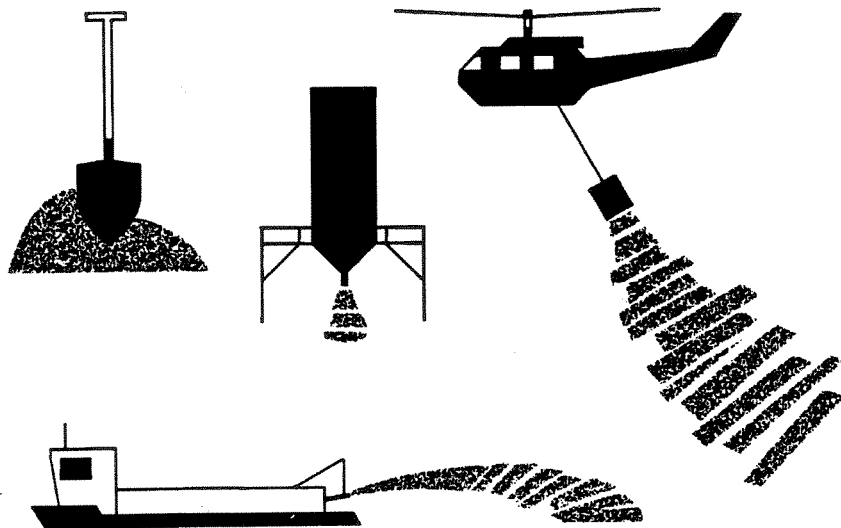


NIVA



RAPPORT LNR 3412-96

Optimalisert vassdragskalking - brukermanual til programmet TPKALK 1.11.



NIVA - RAPPORT

Norsk institutt for vannforskning  NIVA

Prosjektnr.:	Undernr.:
O-96036	
Løpenr.:	Begr. distrib.:
3412-96	

Hovedkontor	Sørlandsavdelingen	Østlandsavdelingen	Vestlandsavdelingen	Akvaplan-NIVA AS
Postboks 173, Kjelsås	Televeien 1	Rute 866	Thornøhlensgt 55	Søndre Tollbugate 3
0411 Oslo	4890 Grimstad	2312 Ottestad	5008 Bergen	9000 Tromsø
Telefon (47) 22 18 51 00	Telefon (47) 37 29 50 55	Telefon (47) 62 57 64 00	Telefon (47) 55 32 56 40	Telefon (47) 77 68 52 80
Telefax (47) 22 18 52 00	Telefax (47) 37 04 45 13	Telefax (47) 62 57 66 53	Telefax (47) 55 32 88 33	Telefax (47) 77 68 05 09

Rapportens tittel: Optimalisert vassdragskalking - brukermanual til programmet TPKALK 1.11.	Dato:	Trykket:
	Feb. 1996	NIVA 1996
Forfatter(e): Arnt-Olav Håøya (GeoMiljø), Atle Hindar, Anja Skiple (NIVA) og Espen Enge	Faggruppe:	
	Kalking	
	Geografisk område:	
Norge	Antall sider:	Opplag:
	32	20

Oppdragsgiver: Direktoratet for naturforvaltning	Oppdragsg. ref.: 659 12/95
---	-------------------------------

Ekstrakt:

Denne brukermanualen gir en veiledning til bruk av simulering- og beregningsprogrammet TPKALK. Programmet kan brukes til å finne fram til riktige kalkmengder, gjenforsøringsforløp etter kalking og kalkingsfrekvens ved innsjøkalking. Manualen anbefaler rutiner for bruk av programmet og inneholder beregningseksempler.

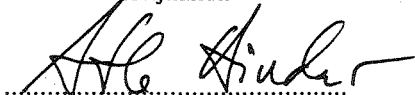
4 emneord, norske

1. Innsjøkalking
2. Simulering og beregning
3. Brukermanual
4. Dataprogram

4 emneord, engelske

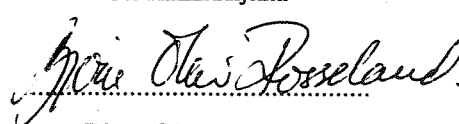
1. Lake liming
2. Simulation and calculation
3. User manual
4. Computing program

Prosjektleder



Atle Hindar

For administrasjonen



Bjørn Olav Rosseland

ISBN 82-577-2945-0

Innholdsfortegnelse

1	Innledning	3
2	Brukermanual til TPKALK versjon 1.11	3
2.1	Installere TPKALK	4
2.2	Programstruktur	5
2.3	GJENFORSURINGSANALYSE (velg A fra hovedmeny)	5
	Simulering på ny innsjøkalking (trykk n)	7
	Omkalking etter: Ett/to/tre år	10
	Repetisjon av siste simulering	10
	Avslutt	10
2.4	KALLOPTIMALISERING (velg E fra hovedmeny)	10
2.5	SIMULERINGS - DATABASE (velg H i hovedmeny)	12
	Hente/lagre simuleringer	12
	Hente el. koble tilløp	13
	Sletting av filer	15
	Oversikt over simuleringer	16
	Rapport: Kostn./pH/alt	16
	Vis/skriv ut rapport	17
3	Vedlegg	19
3.1	Avrenning	19
	Avløpsfordeling i TPKALK	19
3.2	Innsjøvolum	20
3.3	pH-kalsium	21
	Målt sammenheng mellom pH og kalsium; pH_0 og A_{pH}	21
3.4	Kalkingsstrategi	22
	Effekter av for høy dosering	22
	Oppfølging av simuleringene	23
3.5	Kalkingseksempel	23
	Simulert kalking av enkeltinnsjø	25
	Simulert kalking av innsjø med et tilløp	27
	Simulert kalking av innsjø med flere tilløp (kobling av tilløp) ..	28
3.6	Nyttige taster	29
3.7	Informasjon om filer i TPKALK 1.11 katalogen	29
3.8	Programmer som utgjør TPKALK 1.11	30
3.9	Modellens beregning av kalkopløsning	31

Forord

I brev av 30.03.95 fra Direktoratet for Naturforvaltning fikk NIVA i oppdrag å utarbeide en manual til et nesten ferdig dataprogram for innsjøkalking. Programmet TPKALK er utviklet og er i perioden blitt ferdigstilt, av Espen Enge hos Fylkesmannen i Rogaland.

NIVA inngikk et samarbeid med GeoMiljø om utarbeidelse av manualen. Det er Arnt-Olav Håøya som, i samarbeid med NIVA og Espen Enge, har hatt det alt vesentlige av arbeidet med den. Prosjektleder har vært Atle Hindar.

