

RAPPORT NR. 20



GUDENÅUNDERSØGELSEN
Fordampningsundersøgelser Mosso

G U D E N Å U N D E R S Ø G E L S E N

1973 - 1975

FORDAMPNINGSUNDERSØGELSER
(VAND- OG VARMEBALANCE)

MOSSØ

UDARBEJDET FOR VANDKVALITETSINSTITUTTET, ATV

AF

CIV.ING. JENS LØNHOLDT

Laboratoriet for teknisk Hygiejne
Danmarks tekniske Højskole
Bygning 115, 2800 Lyngby

Sagsnr.:

1976-05-04-WF-WWT

INDHOLDSFORTEGNELSE

	SIDE
0. RESUME	1
1. INDLEDNING	4
1.1 VANDBALANCE - FORDAMPNING	4
1.2 MOSSØ - FORDAMPNINGSUNDERSØGELSE	6
2. VANDBALANCE	8
2.1 MAGASINERING, Q_V	9
2.2 TILLØB, Q_I	12
2.2.1 GUDENÅ	12
2.2.2 TÅNING Å	12
2.2.3 ILLERUP Å , ALKEN Å, BJERGSKOV BÆK	12
2.3 DIFFUSE TILLØB, Q_R	14
2.4 NEDBØR, Q_P	15
2.5 INDSIVNING, Q_G	15
2.6 FORDAMPNING, Q_E	18
2.7 AFLØB, Q_0	18
2.8 VANDBALANCER FOR MOSSØ - 1975	20
2.8.1 MÅNEDSBALANCER, FORDAMPNING UBEKENDT	21

	SIDE
2.8.2 MÅNEDSBALANCER, FORDAMPNING FRA SØNDERSØ	21
2.8.3 MÅNEDSBALANCER, FORDAMPNING FRA EXTERN-VARMEBALANCE	22
2.8.4 ÅRSBALANCER	22
3. BESTEMMELSE AF FORDAMPNINGEN VED HJÆLP AF EN EXTERN-VARMEBALANCE	24
3.1 EXTERN-VARMEBALANCE	24
3.1.1 VARMEMAGASINERING, q_v	25
3.1.2 TILLØB, q_i	34
3.1.2.1 GUDENÅ	34
3.1.2.2 TÅNING Å	36
3.1.2.3 ILLERUP Å, ALKEN Å, BJERGSKOV BÆK	36
3.1.3 DIFFUSE TILLØB, q_r	36
3.1.4 NEDBØR, q_p	38
3.1.5 FORDAMPNING, q_e	38
3.1.6 KONVEKTIV VARME, q_h	38
3.1.7 KORTBØLGET NETTOINDSTRÅLING, $q_s^*q_{sr}^*q_{su}$	45
3.1.8 LANGBØLGET NETTOINDSTRÅLING, $q_l^*q_{lr}^*q_{lu}$	48
3.1.9 AFLØB, q_o	49

	SIDE
3.1.10 INDSIVNING, q_g	49
3.1.11 SEDIMENT, q_{sed}	50
3.1.12 BESTEMMELSE AF FORDAMPNINGSMÆNGDEN	50
3.2 DISKUSSION	52
3.3 EVALUERING	60
4. KONKLUSIONER	63
4.1 GENERELT	63
4.2 Mossø - 1975	64
5. LITTERATURFORTEGNELSE	66

BILAG I

0. RESUME

Med det formål at bestemme månedlige fordampningsværdier samt at undersøge den externe-varmebalancemetodes brugbarhed til fordampningsbestemmelse er der opstillet vand- og varmebalancer på måneds- og årsbasis for Mossø i 1975.

Resultaterne og beregningerne kan sammenfattes således:

Generelt

1. Hvis vandbalancen skal benyttes til bestemmelse af den månedlige fordampning, tyder denne undersøgelse på, at man skal kende alle led i balancen virkeligt godt.
2. Den externe-varmebalance har vist sig velegnet til bestemmelse af fordampningen på månedsbasis.
3. Normalt vil man i varmebalancen kunne se bort fra det advektive led (varme tilført med tilløb + varme tilført med nedbør \times varme fraført med afløb) samt den ændring, der sker i varmemagasineringen på grund af ændring af vandspejlet.
4. Det langbølgede strålingsbidrag varierer meget lidt over året og er altid negativt (d.v.s. afgivelse af varme fra søen ved langbølget stråling).
5. Fordampningen styres hovedsageligt af det kortbølgede strålingsbidrag.

6. Det ser ud til, at man opnår rimeligt gode månedlige fordampningsværdier ved at benytte strålingsdata fra Landbohøjskolen (Hydroteknisk Laboratoriums klimastation Højbakkegård i Tåstrup) og meteorologiske data fra den nærmeste klimastation. D.v.s. det eneste, man skal måle lokalt, er søens temperaturfordeling.

Yderligere kræves et godt kendskab til søens hypsograf.

7. Større tidsopløsning end måneder (f.eks. 2 uger eller 1 uge) vil efter al sandsynlighed kræve etablering af kontinuert registrerende udstyr i/på søen.
8. I mangel af aktuelle fordampningsmålinger er det efter alt at dømme bedre at benytte udtrykket:

$$Q_E = 9 + 0,008 \times S$$

hvor Q_E = fordampningen i mm pr. måned,

S = antallet af solskinsminutter pr. måned,

end at benytte Søndersø-tallene fra 1943-47.

I øvrige henvises til afsnit 3.3, hvor der er anført konklusioner, der kan have interesse i forbindelse med en konkret anvendelse af extern-varmebalancemetoden.

Mossø - 1975

1. 1975 vandbalancen for Mossø stemmer bedst, hvis man benytter fordampningsværdier fra den externe-varmebalance.

Indsættelse af fordampningstal fra Sønderø eller "fordampning = nedbørtilnærmelsen" forøger afvigelsen.

2. Fordampningen fra Mossø i 1975 er bestemt til 792 mm, hvilket er ca. 22 % større end Sønderø-tallet (der normalt benyttes ved opstilling af vandbalancer).

Dette illustrerer, at man risikerer at underestimere fordampningen betydeligt ved ukritisk at benytte Sønderø-tallet.

1. INDLEDNING

I forbindelse med Gudenåundersøgelsen 1973-75 anmodede Vandkvalitetsinstituttet civ.ing. Jens Lønholdt, Laboratoriet for Teknisk Hygiejne, DtH, om at vurdere fordampningens betydning for Mossø med henblik på at supplere den af Det Danske Hedeselskab / 6 / opstillede vandbalance for Mossø 1974.

1.1 VANDBALANCE - FORDAMPNING

Grundlaget for enhver søundersøgelse er en vandbalance. I denne indgår led som: tilløb, afløb, nedbør, fordampning og magasinerings.

Det er karakteristisk for de vandbalancer, man hidtil har opstillet for søer, at man bestemmer tilløbs-, afløbs- og magasineringsleddene med stor grundighed, medens fordampningsleddet "elimineres" enten ved, at man sætter det lig nedbøren eller ved, at man benytter fordampningsværdier fra Søndersø 1943-47. (Søndersøundersøgelsen / 1 / udgjorde sammen med Peblingesøundersøgelsen 1849-59 / 1 / de eneste danske undersøgelser af fordampningen fra søoverflader, indtil problemet blev taget op af Laboratoriet for teknisk Hygiejne i efteråret 1972).

Det kan nævnes, at nyere danske / 2 / og svenske / 3 /, / 4 / undersøgelser har sandsynliggjort, at fordampningen fra visse søer kan være en hel del større end fordampningen anført for Søndersø i årene 1943-47.

Til bestemmelse af fordampningen fra søoverflader findes fire metoder:

1. Vandbalance
2. Fordampningspander
3. Transportteorier
4. Extern-varmebalance.

Ad 1. Der opstilles en vandbalance med fordampningen som eneste ubekendt.

Ad 2. Fordampningen måles direkte som volumenændringen i et udsat kar. Denne metode blev benyttet ved Søndersøundersøgelsen.

Ad 3. Der opstilles et teoretisk udtryk for fordampningen som funktion af visse meteorologiske og fysiske parametre i luft- og vandfase.

Ad 4. Der opstilles en extern-varmebalance med varmetabet på grund af fordampning som eneste ubekendt. Ud fra kendskab til vands fordampningsvarme kan den fordampede vand-mængde herefter bestemmes.

I / 2 / og / 5 / konkluderes, at af disse fire metoder må extern-varmebalancemetoden betragtes som den mest generelt anvendelige og den, der giver de bedste estimater (vandbalancemetoden kræver, at man har virkeligt godt kendskab til de andre led i balancen - fordampningspander kan kun give størrelsesorden - transportteorier er meget afhængige af kalibreringskonstanter).

1.2 MOSSØ - FORDAMPNINGSUNDERSØGELSE

Mossø er beliggende i Gudenåsystemet, hvor den gennemstrømmes af Gudenåen i den vestlige del.

På grund af Mossø's størrelse og de helt specielle morfometriske forhold som karakteriserer søen har det været ønskeligt at få forbedret kendskab til nogle af de hydrologiske faktorer, som indgår i Mossø's vandbalance. Det har desuden også været ønskeligt at kunne opstille vandbalancer på månedsbasis til brug for det efterfølgende modelarbejde.

På grundlag af ovenstående formuleredes følgende formålsbeskrivelse:

1. At opstille mindst månedlige vandbalancer for Mossø i 1975.
2. At opstille mindst månedlige externe-varmebalancer for Mossø i 1975.
3. Beregne fordampningen både ud fra 1 og 2 og sammenligne de fundne værdier.
4. Evaluere extern-varmebalancemetoden til fordampningsundersøgelser. Herunder anføre dominerende led.
5. Give forslag til forbedringer af metoden. Herunder andre målemetoder og/eller andre instrumenter. Yderligere, bl.a. ud fra 4, at forsøge at give retningslinier for: antal målestationer, målefrekvens og målenøjagtighed.

Til supplerings af de ved Gudenåundersøgelsen indsamlede data fra Botanisk Institut, Århus Universitet, Hedeselskabet og Vandkvalitetsinstituttet iværksattes et intensivt temperaturmåleprogram for 1975, hvor N. Beck Jensen, Ny Vissing Kloster, Th. Poulsen, Fuldbro Mølle og E. Lindgreen, Kloster Mølle, medvirkede.

2. VANDBALANCE

En vandbalance opstilles ud fra det generelle princip:

$$\text{magasinering} = \text{vand ind} - \text{vand ud}$$

formuleret mere detailleret, og i matematisk form fremkommer følgende:

$$Q_V = Q_I + Q_S + Q_R + Q_P + Q_G - Q_E - Q_O$$

Enhed : mængde pr. tidsenhed

Q_V	=	magasinering	
Q_I	=	tilløb med vandløb	} Q_I for Mossø
Q_S	=	spildevandstilløb	
Q_R	=	diffuse tilløb (f.eks. overfladisk markafstrømning)	
Q_P	=	nedbør	
Q_G	=	indsivning/udsivning, regnet <u>positiv</u> som <u>indsivning</u>	
Q_E	=	fordampning	
Q_O	=	afløb.	

I det følgende er de enkelte led gennemgået, og der er opstillet månedsbalancer og årsbalancer for Mossø i 1975.

2.1 MAGASINERING, Q_V

Hedeselskabet har i undersøgelsesperioden dagligt målt vandstanden i Mossø ved Klostermølle (den vestlige ende af Mossø, hvor Gudenåen har sit indløb) og ved Tåning å (den østlige ende af Mossø).

På baggrund af de to sæt målinger har Hedeselskabet, bl.a. ved at "rense" dem for overfladeseicher (overfladesvingninger), beregnet en karakteristisk vandstand for Mossø. Denne er anført i tabel 2.1 som vandstand over kote 22,30 (den vandspejlskote, der benyttes ved volumenberegningerne under stationære forhold). På figur 2.1 er vandspejlsvariationen optegnet.

Magasineringen for en given måned er dernæst fundet ved at sammenligne vandstanden i starten og slutningen. Magasineringen er anført i tabel 2.1 og optegnet på figur 2.2.

