motstrålingen som absorberes i flaten ($Q_A - Q_{AR}$).

Q_{BS} vil være proporsjonal med T_V^4 og differansen $Q_{BS} - (Q_A - Q_{AR})$ vil være proporsjonal med $T_V^4 - a_B \cdot T_A^4$ hvor a_B er en spesifisert absorpsjonskoeffisient.

Den effektive utstrålingen R_L lar seg da uttrykke for en skyfri atmosfære som

$$R_L = e_m \cdot s_B \cdot T_A^4 \cdot (1 - a_B) + e_m \cdot s_B \cdot (T_V^4 - T_A^4)$$

Leddet $T_V^4 - T_A^4$ lar seg rekkeutvikle etter $(T_V - T_A)/T_A$ slik at

$$(T_V/T_A)^4 = 1 + 4 \cdot (T_V - T_A)/T_A + \dots$$

Dette medfører at dersom emisivitetskoeffisienten e_m for vannflaten settes lik 1. (verdien er ca. 0.97) kan R_L approksimeres ved

$$R_L = s_B \cdot T_A^4 \cdot (1 - a_B) + s_B \cdot T_A^3 \cdot (T_V - T_A)$$

Absorpsjonen kan formuleres via f.eks Brunts relasjon og R_L blir da for en skyfri atmosfære

$$R_L = s_B \cdot T_A^4 \cdot (1 - C_3 - C_4 \cdot e^{1/2}) + s_B \cdot T_A^3 \cdot (T_V - T_A)$$

Det siste leddet fungerer nå som en korreksjon for temperaturspranget mellom vanntemperaturen og lufttemperaturen som måles i et nivå over eller vekk fra vannflaten.

Den vanlige fremgangsmåten for å ta hensyn til et skydekke er som i tilfellet med det kortbølgede strålingsbalansen å introdusere en funksjon av skydekket.

Imidlertid kan igjen den relative solskinnstiden benyttes, også med et velbegrunnet fysisk grunnlag; det er bare motstrålingen fra atmosfæren Q_A som direkte avhenger av skydekket og ikke utstrålingsleddene Q_{BS} og Q_{AR} .

Ifølge Geiger (1961) kan det langbølgede strålingsbudsjettet skrives:

$$R_L = s_B \cdot T_A^4 - s_B \cdot T_A^4 \cdot (C_3 + C_4 \cdot e^{1/2}) (C_5 + C_6 \cdot p) + s_B \cdot T_A^3 \cdot (T_V - T_A)$$

Med henvisning til Kramer (1957) er følgende verdier på konstantene C_i benyttet: $C_3 = 0.53$, $C_4 = 0.067$, $C_5 = 1.13$ og $C_6 = -0.13$

A2.2 Latent og følbare varmetransport.

Den latente varmetransporten (fordampningen) kan beskrives ved en Dalton relasjon:

$$Q_E = L \cdot E$$

$$= L \cdot f(U) \cdot (e_s(T_v) - e)$$

hvor L er latent varmeovergangstall (fordampningsvarme) og f(U) er en inntil videre uspesifisert funksjon av vind. Denne skal beskrive størrelsen på den turbulente transporten av vanndamp.

Den følbare varmetransporten forbindes til den latente via Bowen forholdet:

$$\frac{Q_H}{Q_E} = \frac{g \cdot (T_v - T)}{e_s(T_v) - e}$$

Innføres så "wet-bulb" temperaturen T_w via psykrometerligningen finnes

$$e = e_s(T_w) - g \cdot (T - T_w)$$

der g er psykrometer konstanten.

Summen av latent og følbare varmetransport lar seg derved uttrykke som

$$Q_E + Q_H = L \cdot f(U) \cdot (e' + g) \cdot (T_v - T_w)$$

hvor e' betegner den deriverte av metningstrykket med temperaturen, dvs.

$$e' = (de_s / dT)_{T=T_w}$$

A2.3 Vindfunksjonen $f(U)$.

Vindfunksjonen $f(U)$ er et uttrykk for de turbulente utvekslingskoeffisientene for følbar varme og vanddmp gitt via respektive Q_H og Q_E .

Den avhenger av vindhastighet, stabilitetsforhold, ruheten på underlaget samt av mleehyden over underlaget for de meteorologiske parametrene.

$f(U)$ lar seg teoretisk formulere f.eks via Monin-Obukhov teori. Det er imidlertid også utviklet rent empiriske vindfunksjoner som i så måte er enklere i bruk.