Grimstad, desember 1995

Atle Hindar

Optimalisert vassdragskalking

TPKALK versjon 1.11

1. Innledning

Det er mange vassdrag i Sør-Norge hvor det er ønskelig med forbedret vannkvalitet og større fiskebestander. På kort sikt må dette gjøres vha kalking, og for å oppnå en kostnadseffektiv gjennomføring av dette arbeidet er det utarbeidet håndbøker og simuleringsprogrammer som angir "optimale" doser av kalk til vassdragene. TPKALK er et simuleringsverktøy som er utviklet på erfaringer med kalking i Rogaland. Fra en kjent pH-kalsium sammenheng beregner modellen nødvendig kalkmengde til å oppnå en ønsket pH. Videre beregnes gjenforsuring av hele vassdrag, dvs både forgreninger og serier av innsjøer. Styrken til modellen er en helhetlig behandling av kalkingsarbeidet, dvs kalkoptimalisering, gjenforsuring, omkalking og rapportgenerering. Erfaring viser at TPKALK i dag er den beste og mest økonomiske måten å beregne kalkdosering til innsjøer (vassdrag).

Praktisk gjennomføring av vassdragskalking krever kunnskap om hydrologi og vannkjemi i området som skal kalkes. Beregningene kan enten gjøres manuelt slik som beskrevet i kalkingshåndboka eller vha beregningsverktøy. TPKALK er utviklet over 6 år med erfaringer fra Miljøvern avdelingen hos Fylkesmannen i Rogaland. Beregningsverktøyet er vel egnet til å simulere kompliserte vassdragssystemer.

Programmene som utgjør TPKALK er skrevet i Borland TurboPascal og benyttes fra DOS, DOS-vindu i Windows eller DOS-vindu i Windows95.

Neste kapittel inneholder manualen til TPKALK. Menynavn og menyvalg er merket med rød farge.

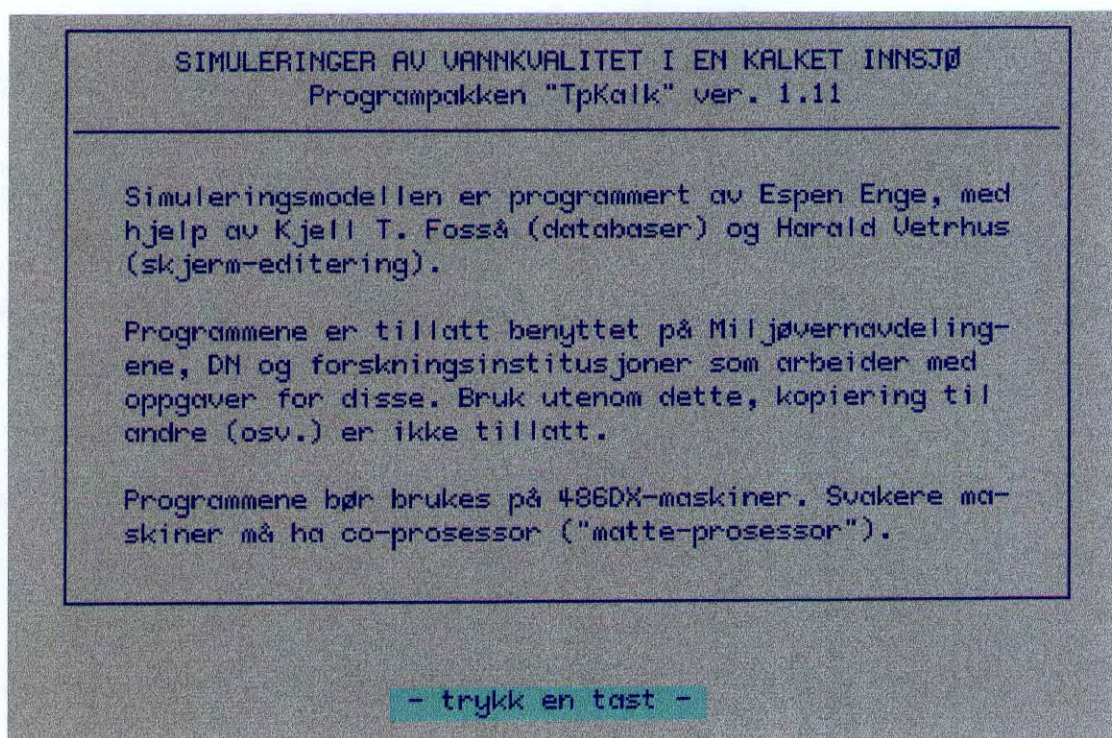
2. Brukermanual til TPKALK versjon 1.11

Manualen har samme struktur som programmet. Alle menyer og valg finnes her i underkapitler og avsnitt slik de opptrer i programmet. TPKALK består i hovedsak av tre programmer som fra hovedmenyen (SIM_MENY) gjør gjenforsurberegninger, kalkoptimalisering og organiserer simuleringene i en database. I tillegg kontrollerer hovedmenyen mindre programmer som viser resultater til skjerm eller som utskrift.

Figur 1 viser introduksjonen ved oppstart av programmet. TPKALK krever numerisk koproprosessor i datamaskinen¹. Programmet fungerer også med DOS/Windows-emulering for Macintosh.

Det er anbefalt å simulere omkalking hvert år selv om det ikke kalkes. Simuleringen gjøres da med null kalk. Fordelene med en årlig oppfølging er bedre sammenligningsgrunnlag mellom målt og simulert vannkjemi, samt at alle innsjøer i et kalkingsprogram til en hver tid er kommet like langt i simuleringsdatabasene.

1. 486DX og Pentium leveres med numerisk koproprosessor mens 386SX og 386DX må oppgraderes med numerisk koproprosessor.



FIGUR 1 Introduksjon ved oppstart av **SIM_MENY** fra DOS.

2.1 Installere TPKALK

Følg prosedyren for å installere TPKALK på harddisken. Etter installasjonen kan programmet benyttes fra katalogen "C:\TPK111"¹.

1. Fra DOS (C) skriv "mkdir TPKALK" og trykk retur. Dette oppretter en ny katalog med navn "TPK111". (Det er fullt mulig å benytte et annet område på harddisken og et annet katalognavn.)
2. Skriv "cd TPK111" og trykk retur, for å åpne katalogen (viser C:\TPK111).
3. Sett inn disketten med TPKALK 1.11 i diskettstasjonen. Skriv "copy A:*.*)" og trykk retur. Alle filene fra disketten blir nå kopiert til katalogen "TPK111" på harddisken.
4. Ta disketten ut av diskettstasjonen.
5. Start programmet med å skrive **SIM_MENY**² og trykk retur.

1. Katalognavnet henviser til TPKALK versjon 1.11. Ved oppdateringer bør nye kataloger opprettes.

2. Hvis det er ønskelig å starte programmet også fra andre kataloger enn "TPK111" og med andre kommandoer enn **SIM_MENY** opprettes en batch-fil med navn f.eks "KALK.bat". Programmet starter da på kommandoen "KALK". Skriv følgende i en tekstfil med navnet "KALK.bat" lokalisert under "C:\":

```
C:
cd \TPK111\
C:\TPK111\SIM_MENY
```

Bruk av taster som er nødvendige eller kan forenkle bruken av programmet er beskrevet i "Nyttige taster" på side 29.

2.2 Programstruktur

TPKALK er bygget opp med menyer og undermenyer. Hovedmenyen SIM_MENY styrer fil- og programhåndtering. Skriv SIM_MENY fra DOS for å starte programmet, slik som vist her: C:\TPK111\SIM_MENY (trykk retur). Skjermbildet i figur 1 blir nå vist.