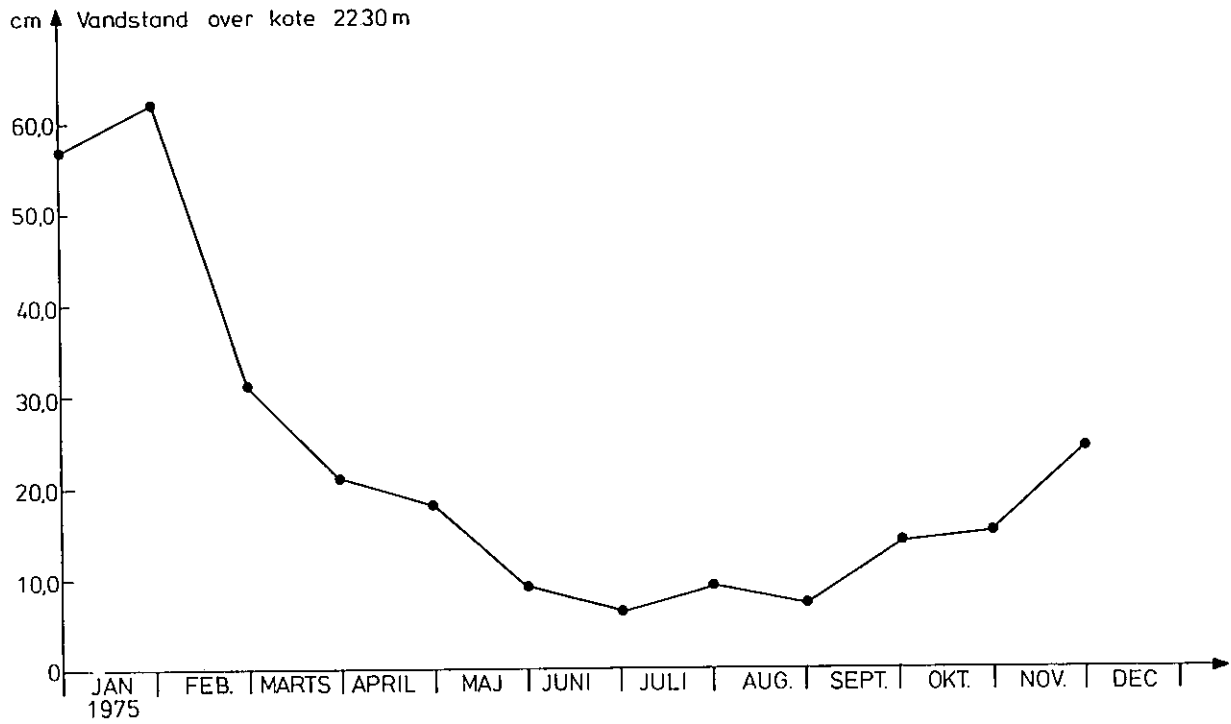
Som det fremgår af figur 2.1, følger Mossø det sædvanlige mønster med vandspejlsfald i foråret (lille nedbør - stigende fordampning) og vandspejlsstigning i efteråret (stigende nedbør - faldende fordampning). Dog er der tilsyneladende sket en resulterende magasinnedgang i Mossø i 1975. Dette skyldes efter al sandsynlighed det helt atypiske klima i 1975, med en lang meget tør sommer og et forholdsvis nedbørsfattigt efterår. Normalt vil den resulterende magasinering over et år være 0, hvilket også fremgår af vandstandsmålingerne fra 1974 (vandspejlskote 1.1.1974 : 22,86 - vandspejlskote 1.1.1975 : 22,87).

Måned *)	Vandstand over kote 22,30 i cm	Magasinering $10^6 \text{ m}^3/\text{md.}$
januar	57	+ 0,84
februar	62	× 5,23
marts	31	× 1,69
april	21	× 0,51
maj	18	× 1,52
juni	9	× 0,51
juli	6	+ 0,51
august	9	× 0,34
september	7	+ 1,18
oktober	14	+ 0,17
november	15	+ 1,52
december	24	-
1975		× 5,58 **)

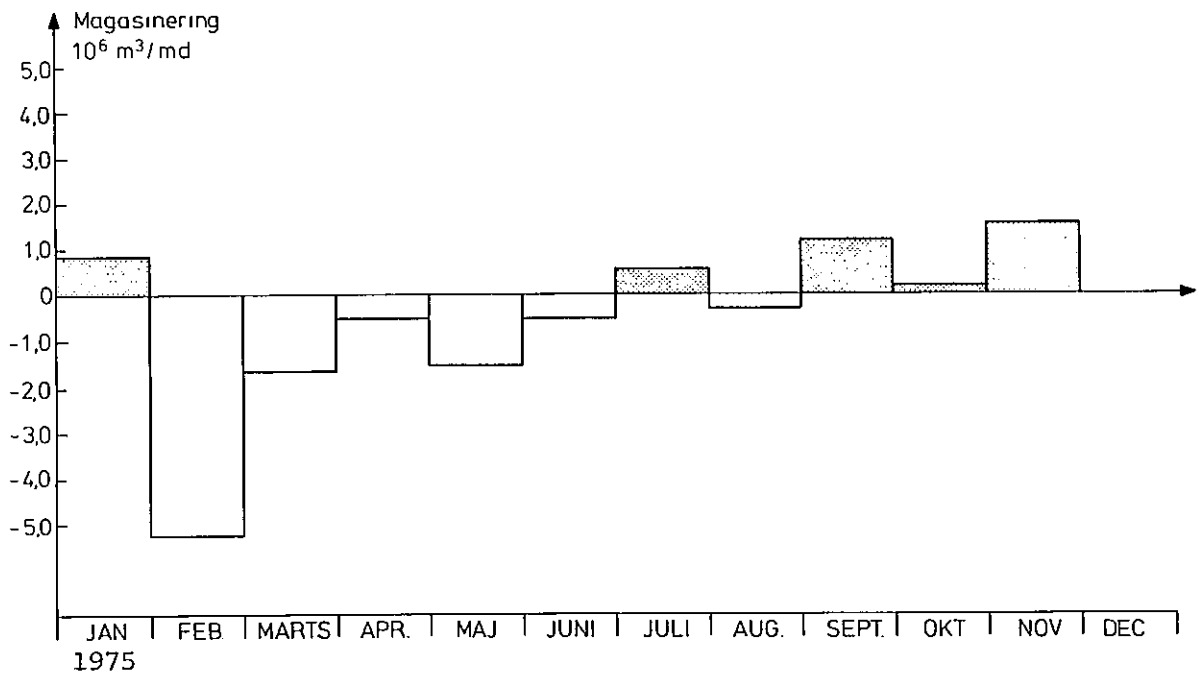
*) Den anførte vandstand er angivet hver den første i måneden

**) Udregnet på grundlag af 11 måneder

Tabel 2.1 Vandstand - magasinering, Mossø-1975.



Figur 2.1 Vandstand, Mossø - 1975.



Figur 2.2 Magasinering, Mossø - 1975.

2.2 TILLØB, Q_I

På figur 2.3 er vist tilløbene til Mossø.

2.2.1 GUDENÅ

Hedeselskabet har foretaget kontinuerte vandføringsmålinger i Voervadsbro (jf. figur 2.3).

Den tilstrømmende vandmængde til Mossø fra Gudenåen er beregnet ved at multiplicere Voervadsbrotallene med $\frac{407}{384}$.

Hvor 384 = oplandstallet i km^2 for Voervadsbro og
407 = oplandstallet i km^2 for Klostermølle
(Gudenåens indløb i Mossø).

I tabel 2.3 er anført månedsmiddelværdierne.

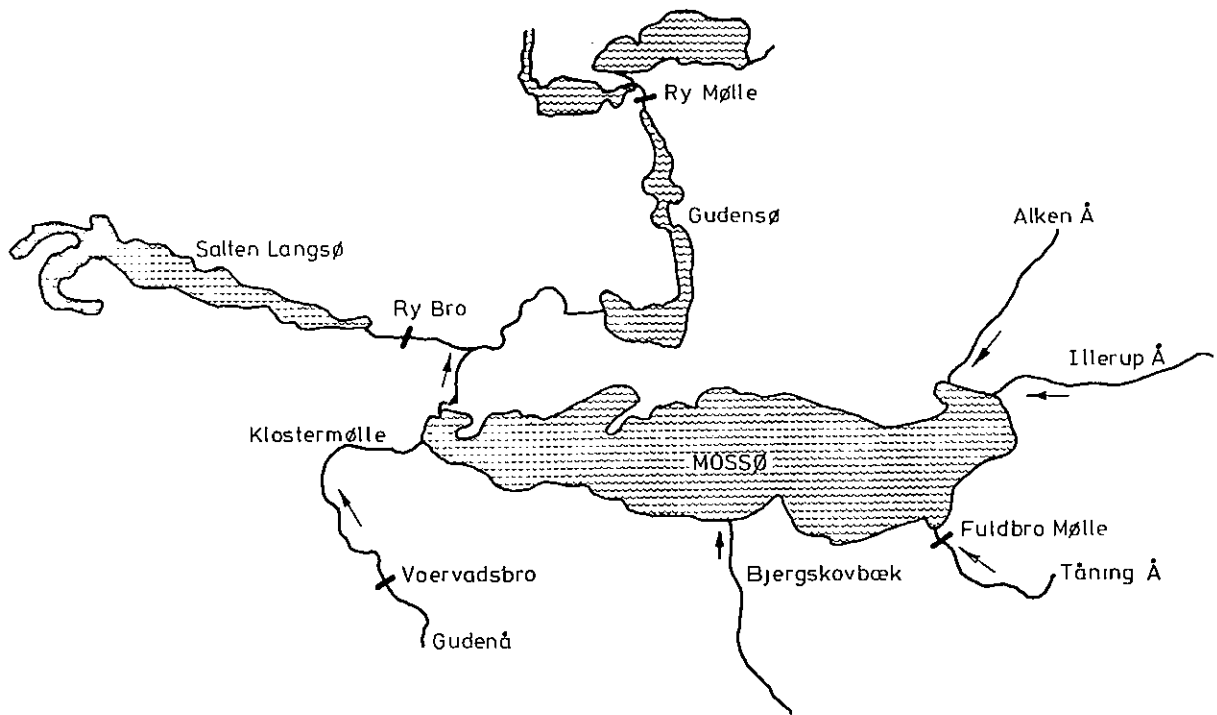
2.2.2 TÅNING Å

Hedeselskabet har foretaget kontinuerte vandføringsmålinger ved Fulbro mølle (ca. 200 meter før Tåning å's indløb i Mossø).

Månedsmiddelværdierne er anført i tabel 2.3.

2.2.3 ILLERUP Å, ALKEN Å, BJERGSKOV BÆK

Der har ikke været foretaget kontinuert registrering i disse tre vandløb. Ved middelværdidannelse på tre diskrete målinger (den 27.3.1974, den 19.6.1974 og



Figur 2.3 Tilløb og afløb, Mossø.

den 14.1.1975) er sumvandføringen, opgjort til 350 l/sek.

Denne værdi benyttes for hele 1975. Denne tilnærmelse retfærdiggøres delvis af den forholdsvis beskeden variation, som sumvandføringen udviser hen over året, og som tyder på, at de tre vandløb er grundvandsdominerede.

De beregnede værdier er anført i tabel 2.3.

2.3 DIFFUSE TILLØB, Q_R

Der opstilles et oplandsbudget, /6/:

Gudenå, ind	407	km ²
Tåning å	124	km ²
Illerup å	30	km ²
Bjergskov bæk	17	km ²
Alken å	8	km ²
	<hr/>	
	586	km ²
Gudenå, ud	624	km ²
Søareal	17	km ²
	<hr/>	
Totalt opland	607	km ²
Beskrevet opland	586	km ²
	<hr/>	
Opland med diffus tilstrømning	21	km ²
	<hr/>	

Bidraget fra diffus tilstrømning findes ved at multiplicere summen af: Gudenaå, Tåning å, Ille-
rup å, Bjergskov bæk og Alken å med $\frac{21}{586}$
(jf. oplandsbudget).

Værdierne er anført i tabel 2.3.

2.4 NEDBØR, Q_p

Udfra målinger fra 3 af Meteorologisk Instituts nedbørsstationer og 3 af Meteorologisk Instituts klimastationer (foruden nedbør måles: lufttemperatur, damptryk, fugtighedsgrad, vindens retning og styrke, sigtbarhed og skydække) er beregnet en middelværdi for de enkelte måneder.

Stationsplaceringen er vist på figur 2.4. Som det fremgår af figur 2.4 giver disse stationer en ganske god dækning af Mossø.

Målingerne fra de enkelte stationer samt den karakteristiske nedbør for Mossø (middelværdien af de 6 stationer) er anført i tabel 2.2. Som det fremgår af tabel 2.2 er der ikke stor variation mellem de 6 stationer.

I tabel 2.3 er nedbørsmængden tilført Mossø direkte anført som antal m^3 /mdr.

2.5 INDSIVNING, Q_G

Ind- og udsivningen antages at være betydningsløs. En af Hedeselskabet for 1974 opstillet vandbalance, /6/, understøtter denne antagelse, idet der er målt en til-

Gudenå - systemet nedbørsstationer klimastationer



Figur 2.4 Gudenå-systemet, nedbørsstationer, klimastationer.

NEDBØR, mm/md							
Måned	Addi- thus *)	Ejer *) Baune- høj	Ry *) Jern- banest.	Skand- erborg **)	Himmel- bjerget **)	Vest- birk **)	Karak- terisk
Jan.	125,5	103,3	113,2	88,9	110,7	131,3	112,2
Febr.	14,4	10,7	12,4	9,2	12,7	15,0	12,4
Marts	***)	16,9	18,3	14,4	25,0	23,0	19,5
April	-	61,8	60,8	49,2	71,4	66,9	62,0
Maj	-	30,9	25,4	21,5	23,0	28,0	25,8
Juni	20,5	13,2	19,6	24,2	19,2	18,3	19,2
Juli	31,3	33,8	39,4	42,0	31,8	33,7	35,3
Aug.	29,4	27,8	26,3	26,7	23,0	28,4	26,9
Sept.	74,5	85,9	92,9	57,3	79,9	87,2	79,6
Okt.	30,3	37,5	35,1	27,3	32,5	26,5	31,5
Nov.	86,2	65,6	74,0	54,7	72,4	70,0	70,5
Dec.	55,7	40,7	45,9	25,0	51,2	56,9	45,9
ÅR	-	528,1	563,3	440,4	552,8	585,2	540,8 534,0

*) Kun nedbørsstation

***) Klimastationer

***) Stationen er flyttet til Vissing kloster (ca. 6 km øst for Addithus)

Tabel 2.2 Nedbør i Mossø-området 1975.

gang til Mossø på 225 mill. m³ og en afgang på 213 mill. m³ (resulterende magasinering var i 1974 ca. 0, jf. tidligere bemærkninger i afsnit 2.1).