Hvilke empiriske funksjonstyper som best ivaretar generaliteten i en rent teoretisk utledet funksjon har vært gjenstand for flere undersøkelser.

Sweers (1976) har sammenlignet en rekke av de mest benyttede formler og det er i dette arbeidet valgt  benytte en funksjon som opprinnelig er utviklet i studiet av kjledammer i Wales (McMillan 1973), men som også har vært anvendt i lignende problemstillinger som den som her er aktuell.

Et moment av betydning er også at den benytter seg av observert vind i 10m høyde, en standard parameter innen det meteorologiske observasjonsprogrammet. Videre vil vind observert i denne høyden være mindre påvirket av lokale forhold ved underlaget, slik at den kan betraktes som representativ også målt et stykke vekk fra en vannflate.

Vindfunksjonen som velges kan uttrykkes som :

$$f(U) = (4.4 + 1.82 \cdot U) / L$$

hvor U er vindhastigheten i 10m høyde målt på en landstasjon i nærheten.

A2.3 Energibalanse relasjonen.

Siden netto energivariasjon dQ i reservoaret kan relateres til temperaturvariasjonene i dette finnes

$$dQ = r_0 \cdot c \cdot H \cdot (dT_v/dt)$$

Kombineres nå de forskjellige uttrykkene som tilsammen utgjør dQ , vil innsettning i ligningen over gi en differentialligning i T_v som

$$\frac{dT_v}{dt} + \frac{T_v}{s} = \frac{T_{EA}}{s}$$

Her er T_{EA} en fiktiv "likevekts-temperatur" som er gitt ved

$$T_{EA} = T_w + R / (L \cdot f(U) \cdot (e' + g) + 4 \cdot s_B \cdot T_w^3)$$

og s_A en skalafaktor i tid gitt ved

$$s_A = r_0 \cdot c \cdot H / (L \cdot f(U) \cdot (e' + g) + 4 \cdot s_B \cdot T_w^3)$$

Likevektstemperaturen T_{EA} representerer den assymptotiske temperaturtilstand som er et resultat av det atmosfæriske påtrykk (været, klima) og vanntemperaturen søker å svare på variasjonene i været med T_{EA} som resultat.

Hvor raskt denne responsen vil skje er bestemt av skalafaktoren s_A . Direkte fra differentialligningen sees at dersom s_A er uendelig stor vil den tidsderiverte av T_v være null og dette vil tilsvare en konstant vanntemperatur; massen, eller den termiske treghet i reservoaret er så stor at en hver påvirkning ikke har noen effekt.

Dersom s_A er null vil direkte $T_v = T_{EA}$ og reservoaret vil innstille seg øyeblikkelig etter enhver ytre påvirkning. Dette vil være de to yttergrensene for hvordan temperaturen i reservoaret vil oppføre seg med hensyn til de rene atmosfæriske påtrykk.

A2.4 Massebalanse relasjonen.

For også å inkludere leddene Q_v og Q_u i ligningen for T_v betraktes den hydrologiske balansen.

La reservoaret ha et massetap M_T som består av fordampning, overflateavrenning og eventuelle side/bunn lekkasjer.

Over samme tid vil reservoaret motta massen M_I i form av nedbør og naturlig og/eller kunstig overflate tilførsel.

Massebalansen lar seg da formulere som en termalbalanse

$$c \cdot (d(M \cdot T_v) / dt - M_I \cdot T_I + M_T \cdot T_v) = dQ$$

der M er totalmassen i et volum med en enhetsflate som bunn og topp. T_I er en veiet temperatur på det tilførte vannet slik at

$$T_I = \sum m_i \cdot T_i / \sum m_i$$

hvor m_i er tilført delmasse med temperatur T_i , $\sum m_i$ vil være totalmassen av de tilførte vannmengdene.

Kontinuitetsligningen for systemet er

$$dM/dt = M_I - M_T$$

Kombineres denne med masse-termalbalanseligningen finnes

$$c \cdot M \cdot (dT_v/dt + (T_I - T_v) / s_H) = dQ$$

hvor man igjen har innført en skalafaktor i tid s_H som kan betegnes "hydrologisk tidsfaktor":

$$s_H = M / M_I$$

Denne skala karakteriserer dynamikken i det hydrologiske systemet, og angir en slags midlere tid for hvor lenge en vannpartikkel vil befinne seg i systemet.