Figur 2 viser valg fra hovedmenyen i TPKALK, mere informasjon om hvilke programmer som kontrolleres er vist i "Programmer som utgjør TPKALK 1.11" på side 29.

Dialogvinduet for hovedmenyen SIM_MENY utfører følgende:

- Dersom en ny innsjø skal legges inn benyttes GJENFORSURINGS-ANALYSE ved å velge A fra hovedmenyen.
- Dersom det er ønskelig å vite mere om effekten av forskjellige kalkdoseringer og kalkingsintervaller benyttes KALKOPTIMALISERING ved å velge E.
- Lagring og henting av data samt rapportgenerering og filbehandling gjøres vha SIMULERINGS - DATABASE som startes ved å velge H.
- Resultater blir tabulert til skjerm ved valg B og F, for beregninger fra henholdsvis GJENFORSURINGSANALYSE og KALKOPTIMALISERING.
- Resultatene fra gjenforsuringsanalyse vises grafisk til skjerm ved valg D.
- Resultater blir skrevet ut som tabell ved valg C og G, for henholdsvis gjenforsuring og kalkoptimalisering. Dersom det er problemer med skriveropsettet i DOS kan filene KALK36.DAT og OPT.DAT skrives ut vha en tekstbehandler (f.eks Word, bruk fonten Courier).

2.3 GJENFORSURINGSANALYSE (velg A fra hovedmeny)

Menyen til GJENFORSURINGSANALYSE inneholder fire valg:

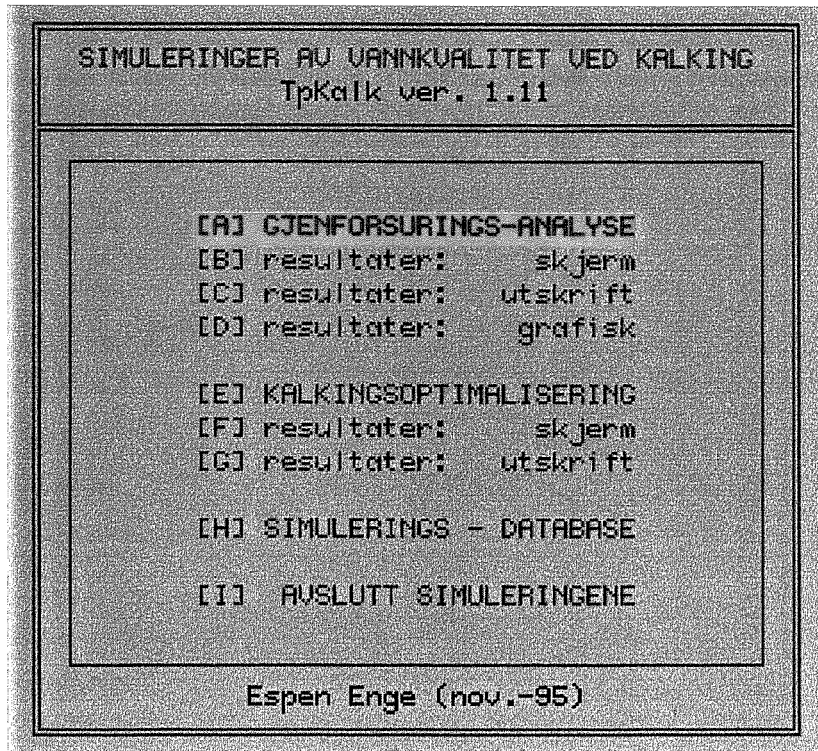
Simulering på ny innsjøkalking: Inndata for en ny innsjøsimulering legges inn her. Etter innlasting og beregning lagres inndata og resultater under valg H i hovedmenyen og deretter Lagre simulering (se "Hente/lagre simuleringer" på side 12).

Omkalking etter: Ett/to/tre år: Dette valget oppdaterer resultatfilen for innsjøen etter det valg som gjøres. Hvis f.eks omkalking etter ett år velges, blir vannkvaliteten ved dag 360 tilført en ny dose kalk. NB! Det er ikke mulig å komme seg tilbake til vannkvaliteten før omkalking uten å hente innsjøen inn på ny fra SIMULERINGS - DATABASE.

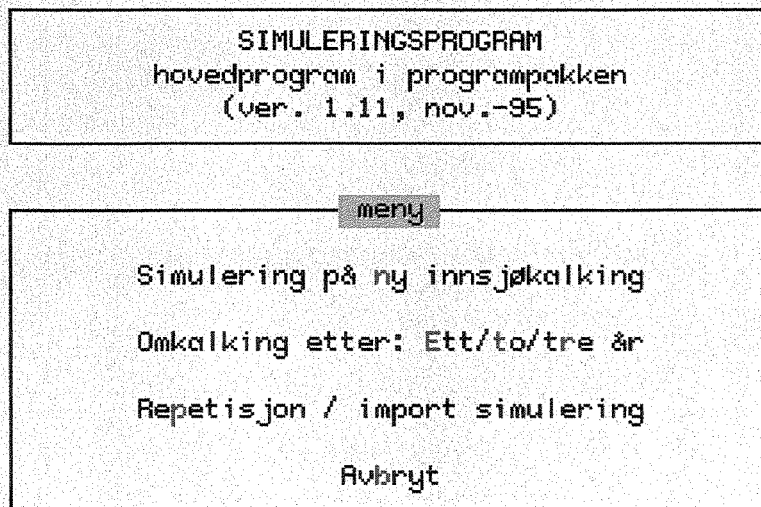
Repetisjon av siste simulering: Det er med dette valget mulig å gjøre endringer på siste simulering for så å beregne på nytt, f.eks når forskjellige kalkdoser utprøves.

Avbryt: Dette valget bringer brukeren tilbake til hovedmenyen.

C: Dette valget er ikke vist i menyen men henter frem kalibreringsdata for de forskjellige kalktypene. Leser filen "KALKDAT.INT" (tabell 1 på side 8). Returner til SIM_MENY ved å trykke på ESC, "End" eller "Home".



FIGUR 2 Dialogvindu til hovedmenyen SIM_MENY. Valg gjøres ved å skrive bokstaven i klammeparentes eller vha piltast (opp og ned) som avsluttes med retur når ønsket valg har blå farge. Vedlegg "Programmer som utgjør TPKALK 1.11" på side 29 viser hvilke programmer valgene i dialogvinduet kontrollerer.



FIGUR 3 GJENFORSURINGSANALYSE har en meny hvor det er mulig å velge mellom en ny innsjøkalking, omkalking eller en repetisjon av siste simulering. Sist hentet tilløp vil komme opp som tilløp og kan velges eller velges bort ved innlasting av data. Ved å trykke C vises kalibreringsdata for tilgjengelige kalktyper. Ved Avbryt returnerer programmet til hovedmenyen.