De 5 %'s afvigelse mellem tilgang og afgang kan tilskrives måleusikkerhed.

Yderligere kan det nævnes, at Danmarks geologiske Undersøgelse, udfra en meget oversigtsmæssig vurdering, /7/, skønner, at indsivningsmængderne er af en relativ ringe størrelse sammenlignet med vandbalancens øvrige led.

2.6 FORDAMPNING, Q_E

Dette led behandles på 4 forskellige måder:

1. Som ubekendt i vandbalancen på månedsbasis
2. Der indsættes værdier fundet ved hjælp af den externe varmebalance (jf. afsnit 3)
3. Søndersø-tallene indsættes i vandbalancen
4. Nedbør = fordampning afprøves på årsbasis.

I øvrigt henvises til afsnit 2.8 VANDBALANCER FOR MOSSØ-1975.

2.7 AFLØB, Q_0

Udfra Hedeselskabets registreringer af vandføringen ved Ry mølle og Ry bro (jf. kortet, figur 2.3) er ved tilbageregning fundet de aktuelle afløbsværdier på månedsbasis ved Poulsbakke (udløbet af Mossø). Disse er anført i tabel 2.3

Måned	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
VANDBALANCER, $10^6 \text{ m}^3/\text{md}$												
Gudenåen	28,67	16,92	12,58	12,88	9,45	7,72	6,87	6,76	7,64	8,43	8,90	-
Tåning å	5,17	6,75	6,00	1,88	0,77	0,69	0,34	0,21	0,23	0,16	0,06	-
Illerup å Bjergskov bæk Alken å	0,93	0,84	0,93	0,90	0,93	0,90	0,93	0,93	0,90	0,93	0,90	0,93
Diffus	1,25	0,88	0,70	0,56	0,40	0,33	0,29	0,28	0,31	0,34	0,35	-
Tot, tilløb	36,02	25,39	20,21	16,22	11,55	9,64	8,43	8,18	9,08	9,86	10,21	-
Nedbør	1,89	0,21	0,33	1,05	0,44	0,32	0,60	0,45	1,34	0,53	1,19	0,77
Tot, ind	37,91	25,60	20,54	17,27	11,99	9,96	9,03	8,63	10,42	10,39	11,40	-
Gudenåen, ud	55,98	29,27	20,76	18,22	12,70	6,87	8,04	6,51	6,35	7,26	-	-
Magasinerings	+ 0,84	× 5,23	× 1,69	× 0,51	× 1,52	× 0,51	+ 0,51	× 0,34	+ 1,18	+ 0,17	+ 1,52	-
Fordampning	×18,91	1,56	1,47	× 0,44	0,81	3,60	0,48	2,46	2,89	2,96	-	-
FORDAMPNING, mm/md												
Vandbalance	-	92	87	-	48	213	28	146	171	175	-	-
Søndersø	10	10	20	50	100	110	125	100	70	30	15	10
Extern- varmeb.	-	8	32	71	79	163	120	123	110	37	21	-
USIKKERHED PÅ VANDBALANCER, $10^6 \text{ m}^3/\text{md}$												
Δ Vandb., Søndersø	+19,1	× 1,39	× 1,13	+ 1,28	+ 0,88	× 1,74	+ 1,63	× 0,77	× 1,71	× 2,45	-	-
Δ Vandb., extern v.b.	-	× 1,42	× 0,93	1,63	0,53	× 0,85	1,55	× 0,39	× 1,03	× 2,33	-	-

Tabel 2.3 Månedlige vandbalancer, Mossø - 1975.

2.8 VANDBALANCER FOR MOSSØ-1975

Der er opstillet vandbalancer på måneds- og årsbasis.

Vandbalancerne på månedsbasis er forsøgt opstillet ud fra tre forskellige forudsætninger:

1. Fordampningen som ubekendt.
2. Fordampningstallene fra Søndersø indsættes.
3. Fordampningstallene fra den externe-varmebalance indsættes (jf. kapitel 3).

Vandbalancen på årsbasis er forsøgt opstillet ud fra fire forskellige forudsætninger:

1. 9 måneders balance. Årsværdien for fordampning, fundet ved hjælp af den externe varmebalance, indsættes.
2. 9 måneders balance. Årsværdien for fordampningen, fundet for Søndersø, indsættes.
3. 9 måneders balance. Nedbør sættes lig fordampning.
4. 10 måneders balance. Nedbør sættes lig fordampning.

2.8.1 MÅNEDSBALANCER, FORDAMPNING UBEKENDT

Tallene fremgår af tabel 2.3, 5. række fra neden.

Ved sammenligning med extern-varmebalance- og Sønderstøtallene ses, at det ikke har været muligt at udregne fordampningen på grundlag af månedsbalancer. Grunden til dette er, at fordampningen, bortset fra de tre sommermåneder, ligger inden for måleusikkerheden på afløbsmængden (10 - 15 %).

2.8.2 MÅNEDSBALANCER, FORDAMPNING FRA SØNDERSØ

Vandbalancen er "checket" ved at udregne følgende differens:

$$\Delta \text{ vandb.} = (Q_V + Q_E + Q_O) - (Q_I + Q_R + Q_P)$$

$\Delta \text{ vandb.} = 0$ er ensbetydende med, at vandbalancen stemmer.

Tallene fremgår af tabel 2.3, 2. række fra neden.

Bortset fra januar, hvor der ser ud til at være noget galt, ses $\Delta \text{ vandb.}$ at udgøre fra 5 - 20 % af den totale tilløbsmængde (størst i juni, juli, september og oktober), tilfældigt varierende mellem + bidrag og - bidrag.

Med de indbyggede måleusikkerheder (jf. afsnit 2.8.1) kan man ikke forvente bedre bestemmelse af vandbalancen.

Middelværdien og spredningen for $\Delta \text{ vandb.}$, Sønderstø (februar til oktober) er udregnet til henholdsvis $\approx 0,60$ (forventet værdi 0) og 1,48.

2.8.3 MÅNEDSBALANCER, FORDAMPNING FRA EXTERN- VARMEBALANCE

Jævnfør afsnit 2.8.2.

Tallene fremgår af tabel 2.3, nederste række. Middelværdien og spredningen for Δ vandb., extern-varmebalance (februar til oktober) er udregnet til henholdsvis $\approx 0,36$ og $1,34$.

Ved sammenligning med den tilsvarende middelværdi og spredning for Δ vandb., Sønderø ses, at den vandbalance, hvor man benytter fordampningstallerne fra den externe-varmebalance, både giver den mindste spredning på afvigelsen og den middelaftvigelse, der er tættest på nul.

Det kan således med rimelighed antages, at månedsbalancerne bliver bedst ved at indsætte fordampningstallene fra extern-varmebalance.

2.8.4 ÅRSBALANCER

Årsbalancerne er anført i tabel 2.4. Der er opstillet tre 9-måneders og en 10-måneders balance. 10 måneder, fordi målingerne i afløbet sluttede i begyndelsen af november. 9 måneder, fordi man havde mistanke til januarmålingerne (jf. afsnit 2.8.2).

Δ vandb. er fremkommet på samme måde som anført i afsnit 2.8.2. Tabel 2.4 viser:

at vandbalancen stemmer virkeligt godt, når man benytter fordampningstallerne fra den externe-varmebalance. (Aftvigelse mindre end 3 % af tilløbsmængden),

at vandbalancen ikke forværres ved at medtage januar-målingerne.

	Vandbalance 10^6 m^3			
	9 måneders balance, febr.-okt. Extern-varmeb.	9 måneders balance, febr.-okt. Søndersø	9 måneders balance, febr.-okt. Nedbør = fordampn.	10 måneders balance, jan.-okt. Nedbør = fordampn.
Tot., tilløb	118,56	118,56	118,56	154,58
Nedbør	5,27	5,27	-	-
Tot., ind	123,83	123,83	118,56	154,58
Afløb	115,98	115,98	115,98	171,96
Fordampning	12,55	10,38	-	-
Tot., ud	128,53	126,36	115,98	171,96
Magasinering	× 7,94	× 7,94	× 7,94	× 7,10
Δ vandb.	× 3,24	× 5,41	× 10,52	+ 10,28

Tabel 2.4 Vandbalance, Mossø-1975.

3. BESTEMMELSE AF FORDAMPNINGEN VED HJÆLP AF EN EXTERN-VARMEBALANCE

Der opstilles en extern-varmebalance med varmen til fordampning som eneste ubekendte. Udfra kendskabet til vands fordampningsvarme kan den fordampede vandmængde herefter findes.

3.1 EXTERN-VARMEBALANCE

$$q_v = q_i + q_r + q_p * q_e + q_h + (q_s * q_{sr} * q_{su}) + (q_l * q_{lr} * q_{lu}) * q_o + q_g + q_{sed}$$

Enhed: energi pr. tidsenhed

q_v = ændringen i søens varmeindhold

q_i = tilført varme med tilløb (f.eks. vandløb og spildevand)

q_r = tilført varme med diffuse tilløb (f.eks. overfladisk markafstrømning)

q_p = tilført varme med nedbør

q_e = varmeafgivelse/tilførsel ved fordampning/fortætning, regnet positiv som afgivelse

q_h = varmeafgivelse ved konvektion (gradientbetinget transport mellem luft- og vandfase)

$(q_s * q_{sr} * q_{su})$ = varmetilførsel ved kortbølget indstråling

idet q_s = indstrålingen lige over vandoverfladen

q_{sr} = den reflekterede stråling

q_{su} = tilbagestråling fra vandlegemet

$(q_l * q_{lr} * q_{lu})$ = varmetilførsel ved langbølget stråling

idet q_l = indstrålingen lige over vandoverfladen

q_{lr} = den reflekterede stråling

q_{lu} = langbølget udstråling fra vandlegemet

q_o = varmeafgivelse ved afløb

q_g = varmetilførsel/afgivelse ved ind/udsivning, regnet positiv som indsivning

q_{sed} = varmetilførsel/afgivelse fra/til sedimentet, regnet positiv som tilførsel

3.1.1 VARMEMAGASINERING, q_v

Beregningerne foretages i to skridt:

- a. Udregning af magasineringen under forudsætning af konstant volumen.
- b. Korrektion på grund af vandspejlsvariationer.

Ad a.

Søen inddeles i n lag, idet man tilstræber at vælge lagdelingen således, at man med god tilnærmelse kan regne med konstant temperatur i de enkelte lag.

$$q_v = c_w \cdot \rho_w \cdot \sum_{i=1}^n (V_i \cdot \theta_i(t_2) - V_i \cdot \theta_i(t_1))$$

hvor c_w = vands varmekapacitet $\approx 1 \text{ kal/g } ^\circ\text{C}$

ρ_w = vands densitet $\approx 1 \text{ g/cm}^3$

V_i = voluminet af lag i

$\theta_i(t_1)$ = temperaturen af lag i til tiden t

$\sum_{i=1}^n V_i$ = søens volumen

Omregnes til kal og m^3 fås:

$$q_v = 10^6 \cdot \sum_{i=1}^n (V_i \cdot \theta_i(t_2) - V_i \cdot \theta_i(t_1)) \quad \text{kal/t}_2 - \text{t}_1$$

hvor θ_i indsættes i $^\circ\text{C}$

V_i indsættes i m^3

V_i

Mossø's hypsograf er anført i tabel 3.1. Arealerne pr. hele meter er bestemt ved planimetrering af dybdekurver

Dybde m	Areal km ²	Dybde m	Areal km ²
0	16,878	11½	5,756
½	16,123	12	5,586
1	15,368	12½	5,369
1½	14,594	13	5,151
2	13,820	13½	4,968
2½	13,164	14	4,784
3	12,507	14½	4,577
3½	11,766	15	4,369
4	11,025	15½	4,162
4½	10,372	16	3,955
5	9,719	16½	3,562
5½	8,932	17	3,168
6	8,145	17½	2,608
6½	7,759	18	2,048
7	7,373	18½	1,660
7½	7,162	19	1,272
8	6,951	19½	0,755
8½	6,777	20	0,237
9	6,603	20½	0,149
9½	6,409	21	0,061
10	6,214	21½	0,038
10½	6,070	22	0,014
11	5,925		

Tabel 3.1 Hypsograf, Mossø.

(foretaget af Bo Riemann, Botanisk Institut, Århus Universitet). Arealerne i 1/2 meters niveauerne er fundet ved lineær interpolation. Hypsografen er optegnet på figur 3.1. Voluminet for et givet lag er fundet ved at multiplicere lagets middelareal med lagtykkelsen.

I tabel 3.3 er anført lagvoluminer svarende til en lagdeling pr. meter (overfladelag dog pr. 1/2 meter).

I tabel 3.2 er anført lagvoluminer svarende til laggrænser beliggende i 0,2, 8, 12, 18 og 22 meters dybde.