Betraktes her tilfellet $dQ = 0$ (kun en kontinuitetsrelasjon) har man en ligning som er identisk med det rene "atmosfæriske" tilfelle.

A2.5 Kombinasjons relasjonen.

Ligningen for energibalansen lar seg nå kombinere med ligningen for masse/termalbalansen til

$$\frac{dT_v}{dt} + \frac{T_v}{s} = \frac{T_e}{s}$$

hvor det er definert en kombinert likevektstemperatur T_e som

$$T_e = (T_{eA} \cdot s_H + T_I \cdot s_A) / (s_H + s_A)$$

og en kombinert tidsskala gitt ved

$$s = (s_A \cdot s_H) / (s_H + s_A)$$

For en stasjonær tilstand vil T_v være gitt ved T_e og dersom ingen utskifting av vann finner sted (s_H er uendelig) vil $T_e = T_{eA}$ og vanntemperaturen bestemmes kun via den atmosfæriske bestemte likevektstemperaturen.

A2.6 Løsning av differensialligningen.

Differensialligningen er i prinsippet en ikke-lineær ligning siden både likevektstemperaturen T_E og tidsskalaen s er tidsavhengige.

En generell løsning av ligningen er gitt som

$$T_V(t) = C(t) \cdot \exp\left(-\int dt/s(t)\right)$$

der

$$C(t) = (T_V(t_0) - T_E(t_0)) + \int (T_E(t)/s(t)) \cdot \exp\left(\int (dy/s(y))\right) dt$$

hvor $t=t_0$ er et valgt startpunkt i tid og funksjoner av denne gir initialbetingelsene for systemet.

For å finne en praktisk og hensiktsmessig formulering av denne løsningen er flere muligheter tilstede.

Utvikles foreksempel uttrykket for T_E i en Fourierrekke,

$$T_E(t) = \bar{T}_E + \sum A_k \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot k \cdot t / \Delta t + \theta_k)$$

og antas så eksistensen av en periode på N døgn hvor s ikke endrer seg signifikant (er praktisk sett tilnærmet konstant) finnes

$$T_V(t) = C_0 \cdot \exp(-t/s) + \bar{T}_E + \sum A_k \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot k \cdot t / \Delta t + \theta_k)$$

\bar{T}_E er midlere (konstante) verdi av T_E i tidsperioden over N døgn, likeså s som er midlere tidsskala. C_0 er en ren integrasjonskonstant, og A_k og θ_k er henholdsvis amplitudedefaktor og fasefunksjon for k 'te Fourierkomponent.

Tidsskalaen s_E vil være ca. 6, 10, 30 døgn for vanddyp på henholdsvis 3, 5, 15 m. Dette vil si at ser man bort fra de rent kortperiodiske variasjonene (variasjoner av størrelsesorden mindre eller lik et døgn) i T_E , kan siste leddet i uttrykket for T_V sløyfes.

Ved bestemmelse av integrasjonskonstanten C_0 via initialbetingelsene finnes så uttrykket

$$T_V(t_0 + N \cdot \Delta t) = \bar{T}_E + (T_V(t_0) - \bar{T}_E) \cdot \exp(-N \cdot \Delta t / s)$$

hvor t_0 er et fritt valgt start tidspunkt og $N \cdot \Delta t$ angir N hele døgn etter t_0 . \bar{T}_E er midlere (konstante) verdi av T_E over samme tidsperiode, likeså s som er midlere tidsskala.

APPENDIKS 3.

** SYMBOLLISTE **

Symbolliste:

a	: albedo
a_B	: absorpsjonskoeffisient
B	: breddegrad
c	: vannets spesifikke varmekapasitet
d	: deklinasjonsvinkel for angjeldende dagn
E	: fordampet vannmengde
e	: vanndamptrykk
e'	: den deriverte av metningstrykket med temperaturen
e_m	: emisjonskoeffisient
e_s	: vanndampens metningstrykk over saltvann
e_w	: vanndampens metningstrykk over rent vann
$f(U)$: generell vindfunksjon
g	: psykrometerkonstanten
H	: vanddyp
h_t	: dagnlig timevinkel; den tid solen er over en astronomisk (flat) horisont
I_0	: solarkonstanten
K	: bulk transfer koeffisient
L	: fordampningsvarme
l	: bølgelengde
M	: reservoarmasse (volum) pr. flateenhet
M_i	: massetilførsel i form av nedbør og overflate tilrenning
M_T	: massetap via fordampning, overflate avrenning og lekasjer
N	: mål for grad av skydekke
p	: relativ solskinnstid
dQ	: netto energitilvekst / tap
Q_A	: langbølget strålingsenergi fra atmosfæren mot vannflaten
Q_{AR}	: reflektert langbølget strålingsenergi fra vannflaten
Q_{BB}	: langbølget utstrålt energi fra vannflaten
Q_E	: energiforbruk ved fordampning
Q_H	: energi ledet til luft som følbare varme
Q_S	: kortbølget strålingsenergi mot vannflaten
Q_{SR}	: reflektert kortbølgetstrålingsenergi fra vannflaten
Q_U	: energi brakt vekk via ren utstrømning
Q_V	: energi brakt inn med nedbør og annen innstrømning
Q_W	: energi brakt vekk med fordampet vann
Q_0	: ekstrateristrisk strålingsfluks
$q_0(l)$: innstrålt energifluks på bølgelengden l

R : totalt strålingsbudsjett
 R_K : kortbølget strålingsbudsjett
 R_L : langbølget strålingsbudsjett
 r : spektral refleksjonskoeffisient
 r_A : normalisert radiusvektor for jordbanen.
 r_o : vannets densitet

 S : saltholdighet i promille
 s : kombinert skalafaktor for tid
 s_A : atmosfærisk skalafaktor for tid
 s_B : Stefan-Boltzmann konstanten
 s_H : hydrologisk skalafaktor for tid

 T_A : lufttemperatur
 T_E : kombinert likevektstemperatur
 T_{EA} : atmosfærisk likevektstemperatur
 T_I : midlere temperatur på tilført vann
 T_V : vanntemperatur
 T_w : wet-bulb temperatur
 T_i : temperatur på tilført delmasse m_i
 t : tid

 U : vindhastighet

Numeriske konstanter:

c : 4200 J Kg⁻¹ K⁻¹
 g : 0.66 mbar K⁻¹
 I_o : 1370 W m⁻²
 L : 2.47 · 10⁹ J m⁻³
 pi : 3.14...
 r_o : 1000 Kg m⁻³
 s_B : 5.67 · 10⁻⁸ W m⁻² K⁻⁴

APPENDIKS 4.

** FORDAMPNINGSHINDRENDE TILTAK **
** REFERANSELISTE **

Fordampningshindrende tiltak: referanseliste

- Bartolic J.F. et al. (1967)
Effects of a monolayer on reservoir temperatures and evaporation.
Water Resour. Res., 3: 173-180
- Bean B.R. and Florey Q.L. (1968)
A field study of the effectiveness of fatty alcohol mixtures as
evaporation reducing monomolecular films.
Water Resour. Res., 4: 206-208
- Bursztyn I. (1966)
Evaporation reduction of water.
Nature, 211: 521
- Crow F.R. (1961)
Reducing reservoir evaporation.
Agr. Eng. 42: 240-243
- Deardorff J.W. (1961)
Evaporation reduction by natural films.
J. geophys. Res., 66: 3613-3614
- Frenkiel J. (u.å.)
Evaporation reduction, physical and chemical principles and
review of experiment.
UNESCO Arid Zone Research, No 27
- Garstra W.U. (1960)
Reservoir evaporation and its reduction.
Western Snow Conference, Proc. 28
- Harbeck G.E. (1955)
The effect of salinity on evaporation.
Prof. Pap. U.S. geol. Surv. 272-274
- Harbeck G.E. (1958)
Can evaporation losses be reduced?
J. Irrig. Drain. Am. Soc. civ. Engrs. 84(IR2)
- Harbeck G.E. and Koberg G.E. (1959)
A method of evaluating the effect of a monomolecular film in
suppressing reservoir evaporation.
J. geophys. Res., 64: 89-93