Simulering på ny innsjøkalking (trykk n)

Figur 4 viser vidu for å skrive inn følgende innparametere:

NEV-nummer/innsjønavn, UTM-koordinater, Kartblad, Transportavstand: Disse brukes ikke i beregningen, men er nyttige ved rapportgenerering.

Sprede måte: Valg 1 (båtkalking) tilsvarer våtkalking. Valg 2 (helikopterkalking) tilsvarer tørrkalking og gir en lavere momentanoppløsning og mere kalk til bunnoppløsning. Tørrspredning fra båt og "dugnadskalking" betraktes som helikopterkalking.

pH før første kalking: Denne pH verdien skal være pH i ukalket innsjø, dvs den pH som "naturlig" tilløp gir innsjøen. Verdien bør være middelerdi av en overvåkingsserie. Det er lagt inn en sperre på $pH_{maks} = 6.0$.

Ca før første kalking: Denne kalsium-konsentrasjonen skal være kalsium i ukalket innsjø, dvs den kalsium det "naturlige" tilløp gir innsjøen. Verdien bør være en middelerdi av en overvåkingsserie. Enhet er mg/l.

```

>>>  SIMULERINGSPROGRAM FOR INNSJØKALKING:  NY INNSJØ (IKKE KALKET FØR)  <<
-----
NEV-nummer / innsjønavn ..... > [REDACTED] >
UTM-koordinater ..... >
Kartblad (M711-serien) ..... >
Transportavstand ved evt. helikopterkalking (km) > 0.000
Sprede måte (1=båt, 2=helikopter) ..... > 0 [1-2]
pH fra FØR første kalking ..... > 0.000 [4.3-5.7]
Ca fra FØR første kalking (mg/l) ..... > 0.000 <0.0-10>
Kalkingsmåned (1=jun, 2=feb, 3=mars...) ..... > 0 [1-12]
Middel vannføring over året (m3/s) ..... > 0.000
Sikkerhetsfaktor for vannføring ..... > 1.000
Avrenning: 1=Fjell, 2/3=Innløst, 4=Kyst, 5="u.l.s." > 0 [1-5]
Innsjøareal (km2) ..... > 0.000
Middeldyp (m) ..... > 0.000
Kalktype nr. (se register eller KALKDAT.INT) ..... > 0 [1-7]
Kalkmengde (tonn) ..... > 0.000
pH0 (konstantledd i log-titreringskurve) ..... > 3.500 <1.0-6.0>
pH1 (stigningsledd i log-titreringskurve) ..... > 1.500 <0.0-3.0>
Kontinuerlig kalkdosering i tilløp (tonn/år) ..... > 0.000
Kalking av innsjøen i tilløp (1=jø, 0=nei) ..... > 0 [0-1]
Andelen av kalk på bunn som antas løst over tid > 0.400 [0.00-1.000]
-----
Fortsett: ESC  < NB: Ved ny kalking bryter programmet dersom data mangler!

```

FIGUR 4

Skjerm bilde ved innlasting av data til innsjøkalking av ny innsjø. Parameterne er beskrevet i teksten.

Kalkingsmåned: Kalkingsmåned oppgis som heltall. Kalkingen utføres i begynnelsen av måneden. Parameteren benyttes til å finne startpunkt på kurven for avrenningsmønster (figur 16 på side 21).

Middelvannføring: Gjennomsnittlig årlig vannføring med enhet m³/sekund basert på f.eks NVE sine avrenningskart.

Sikkerhetsfaktor for vannføring: Faktoren multipliseres med middelvannføringen slik at en faktor på 1.25 tilsvarer en vannføring på 25% over middelvannføringen¹. Det anbefales å starte med faktor 1.00, dvs at det ikke legges inn noen sikkerhetsfaktor.

Avrenningsmønster: Vannføringen i vassdragene følger regionale mønster som deles inn i følgende klimaområder (se også figur 16 på side 21): Fjell (valg 1) med lav vannføring vinter og høst mens vår og tildels sommer vil ha høy vannføring. Innland (valg 2 eller 3) med vannføringstopper på våren og høsten og relativt lav vannføring vinter og sommer, fordelingen er noe forskjellig (se figur 16). Kyststripen (valg 4) med tørr vår og sommer og våt høst og vinter. Når sjikting i vannmassene fører til at kaldt smeltevann renner raskt gjennom innsjøen uten betydelig påvirkning på gjenforsuringen, benyttes valg 5. Dette avrenningsmønsteret er modifisert fra "Fjell" (valg 1).

Innsjøareal: Innsjøens areal oppgitt i km².

Kalktype: Velg mellom syv forskjellige kalktyper i tabell 1. Tabellen viser standard kalktyper som er definert i filen "KALKDAT.INT", brukeren kan endre innholdet av denne filen vha en teksteditor.

TABELL 1

Filen "KALKDAT.INT". Filen inneholder informasjon som brukes av programmet ved beregning av kalkoppløsning. Syv forskjellige kalktyper er tilgjengelige fra programmet. pH=#.# er oppløsningsgrad ved forskjellig pH. # g/m3 er overdoseringsfaktor ved angitte kalkmengder i vannmassene. % er andel kalsiumkarbonat eller magnesiumkarbonat i kalken. T-faktor er en reduksjonsfaktor ved tørrspredning av kalken. JBR (jordbrukskalk) er ikke noen entydig betegnelse og det er følgelig usikkerheter forbundet med parameterene for denne. Nye kalktyper kan inkluderes ved å erstatte parametere til eksisterende kalktyper. NB! Ta kopi av originalfilen før endringer gjøres.

OPPLØSNINGSDATA FOR KALKTYPER (siste endring: EE 08.10.95)							
parameter	AF	MIC	SK2	FH2	NK	JBR	DOL
pH=4.0	100	65	66	50	60	33	55
pH=4.5	100	61	63	49	57	31	47
pH=5.0	99	58	60	46	53	28	39
pH=5.5	97	54	58	43	49	25	31
pH=6.0	95	52	56	40	47	23	25
0 g/m3	1	1	1	1	1	1	1
20 "	1	1	1	1	1	1.4	1
35 "	1	1.2	1.1	1.5	1.3	2.1	1.1
50 "	1	1.5	1.4	2.1	1.7	3	1.3
85 "	1.7	2.7	2.3	3.2	2.9	5	2.3
CaCO3 %	92	97	83	97	83	95	54
MgCO3 %	1	1	5	1	2	2	45
T-faktor	0.5	0.6	0.6	0.7	0.7	0.9	0.6
KALKTYPE	1	2	3	4	5	6	7

1. Målinger fra Sira og Sokna vassdragene viser at 1.2 * middelvannføringen overskrides i gjennomsnitt ett år i løpet av en 6-7 års periode, 1.3 * middelvannføring ett år i løpet av en 10 års periode og 1.5 * middelvannføring overskrides mindre enn ett år i løpet av en 50 års periode. Mindre vassdrag har større variasjon enn større vassdrag.