θ_i

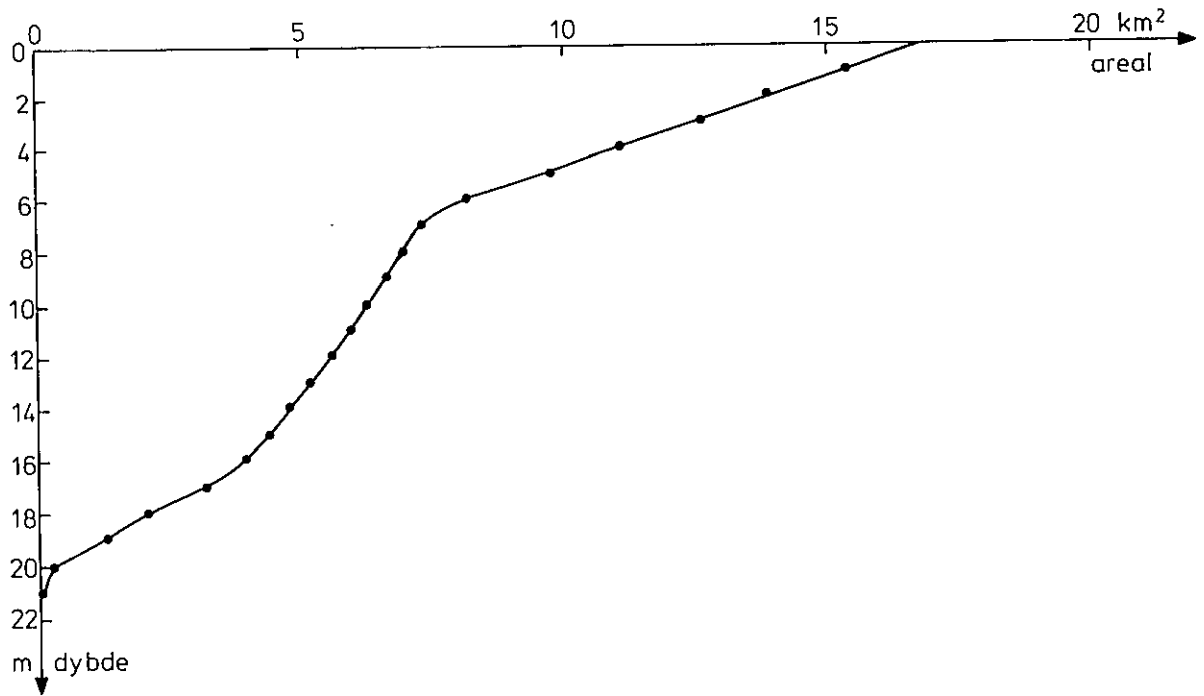
Vandkvalitetsinstituttet har udført temperaturmålinger. Yderligere er der i beregningerne suppleret med temperaturmålinger, som Botanisk Institut, Århus Universitet har udført.

Målingerne er udført på station MOS 420, som er beliggende midt i det store østlige bassin.

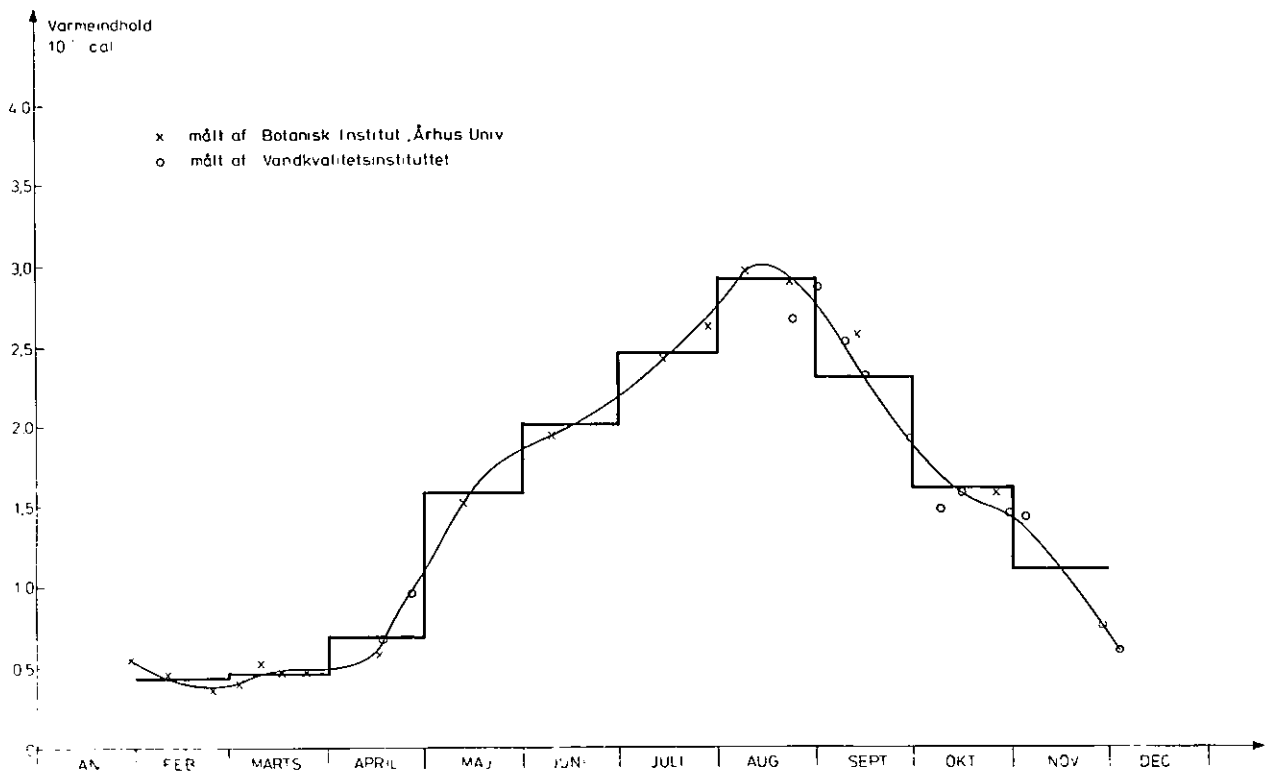
Da temperaturmålinger foretaget andre steder i søen (to stationer i den vestlige ende), bortset fra enkelte sommermåneder, ikke afviger væsentligt (< 1 °C) fra MOS 420-målingerne, og da det store bassin udgør over 80 % af totalvoluminet, antages MOS 420-målingerne at være karakteristiske for hele søen.

q_v

De udregnede varmeindhold er anført i tabel 3.4 og plottet på figur 3.2. På samme figur er indtegnet en udjævnet kurve.



Figur 3.1 Hypsografisk kurve, Mossø.



Figur 3.2 Varmeindhold, Mossø - 1975.

Ved at fratrække varmeindholdet i begyndelsen af en måned fra varmeindholdet i slutningen af samme måned, begge aflæst på den udjævnedede kurve, kan man herefter bestemme magasineringen.

Resultaterne er anført i tabel 3.5.

Ad b.

Det vand, der forsvinder eller tilføres, forudsættes at have samme temperatur som søens overflade. En for de enkelte måneder karakteristisk overfladetemperatur er anført i tabel 3.10. De tilførte/fraførte vandmængder fås af tabel 2.1. Ændringen i varmemagasineringen, på grund af vandspejlsvariationer, er anført i tabel 3.5 og i samme tabel er udregnet den resulterende varmemagasinering. Som det fremgår af tabel 3.5 er varmemagasineringen ikke særlig afhængig af vandspejlsvariationer.

Laggrænse m-m	Lagtykkelse m	Karakteristisk temperatur- dybde m	Volumen 10^6 m^3
0 - 2	2	1	30,70
2 - 8	6	5	62,31
8 - 12	4	10	25,07
12 - 18	6	15	22,90
18 - 22	4	20	4,12
TOTAL VOLUMEN			145,10

Tabel 3.2 Lagvoluminer, Mossø.

Laggrænse m-m	Lagtykkelse m	Karakteristisk temperatur- dybde m	Volumen 10^6 m^3
0 - ½	½	0, ½	8,25
½ - 1½	1	1	15,37
1½ - 2½	1	2	13,82
2½ - 3½	1	3	12,51
3½ - 4½	1	4	11,03
4½ - 5½	1	5	9,72
5½ - 6½	1	6	8,15
6½ - 7½	1	7	7,37
7½ - 8½	1	8	6,95
8½ - 9½	1	9	6,60
9½ - 10½	1	10	6,21
10½ - 11½	1	11	5,93
11½ - 12½	1	12	5,59
12½ - 13½	1	13	5,15
13½ - 14½	1	14	4,78
14½ - 15½	1	15	4,37
15½ - 16½	1	16	3,96
16½ - 17½	1	17	3,17
17½ - 18½	1	18	2,05
18½ - 19½	1	19	1,27
19½ - 20½	1	20	0,24
20½ - 21½	1	21	0,06
TOTAL VOLUMEN			142,55

Tabel 3.3 Lagvoluminer, Mossø

Dato	Varmeindhold 10^{15} kal	Dato	Varmeindhold 10^{15} kal
29.01	0,55	09.10	1,48
10.02	0,46	15.10	1,60
24.02	0,37	26.10	1,58
03.03	0,41	30.10	1,46
10.03	0,54	04.11	1,44
17.03	0,48	28.11	0,77
24.03	0,48	03.12	0,61
16.04	0,59		
17.04	0,69		
26.04	0,98		
12.05	1,52		
09.06	1,96		
14.07	2,43		
28.07	2,63		
09.08	2,97		
23.08	2,91		
24.08	2,66		
01.09	2,86		
09.09	2,54		
13.09	2,57		
15.09	2,32		
29.09	1,94		

Tabel 3.4 Varmeindhold, Mossø - 1975.

VARMEMAGASINERING			
10^{15} kal/md			
Måned	Ved konstant volumen	Δ på grund af vandspejlsvariation	Total
Januar	-	-	-
Februar	× 0,13	× 0,01	× 0,14
Marts	+ 0,10	× 0,01	+ 0,09
April	+ 0,61	0	+ 0,61
Maj	+ 0,76	× 0,02	+ 0,74
Juni	+ 0,31	× 0,01	+ 0,30
Juli	+ 0,57	+ 0,01	+ 0,58
August	0	× 0,01	× 0,01
September	× 0,89	+ 0,02	× 0,87
Oktober	× 0,42	0	× 0,42
November	× 0,73	+ 0,01	× 0,72
December	-	-	-

Tabel 3.5 Varmemagasinerings, Mossø - 1975.

3.1.2 TILLØB, q_i

Varmemængden tilført med tilløb findes som:

$$q_i = \frac{10^6 \cdot \bar{Q}_I \cdot \bar{\theta}_i (t_2 * t_1)}{\text{kal}/t_2 * t_1}$$

hvor \bar{Q}_I = middelvandføringen i perioden
($t_2 - t_1$), $m^3/\text{tidsenhed}$

$\bar{\theta}_i$ = middeltemperaturen i det tilførte
vand i perioden ($t_2 * t_1$), $^{\circ}\text{C}$

10^6 : jf. afsnit 3.1.1

3.1.2.1 GUDENÅ

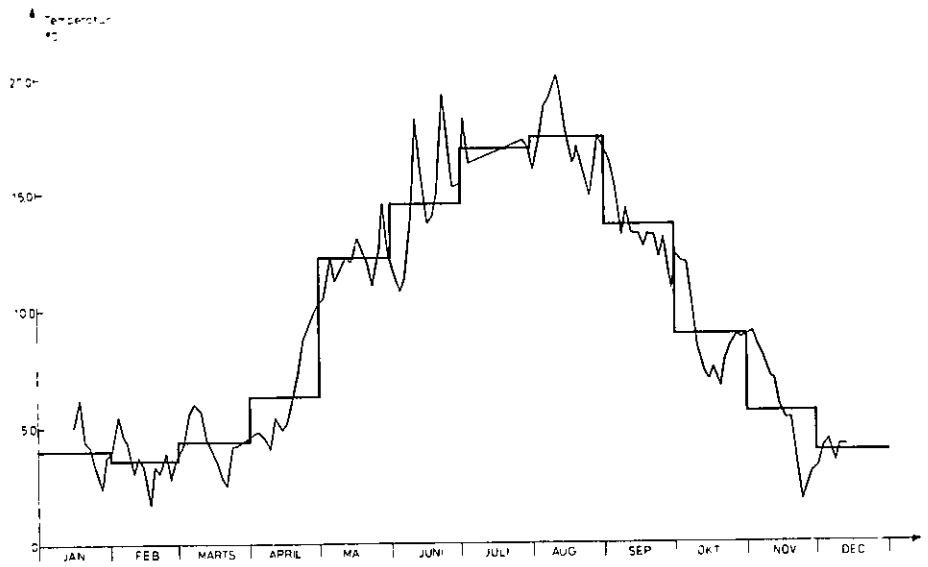
\bar{Q}_I fås fra tabel 2.3.

Vandkvalitetsinstituttet har foretaget temperaturmålinger ca. hver 3. dag.