- Hellstrom B. and Janson L.E. (1959).
Evaporation from water surfaces coated with a film of stearyl alcohol.
Inst. Hydraul. Royal Tech. Stockholm Bull. No 57
- Lamer V.K. (1957)
Retardation of evaporation by monolayers.
Int. Congr. of Surface Activity Proc. 2nd Congr.
- Mansfield W.W. (1955)
Influence of monolayer on the natural evaporation rate of water.
Nature, 175: 247
- Mansfield W.W. (1958)
The influence of monolayers on evaporation from water storage.
Aust. J. appl. Sci. 9:
- Mansfield W.W. (1958)
The influence of monolayers on evaporation from water storages.
II: Evaporation and seepage from water storages.
Aust. J. appl. Sci. 10:
- Mansfield W.W. (1963)
Control of evaporation.
Proc. of Symp. on Water Resources Use and Management pp. 112-115
- Mansfield W.W. (1967)
Evaporation control in Australia.
Int. Confer. on Water for Peace Wash. USA
- Quintela R.M. (1967)
Reduction of evaporation from free water surfaces.
Int. Confer. on Water for Peace Wash. USA
- Roberts J.W. (1959)
Reducing lake evaporation in the mid-west.
J. geophys. Res., 64: 1605-1610
- Roberts W.J. (1959)
Evaporation suppressions from water surfaces:
Trans. Am. geophys. Un., 38: 740-744
- Runkles J.R. and Bartholic J.F. (1964)
Evaporation reduction investigation, Pactola Reservoir,
South Dakota, 1962-1963.
South Dakota State University, Agr.Dept. Tech. Bulletin 24

Task Group Report. (1963)

A survey of methods for evaporation control

J. Am. Wat. Wko. Ass., 55: 157-168

U.S. Dept. of Interior, Bureau of Reclamation (1959)

Water loss investigations: Lake Hefner 1958 evaporation
reduction investigation.

Report by the collaborators.

U.S. Dept. of Interior, Bureau of Reclamation (1967)

Effects of monolayers on insects, fish and wildlife.
reduction investigation.

Water Resources Tech. Publ. Research Report No 7.

Vines R.G. (1960)

Reducing evaporation with cetyl alcohol film: a new method of
treating large water storages.

Aust. J. appl. Sci. 2: 200-204

Western Australia, Publ. Works Dept. (1967)

Evaporatiocontrol using foamed polystyrene floats as a surface
layer.

Water Resources Newsletter 9: 29-30

APPENDIKS 5.

**** REFERANSELISTE ****

Referanseliste

- Anderson E.R. (1954)
Energy-budget studies, waterloss investigations - Lake Hefner studies.
U.S. Geol. Survey Prof. Paper 269: 71-119
- Bartolic J.F. et al. (1967)
Effects of a monolayer on reservoir temperatures and evaporation.
Water Resour. Res., 3: 173-180
- Crow F.R. (1961)
Reducing reservoir evaporation.
Agr. Eng., 42: 240-243
- De Bruin H.A.R. (1982)
Temperature and energy balance of a water reservoir determined from standard weather data of a land station.
J. of Hydrology., 59: 261-274
- Edinger J.E. et al. (1968)
The response of water temperature to meteorological conditions.
Water Resour. Res., 4: 1137-1143
- Fraedrich K. et al. (1977)
A simple model for estimating the evaporation from shallow reservoir.
Tellus, 29: 428-434
- Geiger R. (1977)
Das klima der bodennahen luftschicht.
Friedr. Vieweg & sohn
Braunschweig
- Kramer C. (1957)
Computation of the mean evaporation for various parts of the Netherlands according to Penman's method.
Kon. Ned. Meteor. Inst. Med. Verh. 70
- McMillan W. (1973)
Cooling from open water surfaces: Final report, Part 1:
Lake Trawsfynydd cooling investigation.
Sci. Serv. Dept. CEBG Manchester, No NW/SSD/RR/1204/73

Roberts J.W. (1959)

Reducing lake evaporation in the mid-west.

J. geophys. Res., 64: 1605-1610

Runkles J.R. and Bartholic J.F. (1964)

Evaporation reduction investigation, Pactola Reservoir,
South Dakota, 1962-1963.

South Dakota State University, Agr.Dept. Tech. Bull. 24

Servico Meteorologico Nacional (1952)

O clima de Portugal; fascicu VII : Baixo-Alentejo e
Algarve.

Lisboa

Servico Meteorologico Nacional (1956)

O clima de Portugal; fasciculo IX : Valores medios dos
elementos climaticos no territorio nacional em 1921-1950

Lisboa

Sweers H.E. (1976)

A nomogram to estimate the heat-exchange coefficient at the
air-water interface as a function of wind speed and temperature;
a critical survey of some literature.

J. of Hydrology., 30: 375-401

WMO (1966)

Technical note no 83: Measurement and estimation of evaporation
and evapotranspiration.

Geneva