Kalkmengde: Estimering av kalkmengde kan gjøres med KALKOPTIMALISERING fra hovedmenyen, vha "Kalkingshåndboka" fra DN eller etter skjønn.

pH₀ og A_{pH}: Konstantledd i ligningen som beskriver sammenheng mellom pH og oppløst kalsiumkarbonat¹ (ligning 1). Oppløst kalsiumkarbonat har enhet $\mu\text{ekv/l}$ (Ca [mg/l]*50). Tabell 2 viser typiske verdier for pH₀ og A_{pH} basert på erfaringer fra Rogaland. (Se også "Målt sammenheng mellom pH og kalsium; pH₀ og A_{pH}" på side 22 og "Kalkingseksempel" på side 24.)

$$\text{pH} = \text{pH}_0 + A_{\text{pH}} * \log(\text{"oppløst CaCO}_3\text{"}) \quad \text{ligning 1}$$

TABELL 2

Konstantledd til ligning som beskriver sammenheng mellom pH og løst kalsium (ligning 1). Tabellen er basert på erfaringer fra Rogaland. TPKALK tillater at A_{pH} defineres fra 0-3 og pH₀ fra 1-6 (se også "Kalkingseksempel" på side 24). Når pH₀ ≥ 5.0 er det særlig innholdet av organisk materiale som vil føre til variasjoner, derfor brukes fargetall og pH som parametere for å klassifisere forskjellige vanttper.

pH før kalking	Fargetall (mgPt)	pH ₀	A _{pH}
5	≈ 0	3.5	1.8
5	< 5	3.9	1.2
< 5	< 20	3.5	1.5
5	>20	4.3	0.7

Kalkdoserer: Dosering av kalk i tilløp. Kalkmengde oppgis i tonn per år.

Kalking av innsjø(er) i tilløp: Alternativ 1 ("ja") velges dersom innsjø(er) i tilløpet kalkes. Den innsjø (eller de innsjøene dersom flere innsjøer er koblet i en .inn fil) som vises under "Status tilløp" under oppstarting av gjenforsuringsprogrammet leses inn som tilløp (vises 2 sekunder). Dersom denne er feil så avbryt og hent riktig sjø (datafil) i SIMULERUINGS - DATABASE i hovedmeny. Valg av alternativ 0 ("nei") fører til at ingen sjø innleses som tilløp, uansett hva som står under status tilløp ved oppstart av gjenforsuringsprogrammet.

Andelen av kalk på bunnen som løses: Erfaringstall for oppløsning av kalk på bunnen. Oppløsningen er en funksjon av vannsirkulasjon og deaktivering av kalken. Tabell 3 viser forslag til oppløsningsgrad basert på arbeid i Rogaland og i Sverige.

1. Sammenhengen mellom pH og løst kalsium er referert med anførselstegn omkring "titrerkurve" siden den ikke må forveksles med titreringsanalyse av vannprøve.

TABELL 3

Forslag til oppløsningsgrad av kalk på bunnen (gjelder alle kalktyper). Tallene er basert på erfaringer fra Rogaland og Sverige.

Innsjøtype/område	Fargetall (mgPt)	Andel oppløst
Klarvannsjøer. Indre Agder, Vestlandet og fjellstrøk på Østlandet	<20	ca 0.4
Humøse innsjøer i lavereliggende strøk	20-50	0.2 - 0.4
Sterkt humøse innsjøer	>50	< 0.25

Omkalking etter: Ett/to/tre år

Omkalkingsalternativet fra simuleringsprogrammet (figur 3 på side 6) bygger videre på tidligere kalkinger. Programmet legger da resultater fra forrige simulering inn som startdata for omkalkingen.

Eksempel: Hva skjer når jeg trykker t som gir omkalking etter to år? Modellen bruker da resultater fra siste kalking til å si hva pH blir i innsjøen etter to år. Dette blir nå start-pH for neste kalking. På skjermen ser du et bilde tilsvarende figur 4 på side 7, men nå med inndata fra forrige kalking. Du kan nå endre på inndata som f.eks kalkdosering. Trykk ESC og programmet omkalker innsjøen. Du kan nå vha grafikken (valg D i hovedmeny) se pH som funksjon av tid fra omkalkingstidspunktet.

Repetisjon av siste simulering

Kalkingen eller omkalkingen kan med dette valget repeteres. Valget viser inndata fra forrige simulering på skjermen slik at endringer kan gjøres.

Avslutt

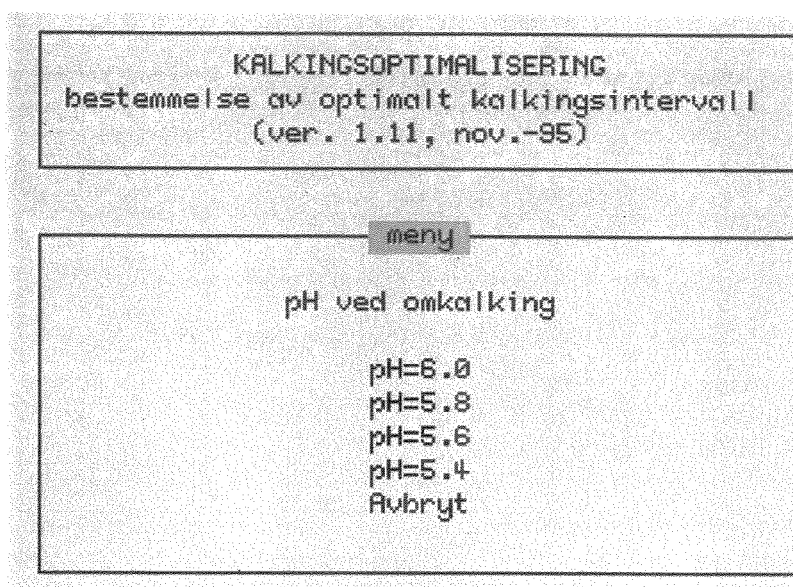
Avslutter simuleringsprogrammet og bringer brukeren tilbake til hovedmenyen (figur 2 på side 6). Videre arbeid med innlest innsjø kan nå enten være kalkoptimalisering eller å se på data grafisk eller i tabellform.

2.4 KALKOPTIMALISERING (velg E fra hovedmeny)

Innsjøen som benyttes er allerede innlest vha SIMULERINGS - DATABASE (figur 2 på side 3). Hvis innsjøen som blir vist ved oppstart av kalkoptimaliseringsprogrammet er feil må programmet avbrytes og rett innsjø hentes vha SIMULERINGS - DATABASE. Kalkoptimalisering startes ved å velge E fra hovedmenyen.