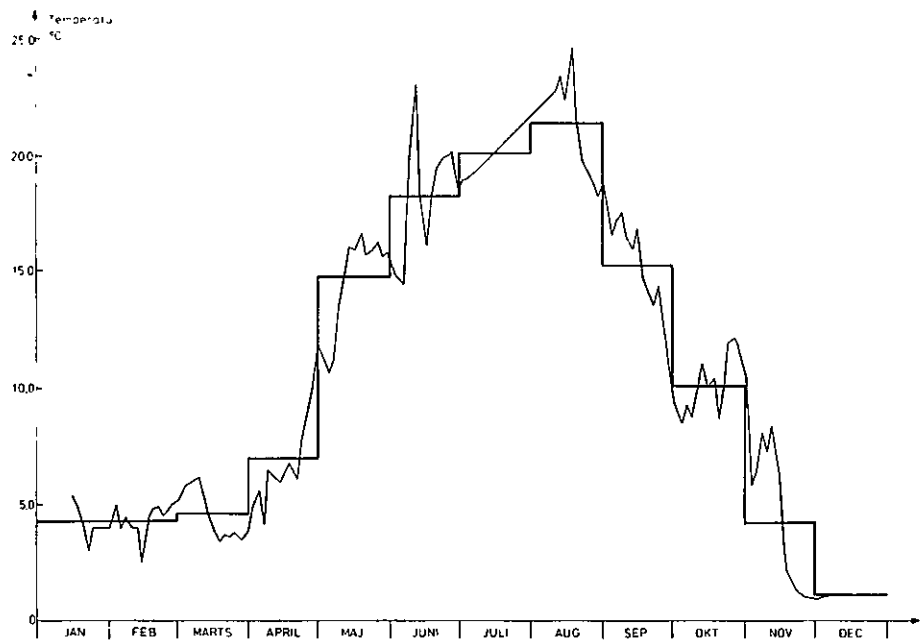
Målingerne er optegnet på figur 3.3.

Af hensyn til bestemmelse af en karakteristisk månedstemperatur er grafisk indlagt en trappekurve. Ved indtegningen er tilstræbt, at arealet under hvert månedstrappetrin er lig arealet under den tilsvarende kurvedel.

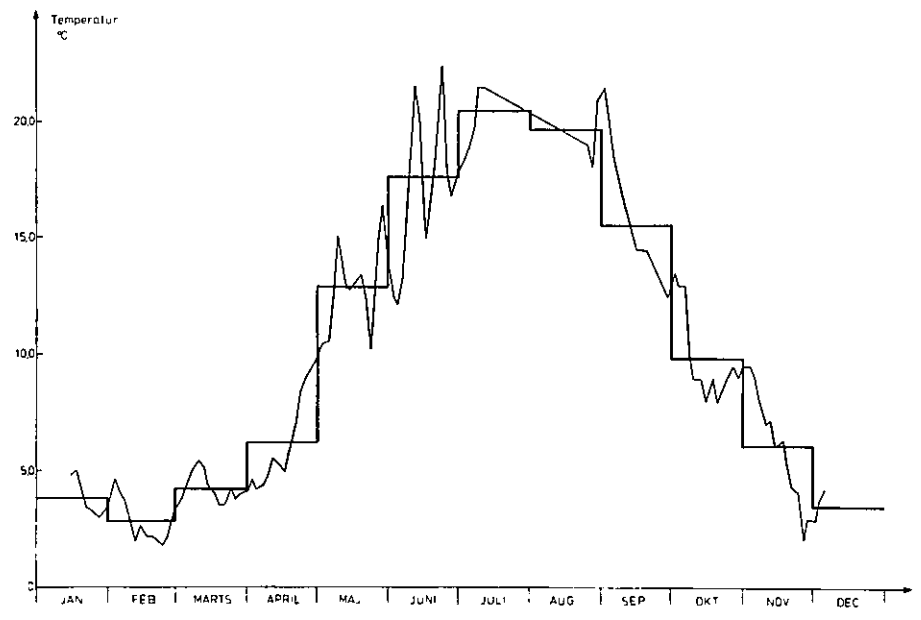
De karakteristiske månedstemperaturer samt den tilførte varmemængde er anført i tabel 3.6.



Figur 3.3
Gudenå (til-
løb) 1975.



Figur 3.4
Tåning å
(tilløb) 1975



Figur 3.7
Poulsbakke,
Gudenå (af-
løb) 1975.

3.1.2.2 TÅNING Å

\bar{Q}_I fås fra tabel 2.3.

Vedrørende frekvens af temperaturmåling samt bestemmelse af en karakteristisk månedstemperatur se afsnit 3.1.2.1.

Temperaturerne er optegnet på figur 3.4.

Karakteristiske temperaturer samt tilført varmemængde er anført i tabel 3.6.

3.1.2.3 ILLERUP Å, ALKEN Å, BJERGSKOV BÆK

\bar{Q}_I fås fra tabel 2.3.

Der har ikke været foretaget temperaturmåling i disse tilløb.

Den samlede tilførte varmemængde fra disse tilløb er fundet ved at antage, at varmebidraget procentvis udgør samme del af det samlede varmebidrag fra Gudenå og Tåning å som vandbidraget.

De tilførte varmemængder er anført i tabel 3.6.

3.1.3 DIFFUSE TILLØB, q_r

Summen af bidragene fra Gudenå, Tåning å, Illerup å, Bjergskov bæk og Alken å multipliceres med $\frac{21}{586}$ (jf. afsnit 2.3). Resultaterne er anført i tabel 3.6. I samme tabel er udregnet totalt tilførte varme med "tilløb".

Tilløb	Gudenå		Tåning å		Illerup å + Alken å + Bjergskov bæk		$\Sigma(G+T+I+A+B)$	Diffus	Total
	Karakte- ristisk temp. °C	Varme- mængde 10^{15} kal/md	Karakte- ristisk temp. °C	Varme- mængde 10^{15} kal/md	% af G+T (vand)	Varme- mængde 10^{15} kal/md	Varme- mængde 10^{15} kal/md	Varme- mængde 10^{15} kal/md	Varme- mængde 10^{15} kal/md
Jan.	4,0	0,115	4,3	0,022	3	0,004	0,141	0,005	0,146
Febr.	3,6	0,061	4,3	0,029	4	0,004	0,094	0,003	0,097
Marts	4,4	0,055	4,6	0,028	5	0,004	0,087	0,003	0,090
April	6,3	0,081	7,0	0,013	6	0,006	0,100	0,004	0,104
Maj	12,2	0,115	14,7	0,011	9	0,011	0,137	0,005	0,142
Juni	14,5	0,112	18,2	0,013	10	0,013	0,138	0,005	0,143
Juli	16,9	0,116	20,1	0,007	13	0,016	0,139	0,005	0,144
Aug.	17,4	0,118	21,4	0,005	13	0,016	0,139	0,005	0,144
Sept.	13,6	0,104	15,2	0,004	11	0,012	0,120	0,004	0,124
Okt.	8,9	0,075	10,1	0,002	11	0,008	0,085	0,003	0,088
Nov.	5,6	0,050	4,2	0	10	0,005	0,055	0,002	0,057
Dec.	3,9	-	1,1	-	-	-	-	-	-

Tabel 3.6 Varmetilførsel med tilløb, Mossø - 1975.

3.1.4 NEDBØR, q_p

$$\underline{q_p = 10^6 \cdot Q_p \cdot \bar{\theta}_p}$$

Q_p = nedbør i perioden ($t_2 \times t_1$) i m^3

$\bar{\theta}_p$ = middellufttemperatur i perioden ($t_2 \times t_1$), $^{\circ}C$

Q_p fås fra tabel 2.3

$\bar{\theta}_p$ fås fra tabel 3.7

Bidraget af varme fra nedbør er anført i tabel 3.11.

3.1.5 FORDAMPNING, q_e

Den ubekendte.

3.1.6 KONVEKTIV VARME, q_h

q_h kan sættes lig $B \cdot q_e$ /2/

hvor $B = \text{Bowens forhold} = 0,49 \frac{\theta_o \times \theta_a}{e_{m,o} \times e_a}$ /2/

θ_o = vandoverfladens temperatur, $^{\circ}C$

θ_a = tør lufttemperatur, $^{\circ}C$

$e_{m,o}$ = vanddamps mætningstryk ved θ_o , mm Hg

$$e_a = \frac{F}{100} e_{m,a} = \text{aktuelt damptryk i luft,} \\ \text{mm Hg}$$

$$F = \text{relativ luftfugtighed, \%}$$

$$e_{m,a} = \text{vanddamps mætningstryk ved } \theta_a, \\ \text{mm Hg}$$

θ_o

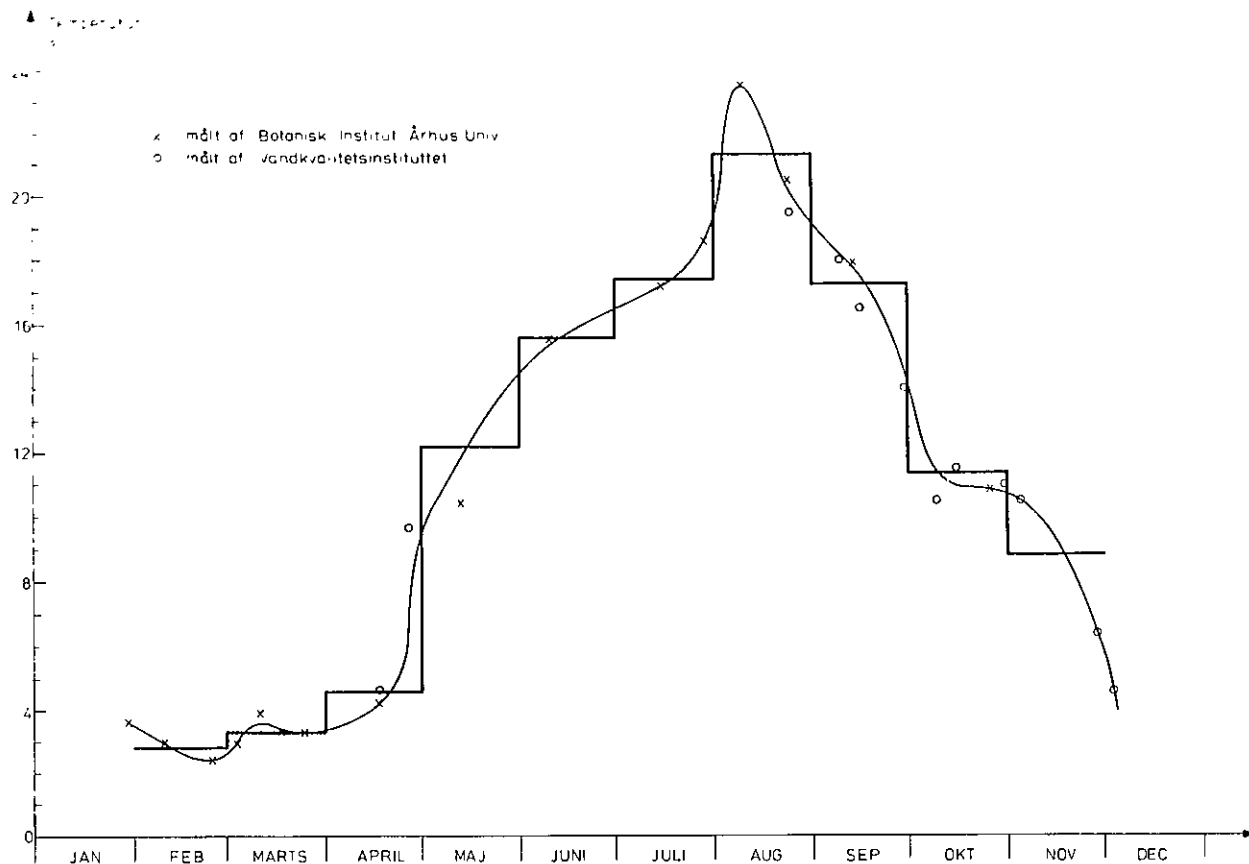
Målingerne er plottet på figur 3.5, og der er indlagt en udjævnet kurve. På grundlag af denne kurve er der bestemt nogle karakteristiske månedsværdier, disse er anført i tabel 3.10.

θ_a

Der har været benyttet målinger fra Meteorologiske Instituts tre klimastationer omkring Mossø (jf. kortet figur 2.4). På grundlag af tre daglige målinger (kl. 8, 14 og 21) er udregnet månedsmiddelværdier for de enkelte stationer. Disse er anført i tabel 3.7. I samme tabel er anført en karakteristisk lufttemperatur for de enkelte måneder (middelværdidannelse på de tre stationer). Som det fremgår af tabel 3.7, er der ringe variation mellem de tre stationer.

$e_{m,o}$

Ved indgang med de karakteristiske overfladevandtemperaturer er i /8/ fundet de i tabel 3.10 anførte værdier.



Figur 3.5 Overfladevandtemperatur, Mossø - 1975.

F

Vandkvalitetsinstituttet har, på de samme dage som temperaturprofilet blev bestemt, foretaget en række orienterende målinger af den relative luftfugtighed i luften umiddelbart over Mossø. Resultaterne er anført i tabel 3.8.

Til sammenligning er i samme tabel anført værdier udregnet på grundlag af målinger fra de tre klimastationer. Da luftfugtighedsmålingen på Mossø har været foretaget omkring middagstid, er de i tabel 3.8 anførte klimastationsmålinger kun baseret på værdier målt kl. 8 og 14. Som det fremgår af tabel 3.8, er der forskel mellem de to serier.

På figur 3.6 er forsøgt at etablere en lineær sammenhæng mellem målingerne på Mossø og middelværdierne af Meteorologisk Instituts målinger i tre stationer. Som det fremgår af figur 3.6, er denne sammenhæng ikke signifikant.

Måned	Skanderborg °C	Himmelbjerget °C	Vestbirk °C	Karakteristisk °C
Jan.	4,5	4,1	4,8	4,5
Febr.	1,5	1,2	1,3	1,3
Marts	2,6	2,3	2,6	2,5
April	5,2	4,8	5,4	5,1
Maj	11,0	11,1	11,6	11,2
Juni	14,6	14,4	15,3	14,8
Juli	17,4	17,2	17,7	17,4
Aug.	19,8	20,1	19,4	19,8
Sept.	14,1	13,8	13,7	13,9
Okt.	8,8	8,3	8,6	8,6
Nov.	4,6	3,8	5,1	4,5
Dec.	3,7	3,4	3,8	3,6

Tabel 3.7 Tør lufttemperatur, Mossø - 1975.

Relativ luftfugtighed, %					
	Skanderborg *)	Himmelbjerget *)	Vestbirk *)	Middel Met. Inst. klimast. *)	Vandkvalitetsinstituttet
17.4	67	69	70	69	53
26.4	57	60	51	56	56
24.8	76	60	66	67	74
1.9	75	62	70	69	78
9.9	74	72	66	71	91
15.9	82	75	76	78	(100) **)
29.9	80	85	84	83	92
9.10	68	74	92	78	(100) **)
15.10	87	92	93	91	(100) **)
30.10	89	88	87	88	95
4.11	91	92	88	90	89
28.11	90	92	94	92	94
3.12	96	93	95	95	86

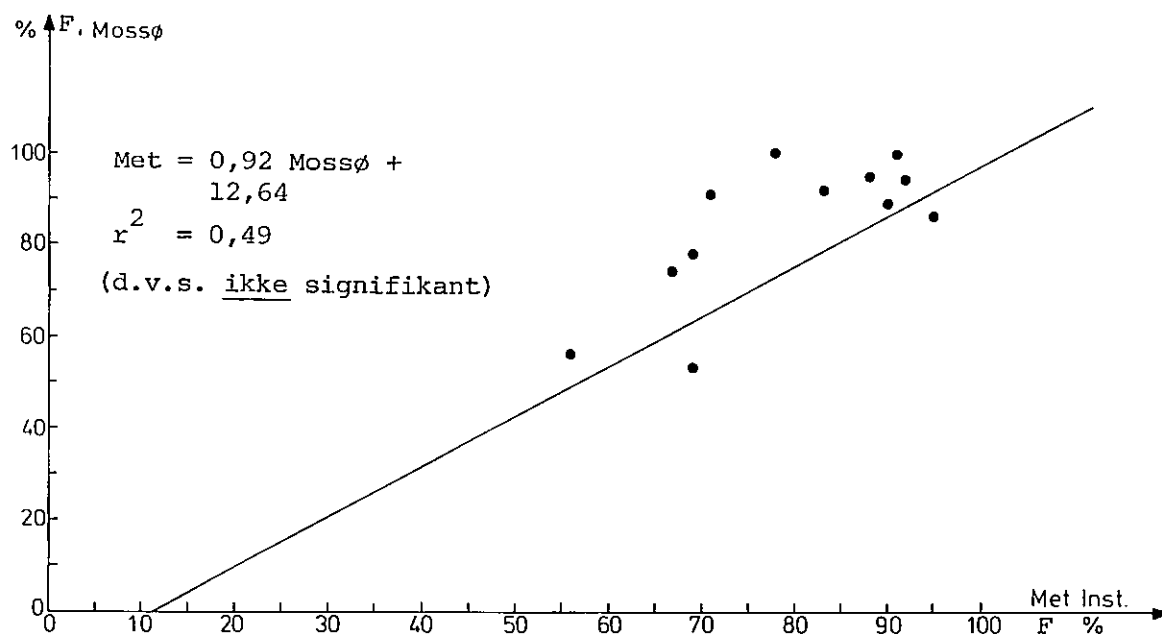
*) Middelværdi af måling kl. 8 og 14.

***) Tør lufttemperatur <våd lufttemperatur ⇒ fugtighed over 100.

Tabel 3.8 Relativ luftfugtighed, Mossø - 1975.

I tabel 3.9 er anført månedsmiddelværdier for de tre klimastationer baseret på daglige målinger kl. 8, 14 og 21. I samme tabel er også anført de karakteristiske månedsværdier (middelværdi af de tre stationer).

Da der er ringe variation mellem luftfugtighedsmålingerne på Meteorologisk Instituts tre klimastationer, og da man må forvente, at disse målinger er udført med stor nøjagtighed, samtidig med at man ikke har



Figur 3.6 Korrelation mellem relativ luftfugtighed målt på Mossø og middelværdi af stationerne: Skanderborg, Himmelbjerget og Vestbirk.

kunnet etablere nogen sammenhæng mellem disse, og de målinger, der er foretaget direkte på Mossø, vil klimastationsmålingerne blive benyttet i det følgende.

$e_{m,a}$

Ved indgang med de karakteristiske tørlufttemperaturer fra tabel 3.7 i /8/ er fundet de i tabel 3.10 anførte værdier.

B

Bowens forhold er dernæst udregnet, og resultaterne er anført i tabel 3.10.

Måned	Relativ luftfugtighed, %			
	Skanderborg	Himmelbjerget	Vestbirk	Karakteristisk
Jan.	92	92	90	91
Febr.	90	90	87	89
Marts	83	82	82	82
April	81	82	79	81
Maj	72	69	69	70
Juni	72	70	67	70
Juli	76	74	74	75
Aug.	72	74	70	72
Sept.	83	81	81	82
Okt.	86	87	86	86
Nov.	91	93	92	92
Dec.	86	90	87	88

Tabel 3.9 Relativ luftfugtighed, Mossø - 1975.

Måned	Overfl. vand temp. $\theta_o, ^\circ\text{C}$	Tør lufttemp. $\theta_a, ^\circ\text{C}$	Vd. mætn. tryk ved θ_o $e_{m,o}, \text{mm Hg}$	Vd. mætn. tryk ved θ_a $e_{m,a}, \text{mm Hg}$	Relativ luftf. % F	Bowens forhold B
Jan.	-	4,5	-	6,32	91	-
Febr.	2,8	1,3	5,61	5,03	89	0,65
Marts	3,3	2,5	5,81	5,49	82	0,30
April	4,6	5,1	6,36	6,59	81	0,24
Maj	12,2	11,2	10,66	9,98	70	0,13
Juni	15,6	14,8	13,29	12,62	70	0,09
Juli	17,4	17,4	14,90	14,90	75	0,00
Aug.	21,3	19,8	19,00	17,32	72	0,11
Sept.	17,3	13,9	14,81	11,91	82	0,33
Okt.	11,4	8,6	10,11	8,38	86	0,47
Nov.	8,8	4,5	8,49	6,32	92	0,79
Dec.	-	3,6	-	-	88	-

Tabel 3.10 Bowens forhold, Mossø - 1975.

3.1.7 KORTBØLGET NETTOINDSTRÅLING, ($q_s * q_{sr} * q_{su}$)

q_s

Der er benyttet målinger fra Hydroteknisk Laboratoriums (KVL) klimastation på Højbakkegård i Tåstrup. Her måles hver 10. minut den totale kortbølgede indstråling (direkte + diffus) også kaldet global indstråling (300 - 4.000 nm). I tabel 3.11 er anført de integrerede månedsværdier.

I /9/ er demonstreret, at der på månedsbasis ikke er nogen statistisk signifikant forskel mellem målinger foretaget på Højbakkegård og målinger foretaget i Karup (indstrålingsstation ca. 50 km NV for Mossø).

Grunden til, at man ikke vil benytte Karup som indstrålingsstation på trods af dens nære beliggenhed ved Mossø, er, at der ikke måles langbølget indstrålinger, og det anses for væsentligt, at de benyttede kort- og langbølgede indstrålingstal er fra samme station.

$$\underline{q_{sr} + q_{su}}$$

Da det ikke rent måleteknisk er muligt at adskille disse to led, behandles de næsten altid under eet som "reflektion". Den korrekte betegnelse er imidlertid kortbølget-albedo = reflektion + tilbagestråling.

Målinger har vist, at leddet varierer betydeligt både over dagen og over året som fkt. af bl.a.: skytæthed, skyhøjde, solhøjde, bølgestejlhed og skumdannelse.

I /2/ anføres dog, at man med rimelig god tilnærmelse kan benytte en gennemsnitlig albedokoefficient (A_S) på 8 %.

Dette motiveres med, at de store variationer i albedoen hovedsageligt optræder, når den relative betydning af den kortbølgede indstråling er lille (lave solhøjder) samtidig med, at betydningen af albedokoefficienten dæmpes ved, at det er $(1 \times A_S)$, som indgår i varmebalancen.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Måned	Magasi- nering	Tilløb	Afløb	Needør	Kortbøl- get net- toindstr.	Langbøl- get net- toindstr.	Lang- bølget udstrå- ling	Konvek- tiv var- me + fordamp- ningsv.	Bovens forhold	Konvektiv varme	Varme til fordampn.	Fordamp- ning $10^6 \text{ m}^3/\text{md.}$ Q_E	Fordamp- ning mm/md Q_E	Måned
	q_v	$q_i + q_r$	q_o	q_p	$q_s / q_{sr} \cdot q_{su}$	$q_l \cdot q_{lr}$	q_{lu}	$q_h + q_e$	B	q_h	q_e			
Jan.	-	0,15	0,21	0,01	0,17	3,24	-	-	-	-	-	-	-	Jan.
Febr.	0,14	0,10	0,08	0	0,56	2,58	3,16	0,14	0,65	0,06	0,08	0,14	8	Febr.
Marts	+0,09	0,09	0,09	0	1,07	2,96	3,53	0,41	0,30	0,09	0,32	0,54	32	Marts
April	+0,61	0,10	0,11	0,01	1,62	3,00	3,48	0,53	$\approx 0,24$	$\approx 0,17$	0,70	1,19	71	April
Maj	+0,74	0,14	0,16	0	2,32	3,33	4,00	0,89	0,13	0,10	0,79	1,34	79	Maj
Juni	+0,30	0,14	0,12	0	2,68	3,45	4,08	1,77	0,09	0,15	1,62	2,75	163	Juni
Juli	+0,58	0,14	0,17	0,01	2,30	3,81	4,31	1,20	0	0	1,20	2,03	120	Juli
Aug.	$\approx 0,01$	0,14	0,13	0,01	2,09	3,76	4,53	1,35	0,11	0,13	1,22	2,07	123	Aug.
Sept.	$\approx 0,87$	0,12	0,10	0,02	1,21	3,51	4,17	1,46	0,33	0,36	1,10	1,86	110	Sept.
Okt.	$\approx 0,42$	0,09	0,07	0	0,53	3,54	3,97	0,54	0,47	0,17	0,37	0,63	37	Okt.
Nov.	$\approx 0,72$	0,06	-	0,01	0,26	3,07	3,69	0,37	0,79	0,16	0,21	0,36	21	Nov.
Dec.	-	-	-	-	0,16	3,10	-	-	-	-	-	-	-	Dec.

ALLE VARMEMÆNGDER ER 10^{15} kal/md.

Tabel 3.11 Bestemmelse af den månedlige fordampning ved hjælp af en extern-varmebalance, Mossø - 1975.

3.1.8 LANGBØLGET NETTOINDSTRÅLING, ($q_1 \neq q_{1r} \neq q_{1u}$)

q_1

Der benyttes målinger fra Højbakkegård. De integrerede månedsværdier er anført i tabel 3.11 (4.000 - 100.000 nm).

I maj, juni, juli og august har det på grund af instrumentsammenbrud været nødvendigt at benytte 1974 data. Dette har ikke så stor betydning, da den langbølgede stråling varierer meget lidt både fra år til år og henover året (jf. tabel 3.11).

q_{1r}

Denne varierer ifølge /2/ meget lidt og kan antages konstant at udgøre 3 % af q_1 .

q_{1u}

Ethvert legeme med en temperatur over det absolutte nulpunkt udsender stråling med en intensitet, der afhænger af legemets karakter og temperatur.

Dette udtrykkes ved Stefan-Boltzmanns lov:

$$\underline{q_{1u} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4}$$

hvor ε = legemets emissivitet

$$\sigma = \text{Stefan-Boltzmanns konstant} = 4,965 \cdot 10^{*8} \text{ kkal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{°K}^4$$

T = legemets temperatur, °K.

Da et vandlag af blot få cm's tykkelse absorberer af langbølget stråling samtidig med, at det vides, at et legemes emissivitet er lig dets absorption (Kirchhoff's lov) kan ϵ sættes til 0,97 (jf. bemærkninger under q_1).

På grund af Kelvin-skalaens dæmpende virkning ($273 + ^\circ\text{C}$) vil den langbølgede udstråling variere meget lidt over året (jf. tabel 3.11).

3.1.9 AFLØB, q_0

Jf. afsnit 3.1.2.

\bar{Q}_0 fås fra tabel 2.3.

Vandkvalitetsinstituttet har foretaget temperaturmålinger ca. hver 3. dag. Målingerne er optegnet på figur 3.7.

Vedrørende bestemmelse af karakteristisk månedstemperatur se afsnit 3.1.2.

De fraførte varmemængder er anført i tabel 3.11.

3.1.10 INDSIVNING, q_g

Jf. afsnit 2.5. Dette led er ikke medtaget i varmebalancen.