Ved oppstart av programmet kommer det frem en meny hvor pH ved omkalking velges (figur 5). Omkalkings-pH er laveste tillatte pH i sjøen. Programmet regner fra denne pH ut hvor lang tid i år f.eks 50 tonn kalk "varer" og hva dette tilsvarer i tonn per år. Figur 6 viser eksempler på hvor lenge forskjellige kalkmengder kan holde pH over omkalkings

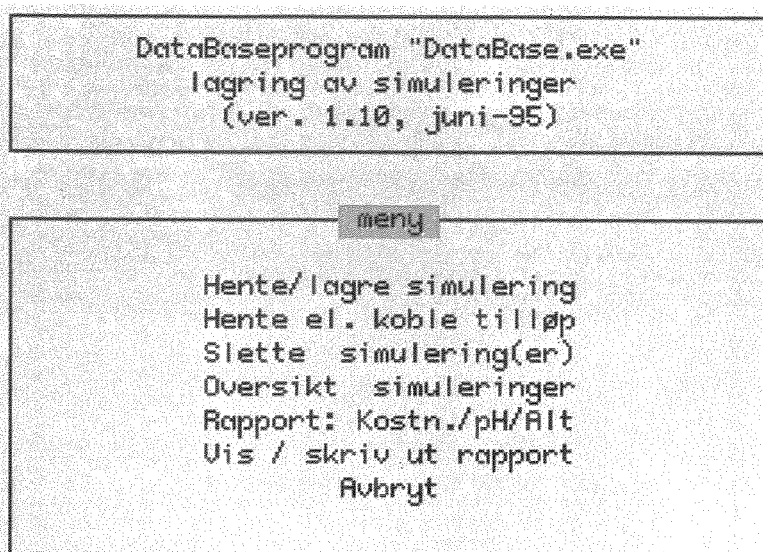
pH og hvor mye kalk et slikt kalkingsintervall vil tilsvare i tonn per år. NB!
Vannføringens betydning for kalkbehovet i innsjøen gjør at kun kalkmengder fra tilnærmet hele år kan benyttes (se figur 6).



FIGUR 5 Kalkoptimaliseringsprogram for å beregne varigheten av forskjellige kalkmengder i innsjøen. Ved oppstart av kalkoptimaliseringsprogrammet må brukeren velge pH for omkalkingen.

***** RESULTATER *****		
KALKMENGDE (TONN)	VARIGHET AV KALKING (ÅR)	AARLIG MENGDE (TONN/ÅR)
4.0	0.00	0.0
8.0	0.00	0.0
12.0	0.01	1095.0
16.0	0.10	157.8
20.0	0.14	146.0
24.0	0.17	141.3
28.0	0.19	143.9
32.0	0.22	146.0
36.0	0.24	151.0
40.0	0.26	155.3
50.0	0.29	173.8
60.0	0.32	190.4
70.0	0.35	199.6
80.0	0.41	193.4
100.0	0.75	134.2
120.0	1.07	111.7
160.0	1.15	138.7
200.0	1.20	166.3

FIGUR 6 Eksempel på utdrag av resultatene fra kalkoptimaliseringsprogrammet. Når pH for omkalking er valgt beregner programmet hvor lenge forskjellige kalkmengder klarer å holde en pH over denne. Vannføringens påvirkning på kalkbehovet gjør at det kun er kalkmengde for tilnærmet hele år som kan benyttes til kalkoptimalisering. "Varighet av kalking" tilsvarer kalkingsintervall og "Årlig mengde" det totale forbruket av kalk i tonn per år med beregnet kalkingsintervall. I dette eksempelet gir kalkingsintervall 1.07 år lavest årlige forbruk av kalk (dvs 111 tonn/år). Svingningene i "AARLIG MENGDE" skyldes variasjoner i tilførselen til innsjøen. BRUK PILTAST OPP OG NED FOR Å RULLE GJENNOM TABELLEN. Hvis oppholdstiden i en innsjø er stor kan det være aktuelt å omkalke etter to eller tre år.



FIGUR 7 Menyoversikt til SIMULERINGS - DATABASE som aktiveres ved valg H i hovedmenyen. Fra denne menyen lagres og kobles datafiler. Det er inkludert hjelperutiner til å finne filer, og nyttige rapporter kan genereres.

2.5 SIMULERINGS - DATABASE (velg H i hovedmeny)

I dette programmet lagres innleste data og resultater slik at de senere kan hentes frem til nye simuleringer og kobling av innsjøer. Håndteringen av koblede filer og simuleringfiler er tilrettelagt for brukeren ved å inkludere søkerutiner. Figur 7 viser tilgjengelige menyvalg fra SIMULERINGS - DATABASE.

Hente/lagre simuleringer

Når et nytt datasett til en innsjø er simulert, lagres dette med valg L i menyen. Brukeren må da skrive inne et karakteristisk filnavn på maksimum åtte tegn slik som eksemplet viser her; Lagre simulering (navn, max. 8 tegn): ÅR_INNSJ. Det er lagt inn angremulighet dersom brukeren prøver å overskrive en tidligere simulering.

Ved henting av tidligere simulering brukes valg H. Brukeren blir da spurt om å legge inn filnavn til ønsket simulering slik som vist her; Navn til fil som skal hentes. Filnavnet som nå legges inn trenger ikke være fullstendig. Programmet vil søke etter navn avhengig av hvor mye informasjon brukeren legger inn.

Hentet simulering forblir innlest, med de endringer som gjøres underveis, selv om programmet avsluttes. Husk å lagre endringer før ny simulering hentes inn.

Eksempel: Simuleringsfilen for Einarsjø skal hentes for videre bearbeiding eller omkalking. Brukeren er derimot noe usikker på hva filen heter. Ved å skrive "94_E" vil programmet vise en liste med alle filer som begynner med "94_E". Brukeren kan så velge filnummer 4 som tilsvarer 94_EINAR.SIM, slik som vist i figur 8.

```

                Totalt 4 filer er funnet !!

1             94_EIARVN.SIM
2             94_EIDSU.SIM
3             94_EIKES.SIM
4             94_EINAR.SIM

-----
                Hvilken simulering skal hentes? Fil nr:

```

FIGUR 8 Filsøk som "henter" fil til bearbeiding med gjenforsuringsanalyse og kalkoptimalisering. Søket var på "94_E" og programmet fant fire filer som begynte med disse fire tegnene. Brukeren kan så velge ett nummer for ønsket fil.

Det sier seg selv at et stort antall innsjøer og simuleringer vil gjøre det vanskelig å holde orden hvis ikke brukeren er systematisk ved valg av filnavn. Det er anbefalt å bruke årstall, deretter en kode og til slutt forkortet innsjønavn. Koden kan f.eks være for å skille maskinell kalking fra dugnadskalking. Det kan se slik ut for dugnadskalket Lilletjern og maskinelt kalket Storesjøen; 95#LILTJ og 95_STORE. Programmet legger selv til endelsen.SIM.

Hente el. koble tilløp

Med tilløp menes en eller flere elver/bekker fra en allerede simulert innsjø som renner til den innsjøen som nå behandles. I simuleringene er det representert med en resultatfil fra tidligere simuleringer når det er en innsjø (ÅR_INNSJ.SIM) og en .INN fil når det er flere simuleringer som er koblet til et tilløp (dvs en forgrening av innsjøer, ÅR_KOBLE.INN).

Under er det vist to valg K eller H, mens ESC tasten avbryter. Valg H er tilstrekkelig for innsjøer i serie (dvs et tilløp) mens valg K må benyttes når forgrening av innsjøer definerer tilløpet til innsjøen.

```

Dette programmet kobler og henter filer !?