3.1.11 SEDIMENT, q_{sed}

Der ses bort fra dette led. Ifølge /2/ er dette en rimelig antagelse.

3.1.12 BESTEMMELSE AF FORDAMPNINGSMÆNGDEN

Alle ledene i varmebalancen er anført i tabel 3.11.

I kolonne 9 er udregnet

$$q_e + q_h = * q_v + q_i + q_r - q_o + q_p + \\ (q_s * q_{sr} * q_{su}) + (q_l * q_{lr}) * q_{lu}$$

Da $q_h = B \cdot q_e$ (jf. afsnit 3.1.6)

$$\text{fås } q_e + q_h = q_e(1+B) \rightarrow q_e = \frac{q_e + q_h}{1+B}$$

B fås fra kolonne 10.

Ved division af kolonne 9 ($q_e + q_h$) med $(1 + B)$ fås kolonne 12 (q_e).

Varmen til fordampning er en sum af to bidrag:

q_e = varme der forsvinder med det fordampede vand + nødvendig varme til fordampningsprocessen =

$$C_w \cdot \rho_w \cdot \bar{\theta}_o \cdot Q_E + \rho_w \cdot L \cdot Q_E$$

hvor C_w = vands varmekapacitet, 1 kal/g °C

ρ_w = vands densitet, 1 g/cm³

$\bar{\theta}_o$ = karakteristisk månedsværdi for overfladevandtemperaturen

Q_E = den fordampede vandmængde

L = vands fordampningsvarme. Denne vil variere som fkt. af overfladevandtemperaturen. For et temperaturinterval på 0°C til 25 °C anføres i /10/ L-værdier fra 597,3 kal/g til 583,2. I disse beregninger benyttes en karakteristisk L-værdi på 590 kal/g.

Normalt vil man kunne se bort fra leddet:

$C_w \cdot \rho_w \cdot \bar{\theta}_o \cdot Q_E$, idet det ifølge /2/ maksimalt kan udgøre 4 % af $\rho_w \cdot L \cdot Q_E$ (ved 25 °C overfladevandtemperatur).

Ved division af kolonne 12 (q_e) med L fås fordampningen (Q_E) i m³/md. Disse værdier er anført i kolonne 13. I kolonne 14 er Q_E anført som mm/md.

I bilag I er angivet en vurdering af usikkerheden på de gennemførte beregninger.

3.2 DISKUSSION

I tabel 3.12 er til sammenligning anført data fra andre danske og svenske undersøgelser.

Ved sammenligning af de danske tal ses, at der er god overensstemmelse for månederne: februar, juli, august, oktober (undtagen Esrum) og november. Mindre god overensstemmelse for månederne: marts, april, maj, juni og september.

Det ses, at Mossø-tallene har en tendens til at være større end de andre danske tal, samtidig med at Esrum-tallene (også extern-varmebalance) igen har en tendens til at være større end Peblinge og Søndersø-tallene (begge fordampningspander).

På grundlag af tabel 3.12 kan man udregne, at summen af fordampningen i januar og december for Søndersø og Peblinge sø udgør henholdsvis 3 % og 4 % af årsværdien.

Samtidig kan man for de samme søer udregne, at summen af: januar, februar, marts, november og december udgør henholdsvis 10 % og 12 % af årsværdien.

Estimeres de manglende måneder for Esrum sø og Mossø ved hjælp af bidragsprocenter på henholdsvis 11 og 3,5 (jf. ovenstående), fås følgende årsværdier for fordampningen (mm/år):

Peblinge sø	Søndersø	Esrum sø	Mossø
710	650	807	792

Det ses, at værdierne for Esrum sø og Mossø praktisk taget er identiske. Samtidig er disse en del større

FORDAMPNING, mm/md											
Måned	Peblingen *)	Sønder- sø *)	Esrum sø **)	Mossø **)	Erken (Sverige) **)	Erken **)	Erken **)	Erken **)	Velen (Sverige) **)	Velen ***)	Velen ***)
	1849-59	1943-47	1974	1975	1957	1958	1959	1957-59	1971	1971	1968-71
Jan.	16	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Febr.	13	10	-	8	-	-	-	-	-	-	-
Marts	25	20	-	32	-	-	-	-	-	-	-
April	50	50	61	71	-	-	-	-	-	-	-
Maj	94	100	131	79	-	-	-	-	-	-	-
Juni	135	110	129	163							
Juli	132	125	139	120	218 ^{****)}	222	260	225	202	271	203
Aug.	113	100	107	123	86	80	(87)	112	118	99	118
Sept.	66	70	76	110	54	83	68	78	86	72	77
Okt.	35	30	75	37	31	46	(73)	43	42	61	24
Nov.	18	15	-	21	-	-	-	-	-	-	-
Dec.	13	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-

*) Fordampningspander

***) Extern-varmebalance

****) Vandbalance

*****) Juni + juli

Tabel 3.12 Danske og svenske fordampningstal.

end Peblinge sø tallet og væsentligt større end det, der normalt benyttes ved vandbalanceundersøgelser, nemlig tallet fra Søndersø.

Den forholdsvis høje værdi for fordampningen fra Mossø i 1975 kan forklares ved den meget tørre og varme sommer dette år. En tilsvarende forklaring kan ikke gives for Esrum sø i 1974.

Det skal bemærkes, at man må forvente, at den beregnede fordampning er en smule overestimeret ved denne fremgangsmåde (extern-varmebalance), idet luft- og overfladevandtemperatur kun er målt om dagen. Dette kan dog langt fra forklare den konstaterede 22 % afvigelse mellem Mossø og Søndersø-fordampningsværdierne.

Ovenstående sammenligning demonstrerer således, at man risikerer at underestimere fordampningen ved ukritisk at benytte Søndersø-tallene fra 1943 - 1947 i stedet for aktuelle målinger af fordampningen.

Af tabel 3.12 ses endvidere, at de svenske undersøgelsesresultater ligger i samme variationsområde som de danske.

For at undersøge, om man kan forklare forskellene mellem de tre sæt af fordampningsværdier (Søndersø, Esrum sø, Mossø) ved forskelle i indstrålingsforhold de pågældende år de pågældende steder, har man forsøgt at etablere en lineær sammenhæng mellem fordampningen og antallet af solskinsminutter (den eneste indstrålingsparameter, der også blev målt i 1943-47).

Indstrålingsdataene er anført i tabel 3.13. Regressionsberegningerne gav følgende resultater:

Søndersø, 1943-47

Januar til december (12 sæt)

$$Q_E = *8,88 + 0,0076 \times S \quad r^2 = 0,92$$

Februar til november (10 sæt)

$$Q_E = *13,10 + 0,0079 \times S \quad r^2 = 0,90$$

Esrum sø, 1974

April til oktober (7 sæt)

$$Q_E = 71,76 + 0,0023 \times S \quad r^2 = 0,13$$

Mossø, 1975

Februar til november (10 sæt)

$$Q_E = *9,27 + 0,0075 \times S \quad r^2 = 0,73$$

hvor Q_E = fordampningen, mm/md

S = antallet af solskinsminutter pr. måned.

Måned	SØNDERSØ 1943-47		ESRUM SØ 1974		MOSSØ 1975	
	Indstr. min *)	Ford. mm	Indstr. min *)	Ford. mm	Indstr. min **)	Ford. mm
Jan.	2197	10	1780	-	2430	-
Febr.	3516	10	3695	-	6432	8
Marts	6393	20	10935	-	9510	32
April	9918	50	18970	61	9870	71
Maj	16626	100	15720	131	16956	79
Juni	13574	110	17040	129	18840	163
Juli	15616	125	14388	139	16272	120
Aug.	13741	100	14700	107	18516	123
Sept.	9988	70	8166	76	10242	110
Okt.	5387	30	5125	75	4146	37
Nov.	1619	15	2110	-	3336	21
Dec.	1446	10	2405	-	3186	-
ÅRSSUM	100021	650	115034	807	119736	792

*) MÅLESTATION, TOLDBODEN

**) MÅLESTATION, ØDUM

Tabel 3.13 Indstrålings- og fordampningsværdier.

Som det fremgår af ovenstående, er det muligt at etablere en statistisk signifikant lineær sammenhæng for Søndersø, medens dette ikke er tilfældet for Esrum sø.

Umiddelbart vil en r^2 -værdi på 0,73 for Mossø ikke kunne betegnes som statistisk signifikant, men da de beregnede linier for Søndersø og Mossø næsten er sammenfaldende, forstærker dette regressionen.

På baggrund af det foranstående må det for søer, hvor man ikke foretager aktuelle målinger af fordampningen, sandsynligvis anses for bedre at estimere de månedlige fordampningsværdier ved hjælp af udtrykket:

$$\underline{Q_E = 9 + 0,008 \times S}$$

hvor Q_E = fordampningen, mm/md
 S = antallet af solskinsminutter pr. måned

end at benytte Søndersø-tallene fra 1943-47.

For at sammenligne den relative betydning af de enkelte led i den externe varmebalance er disse optegnet på figur 3.8 (Mossø - 1975).

På grundlag af figur 3.8 kan man konkludere:

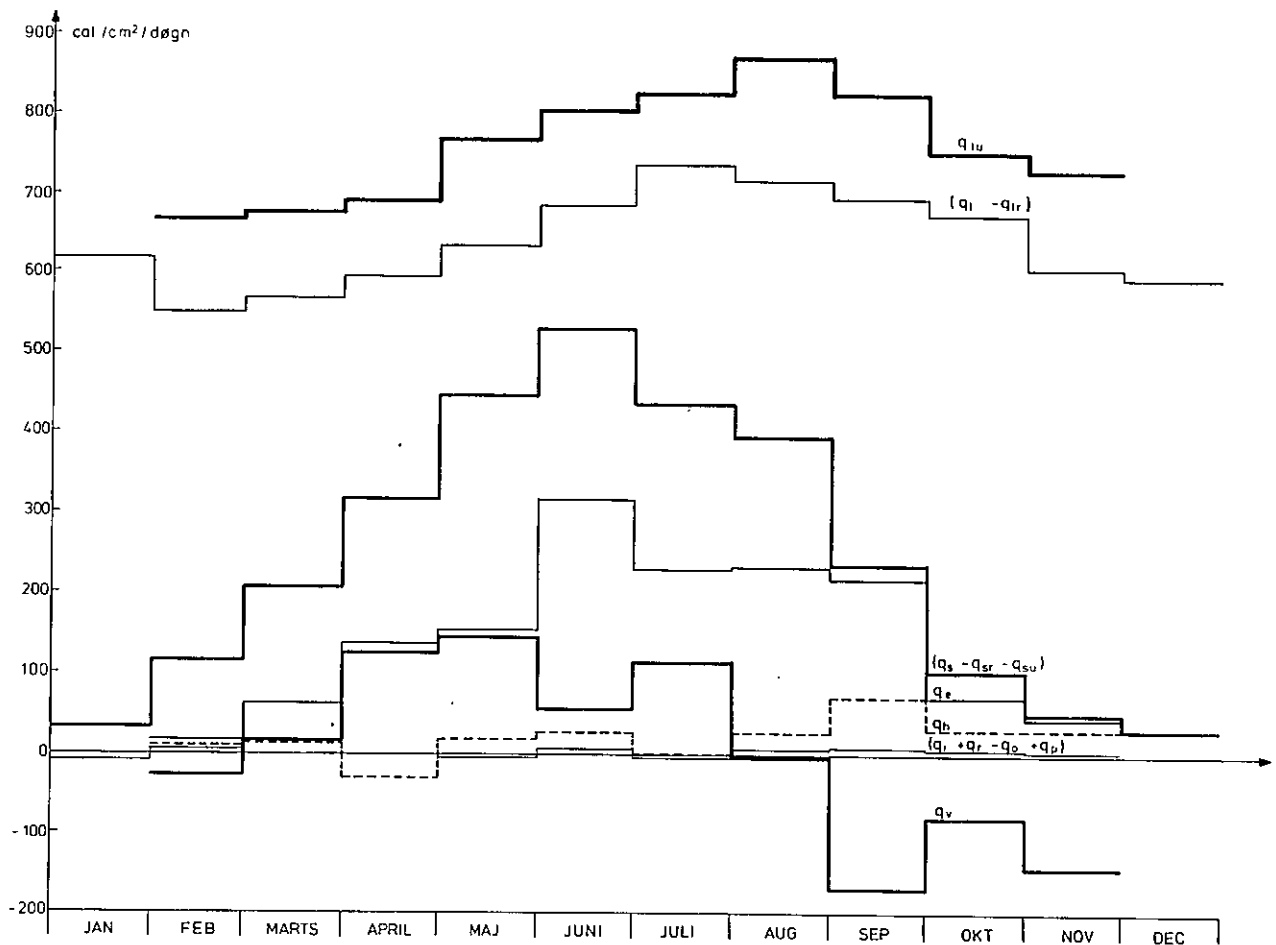
at det advektive led ($q_i + q_r \times q_o + q_p$) er uden betydning,

at den langbølgede nettostråling ($q_l \times q_{lr} \times q_{lu}$) ikke varierer væsentligt over året og altid er negativ (det vil sige afgivelse af varme).

at fordampningen følger mønstret for den kortbølgede nettostråling ($q_s \mp q_{sr} \mp q_{su}$),

at det konvektive led almindeligvis er af mindre betydning i balancen.

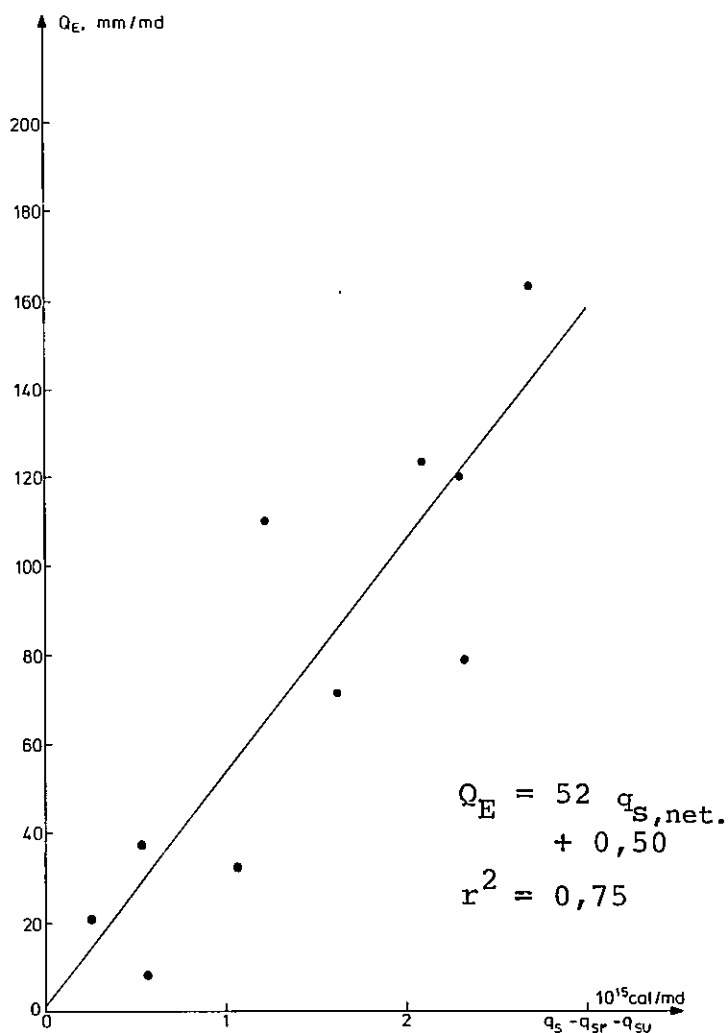
En tilsvarende optegning i /2/ har givet samme mønster for de enkelte leds relative betydning.



Figur 3.8 Extern-varmebalance, Mossø - 1975.

Da det tilsyneladende er den kortbølgede nettostråling, der styrer fordampningen, er på figur 3.9 søgt at etablere en lineær sammenhæng mellem disse to led.

Da korrelationskoefficienten kun er 0,75, kan den viste sammenhæng ikke anses for at være statistisk signifikant.



Figur 3.9 Korrelation mellem kortbølget nettostråling og fordampning, Mossø - 1975.

3.3 EVALUERING

På baggrund af det foregående kan man konkludere/
anbefale følgende:

1. Hypsografen bør kendes med stor sikkerhed, idet varmemagasineringsberegningen er meget sensitiv for delvolumenbestemmelsen.
2. Ved månedlige balancer bør temperaturen i søen bestemmes mindst hver uge for hver meter.
3. Der skal foretages en vurdering af eventuelle horisontale temperaturgradienter.
4. Det skal dreje sig om store månedlige vand-spejlsvariationer ($> 1/4$ meter) før magasinændringen bør medtages i bestemmelsen af varmemagasineringen.
5. Datamaterialet skal være meget nøjagtigt, før man bør opstille balancer af kortere varighed end 1 måned. I øvrigt er det i de færreste praktiske tilfælde, hvor man har behov for større tidsopløsning.
6. Kun for søer med meget lille opholdstid (< 1 år) er det nødvendigt at medtage det advektive led $q_i + q_r \approx q_o + q_p$.

7. Indstrålingsdata fra Højbakkegård og luftfugtighedsmålinger og tørlufttemperatur fra nærmeste klimastation samt en antagelse om 8 % middelreflektion på det kortbølgede lys og 3 % på det langbølgede må anses at give rimelige gode månedlige fordampningsværdier.

8. Hvis man vælger selv at måle luftfugtighed og tørlufttemperatur bør disse foretages mindst een gang om ugen. I øvrigt bør man være opmærksom på, at både luftfugtighed og tørlufttemperatur varierer betydeligt over døgnet (Meteorologisk Institut måler kl. 8, 14 og 21).

9. In-situ kontinuert automatisk registrering af de nedenfor nævnte parametre vil forbedre de månedlige fordampningsværdier og må anses for helt nødvendigt, hvis man ønsker større tidsopløsning (f.eks. 2 uger eller 1 uge).

En automatisk registrering kunne bestå af:

A. Nettoindstråling, $q_s - q_{sr} + q_{su} + q_l - q_{lr} + q_{lu}$

Forslag til måler:

Siemen Ersking - "Nettomåler".
(Hydroteknisk, KVL).

B. Tørlufttemperatur.

Forslag til måler:

Aanderaa temperatursonde.

C. Luftfugtighed.

1) B + vådlufttemperatur →
psykrometer

2) Aanderaa fugtighedsmåler.

D. Temperaturprofil.

Forslag til måler:

Aanderaa termistorkæde.

4. KONKLUSIONER

4.1 GENERELT

1. Hvis vandbalancen skal benyttes til bestemmelse af den månedlige fordampning, tyder denne undersøgelse på, at man skal kende alle led i balancen virkeligt godt.
2. Den externe-varmebalance har vist sig velegnet til bestemmelse af fordampningen på månedsbasis.
3. Normalt vil man i varmebalancen kunne se bort fra det advektive led (varme tilført med tilløb + varme tilført med nedbør * varme fraført med afløb) samt den ændring, der sker i varmemagasineringen på grund af ændring af vandspejlet.
4. Det langbølgede strålingsbidrag varierer meget lidt over året og er altid negativt (d.v.s. afgivelse af varme fra søen ved langbølget stråling).
5. Fordampningen styres hovedsageligt af det kortbølgede strålingsbidrag.
6. Det ser ud til, at man opnår rimeligt gode månedlige fordampningsværdier ved at benytte strålingsdata fra Landbohøjskolen (Hydroteknisk Laboratoriums klimastation Højbakkegård i Tåstrup) og meteorologiske data fra den nærmeste klimastation.

D.v.s. det eneste, man skal måle lokalt er søens temperaturfordeling.

Yderligere kræves et godt kendskab til søens hypsograf.

7. Større tidsopløsning end måneder (f.eks. 2 uger eller 1 uge) vil efter al sandsynlighed kræve etablering af kontinuert registrerende udstyr i/på søen.
8. I mangel af aktuelle fordampningsmålinger er det efter alt at dømme bedre at benytte udtrykket:

$$\underline{Q_E = 9 + 0,008 \times S}$$

hvor Q_E = fordampningen i mm pr. måned,

S = antallet af solskinsminutter pr. måned,

end at benytte Søndersø-tallene fra 1943-47.

I øvrigt henvises til afsnit 3.3, hvor der er anført konklusioner, der kan have interesse i forbindelse med en konkret anvendelse af extern-varmebalancemetoden.

4.2 Mossø - 1975

1. 1975 vandbalancen for Mossø stemmer bedst, hvis man benytter fordampningsværdier fra den externe-varmebalance.

Indsættelse af fordampningstal fra Sønderø eller "fordampning = nedbørtilnærmelsen" forøger afvigelsen.

2. Fordampningen fra Mossø i 1975 er bestemt til 792 mm, hvilket er ca. 22% større end Sønderø-tallet (der normalt benyttes ved opstilling af vandbalancer).

Dette illustrerer, at man risikerer at underestimere fordampningen betydeligt ved ukritisk at benytte Sønderø-tallet.

5. LITTERATURFORTEGNELSE

- /1/ Vandbalanceudvalget, 1952:
Beretning fra Vandbalanceudvalget.
ATV-beretning nr. 17.
- /2/ Andersen, Sv. Aa.:
Varmebalance for søer.
Rapport 1-1976. Laboratoriet for teknisk
Hygiejne, Danmarks tekniske Højskole
(in press).
- /3/ Bagge, Laila:
Tillämpning av energibalansmetoden för
beräkning av avdunstning fra Erken.
Avdelningen för Hydrologi, Naturgeogra-
fiska Institutionen, Uppsala Universitet.
Uppsala 1974.
- /4/ Rodhe, Allan:
Evaporation from Lake Velen estimated from
the energy budget. Hydrology of Lakes Sym-
posium IASH-AISH.
Publication No. 109, p. 239-244.
- /5/ Anderson, E.R., 1954:
Energy-Budget Studies. Water-loss investi-
gations: Lake Hefner Studies, Technical
report. Geol. Survey Prof. Paper 269, Was-
hington, p. 71-119.

- /6/ Dyhr-Nielsen, M:
Notat til Botanisk Institut pr. 23. maj
1975.
Det danske Hedeselskab - Hydrometriske
Undersøgelser, Slagelse.
- /7/ Andersen, L. Jørgen:
Danmarks Geologiske Undersøgelse -
Personlig kommunikation.
- /8/ Handbook of Chemistry and Physics.
49th Edition. The Chemical Rubber Co.
- /9/ Hansen, S. og Johansen, N.B.:
Solindstråling. Individuelt kursus ved
Laboratoriet for teknisk Hygiejne. For-
året 1975.
- /10/ Water Resources Research:
Heat and mass transfer between a water
surface and the atmosphere.
Laboratory Report No. 14. 1972.
- /11/ Rasmussen, R.E.H.:
Elementær måleteori.
Jul. Gjellerups Forlag, København 1964.

Der er benyttet data indsamlet af:

Botanisk Institut, Århus Universitet,
Meteorologisk Institut, København,
Vandkvalitetsinstituttet, Hørsholm.
Hydroteknisk laboratorium, Landbohøjskolen,
Tåstrup.

BILAG I. USIKKERHED

$$Q_E = \frac{100,4}{10^{15}} \cdot \frac{\%q_v + (q_i + q_r \% q_o + q_p) + (q_s \% q_{sr} \% q_{su}) + (q_l \% q_{lr}) \% q_{lu}}{1 + B}$$

hvor Q_E er i mm/md

q 'erne i kal/md

Ifølge /11/ kan usikkerheden S_R på en sammensat måling

$R = f(x, y, z, \dots)$ findes som:

$$S_R = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x} \cdot s_x\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y} \cdot s_y\right)^2 + \dots}$$

hvor S 'erne er usikkerhederne på de målinger, der indgår i den sammensatte måling.

Sættes i udtrykket for Q_E :

$$\alpha = \%q_v$$

$$\beta = q_i + q_r \% q_o + q_p$$

$$\gamma = q_s \% q_{sr} \% q_{su}$$

$$\delta = q_l \% q_{lr}$$

$$\epsilon = \%q_{lu}$$

$$\zeta = 1 + B$$

fås følgende udtryk for usikkerheden på Q_E som funktion af usikkerhederne på de størrelser, der indgår i bestemmelsen af den externe varmebalance:

$$\Delta Q_E = \frac{100,4}{10^{15} \cdot \zeta} \sqrt{(\alpha \cdot S_\alpha)^2 + (\beta \cdot S_\beta)^2 + (\gamma \cdot S_\gamma)^2 + (\delta \cdot S_\delta)^2 + (\epsilon \cdot S_\epsilon)^2 + \left(\frac{\alpha + \beta + \gamma + \delta + \epsilon}{\zeta}\right)^2 \cdot (\zeta \cdot S_\zeta)^2} \quad \text{mm/md}$$

Ved indsættelse af:

$$S_\alpha = \pm 10 \%, \text{ skønnet}$$

$$S_\beta = \pm 10 \%, \text{ skønnet}$$

$$S_\gamma = \pm 2,5 \%, /2/$$

$$S_\delta = \pm 5 \%, /2/$$

$$S_\epsilon = \pm 1 \%, /2/$$

$$S_\zeta = \pm 15 \%, /2/ + \text{skønnet}$$

fås de i tabel B.1. anførte usikkerheder.

Måned	Fordampning mm/md	Absolut usikkerhed %
Januar	-	-
Februar	8	100
Marts	32	41
April	71	35
Maj	79	27
Juni	163	18
Juli	120	25
August	123	21
September	110	21
Oktober	37	38
November	21	48
December	-	-

Tabel B.1 Usikkerhed på fordampningstallene,
Mossø - 1975.

Af tabel B.1 ses, at usikkerheden er mindst i de måneder, hvor fordampningen betyder mest for vandbalancen, og størst i de måneder, hvor fordampningen betyder mindst for vandbalancen.

Sommermånederne (maj, juni, juli, august og september) har en gennemsnitlig usikkerhed på ca. 22 % og udgør tilsammen 75 % af årsværdien, medens vintermånederne har en gennemsnitlig usikkerhed på ca. 52 % og udgør 21 % af årsværdien.

Grunden, til at der optræder et usikkerhedsminimum i sommermånederne, er, at det kortbølgede strålingsled, med den lave usikkerhed (2,5 %), er dominerende, samtidig med at Bowens forhold med den store usikkerhed (15 %) har mindst betydning (det vil sige $1 + B \approx 1$).