```

```

(K)oble eller (H)ente ?

```

```

Esc for å avbryte.

```

Valg H henter en fil til bruk som tilløp ved KALKOPTIMALISERING og GJENFORSURINGSANALYSE. Denne filen er hentet inn som tilløp helt til et nytt tilløp hentes¹. Ved oppstart av KALKOPTIMALISERING og GJENFORSURINGSANALYSE vises hvilke innsjø(er) som er tilløp.

Valg K gjør det mulig å knytte sammen flere av innsjøer til ett tilløp. Programmet kobler forgreningen av tilløp ved å veie bidraget fra hver innsjø, og inkludere det i en ny fil som programmet gir endelsen .INN. Denne filen kan nå hentes inn med valg H og fungere som ett tilløp (figur 10). Ved kobling av tilløp får brukeren først spørsmål om antall innsjøer (.SIM filer) som skal kobles; **Antall simuleringer som skal kobles:**. Ved å skrive f.eks "4" kommer spørsmål om navn på simulering 1 til og med 4. Filnavnene har samme søkerutine som beskrevet under "Hente/lagre simuleringer" på side 12. Når dette er gjort vises alle simuleringsfilene som skal brukes til å generere en ny koblet fil (figur 9). Den totale vannføring for den "nye" innsjøen vises sammen med en beskjed om hvilke filnavn det nye tilløpet har fått, slik som vist her;

Rapport skrevet til 94_eikob.inn Torsdag 27-07-1995 .

Figur 10 viser et eksempel på oppbygning av simuleringer for et vassdrag. Ved å gjøre gjenforsuringsanalyser for de øverste innsjøene genereres simuleringsfiler (.SIM) som videre hentes nedstrøms som tilløp til nye gjenforsuringsanalyser. Når tilløpene blir til en forgrening kobles .SIM filene til en .INN fil som videre hentes som tilløp til gjenforsuringsanalyse av "Innsjø 4-1".

```

SIMULERINGER SOM SKAL KOBLES

1      94_EIAUN.SIM
2      94_EIDSU.SIM
3      94_EIKES.SIM
4      94_EINAR.SIM

Er dette OK !!

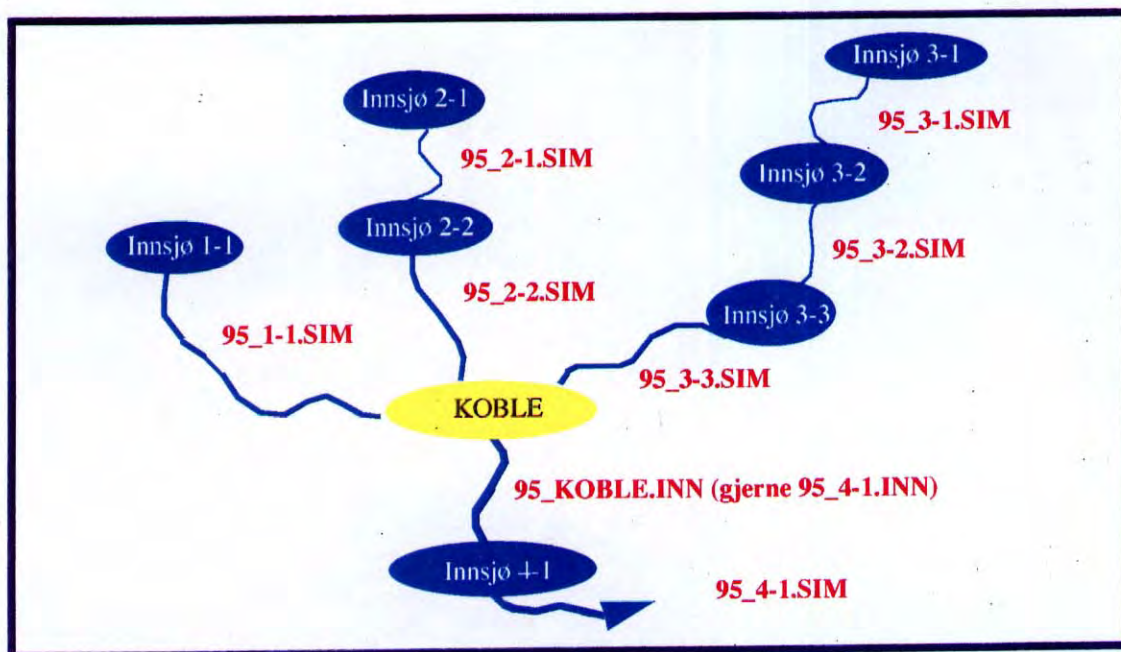
Tast N for å avbryte
E for en gang til
Enter for å fortsette !

```

FIGUR 9

Det ble valgt fire simuleringer som skulle kobles. Disse fire gjenforsuringsanalysene hentes frem en etter en og det spørres så om godkjenning fra brukeren. Ved å trykke "Enter" genereres en ny .INN fil som brukeren gir et navn.

1. Et hentet tilløp kan velges bort ved å skrive "0" som innparameter for "Kalking av innsjøer i serie....." i figur 4 på side 7, og inkluderes ved å skrive "1".



FIGUR 10

Skjematisk fremstilling av hvordan lagrede filer benyttes som tilløp i kalkoptimaliserings- og gjenforsøringsanalyse (dette er ikke et skjermbilde). Tilløp av innsjøer i serie gjøres ved å hente inn simulering fra nærmeste oppstrøms innsjø. Flere tilløp til en sjø må først kobles til en "sjø" som representerer alle tilløpene, dvs. at .SIM filene for innsjøene 1-1, 2-2 og 3-3 kobles til en .INN fil (95_KOBLE.INN). Det er anbefalt å gi koblet innsjø samme navn som den innsjø den er "tilløp" til, altså i dette tilfellet filnavn "95_4-1.INN".

Feilmeldinger:

- Når innsjøer kobles er det viktig at avrenningsmønster og kalkingsmåned er den samme for alle innsjøene. Hvis kalkingsmåned ikke stemmer overens, innenfor ± 1 måned, får brukeren en feilmelding som påpeker dette, men programmet tillater simuleringen å fortsette.
- Hvis avrenningsmønster (klimasone) ikke stemmer overens ved kobling av tilløp får brukeren en feilmelding, men programmet tillater simuleringen å fortsette.

Sletting av filer

Under simuleringsarbeidet kan det bli generert filer som ikke har noen videre nytteverdi. Disse reduserer oversikten på viktige og riktige simuleringer. Databaseprogrammet inneholder derfor en sletterutine som bør benyttes til jevnlig opprydding i unødvendige filer. Rutinen inneholder sikkerhetsrutiner som gjør at alle filer ikke kan slettes med ett tastetrykk. Figur 11 viser hvordan brukeren kan velge mellom å slette .SIM eller .INN filer og videre om det er en eller alle filer som skal slettes. Dette kan også gjøres fra DOS

eller med "Filemanager" i Windows. I eksempelet på figur 10 bør f.eks alle filene arkiveres til senere omkalking, andre filer fra samme vassdrag bør slettes eller arkiveres i en egen katalog for mulig gjenbruk.

- ```
1) Sletting av *.S)im filer ?
2) Sletting av *.I)nn filer ?
```

Skriv enten bokstav eller tall !

- ```
1) Sletting av (E)n simulering ?
2) Sletting (A)lle (*.inn) simuleringer
```

FIGUR 11 Valg ved sletting av filer. Det er mulig å velge mellom å slette .SIM eller .INN filer og deretter en eller alle simuleringer.

Oversikt over simuleringer

Når brukeren har valgt en systematisk navngivning på simuleringene kan søkerutinen effektivt gi oversikt over filer. Skriv inn forstavelsen når følgende linje vises på skjermen
Skriv inn de første bokstavene i filnavnet . Programmet søker så og kommer opp med .SIM og .INN filnavn som passer. Figur 12 viser fem filer som passet med søket "94_E".

```
SIMULERING NR 1: 94_EIAVN.SIM
SIMULERING NR 2: 94_EIDSV.SIM
SIMULERING NR 3: 94_EIKES.SIM
SIMULERING NR 4: 94_EINAR.SIM

KOBLEFIL NR 1: 94_ETEST.INN
```

Totalt 4 *.sim fil(er) og 1 *.inn fil(er) er funnet med SØKENAVN 94_e*.sim/.

FIGUR 12 Søk med "94_T" finner fem filer med denne forstavelsen. Søkerutinen er ment som en hjelp til brukeren for å holde oversikt over simulerte og koblede filer.

Rapport: Kostn./pH/alt

Simulering av gjenforsuring og kalkmengder avsluttes med å rapportere viktig informasjon om mengder og utvikling av vannkvalitet. Denne delen av arbeidet er forenklet med rapportgeneratoren. Ved å velge P, K eller A genereres rapporter for henholdsvis kostnad, pH og informasjon til bruk i databaser (Alt). Også her er det viktig å

ha vært systematisk med valg av navn. Rapportgeneratoren har en søkerutine som gjør at alle filer som begynner med f.eks "94_E" skrives til filen SUM.DAT, slik som vist her; Rapport skrevet til SUM.DAT Torsdag 27-07-1995 . For hver rapport som skal vises (se neste avsnitt) må SUM.DAT filen oppdateres.

Vis/skriv ut rapport

Rapporten som genereres i SUM.DAT filen, slik som beskrevet i avsnittet "Rapport: pH/kalk/alt", vises eller skrives ut med henholdsvis valg I eller R. Figur 13, figur 14 og figur 15 viser hvordan kalkingskostnader, pH og database (Alt) rapportene ser ut. Rapportene¹ skal brukes til beregning av kostnader og generering av databaser.

Figur 13 viser valg og resultater ved generering av rapport for kalkingskostnader. Valg til beregning av faste kostnader (kalk og spredning) og transportkostnader (avst.kostn.) er vist som a). Rapporten under (b) viser lokalitet, spredningsmåte (Båt/Helikopter), tonn kalk i innsjø, tonn kalk i tilløp, pris per tonn kalk og totale kostnader (pris per tonn * antall tonn).

pH-rapport er vist i figur 14. Rapporten viser endringer i pH under gjenforsuringen. Denne informasjonen er også tilgjengelig fra neste rapport.

Den tredje rapportgeneratoren som skriver til filen "SUM.DAT" har betegnelsen Alt. Rapporten skal brukes ved generering av databaser. Informasjon fra hver simulering blir skrevet til en linje som kan leses fra en teksteditor, et regneark eller et databaseprogram.

1. Rapportene kan hentes inn i Word, det anbefales da å bruke fonten Courier.

a) **--- TOTALE KALKINGSKOSTNADER ---**

HEL. (fast kostn. kr.) 1250.00 BÅT (fast kostn. kr.) 8000.00
 HEL. (konst. kostn. kr.) 100.00 BÅT (konst. kostn. kr.) 650.00

"DEFAULT"-VERDIER: TYFISKE VERDIER FOR ROTALAND 1992-94

b) **RAPPORTGENERATOR FOR BEREGNING AV TOTALE KOSTNADER AV KALKING**

LOKALITET	SPRDN B/H	INNSJØ t FH2	TILLØP t FH2	PRIS kr/t	TOT.KOST. mill. kr
EIAVANN	B	212.2	0.0	688	0.146
EIDSVANN	B	139.7	0.0	707	0.099
EIKESTEMMEN	H	3.0	0.0	1250	0.004
EINARVANN	H	23.6	0.0	1250	0.030
SUM/MIDDEL:		378.5	0.0	734	0.278

Helikopter (konst./AUSTAND.): 1250.00 / 100.00 kr.
 Båt (konst./AUSTAND.): 8000.00 / 650.00 kr.

FIGUR 13 Kalk-rapport. Det øverste skjermbildet (a) gir mulighet til å legge inn priser på kalk og kostnader forbundet med spredning av kalken. Disse prisene brukes til å beregne kalkingskostnader til utvalgte innsjøer (b). Faste kostnadene er angitt per tonn kalk.

FILNAVN (*sim)	INNSJØ	Vannføring (m ³ /s)	pH-verdier etter (TID, ÅR)					
			0	0.25	0.50	0.75	1.0	2.0
94_EIAVN.SIM	EIAVANN	4.895	6.43	6.08	5.70	5.57	5.52	5.33
94_EIDSV.SIM	EIDSVANN	1.296	6.48	6.48	6.26	5.99	5.87	5.30
94_EIKES.SIM	EIKESTEMMEN	0.027	7.06	6.10	6.07	5.66	5.57	4.91
94_EINAR.SIM	EINARVANN	0.250	7.15	6.28	5.78	5.54	5.48	5.07
SUM / MIDDELVERDIER		6.468	6.78	6.24	5.95	5.69	5.61	5.15

FIGUR 14 pH-rapport. Rapporten viser bidrag til total vannføring fra hver innsjø og simulert utvikling i pH. Når innsjøer skal kobles må kalkingsmåned i innsjøene være den samme. Modellen gir feilmelding hvis variasjonen er mere enn ± 1 måned og hvis avrenningsmønster (klimasone) er forskjellig.

UTM	SPR	KALK	AR	DYP	NORM	pH	TY
	ED	ELU			AVR	før	ved PE
	1	0.0	4.5	16.2	5.500	5.10	5.51 1
	1	0.0	1.8	29.3	3.540	5.12	5.86 1
	2	0.0	0.0	4.0	0.027	4.80	6.38 1
	2	0.0	0.3	8.6	0.300	4.80	5.42 1

FIGUR 15 Utdrag av Alt-rapport. Denne rapporten inneholder samlet informasjonen om spredemåte, kalking av elv (tonn/år), oppholdstid i innsjøen, middeldyp, normal avrenning, pH før og ved kalking samt type kalk (klasse). For mere informasjon, les filen "SUM_DAT" vha f.eks editoren "EDIT", et regneark eller et databaseprogram. I denne rapporten er hver simulering skrevet til en linje, et format som er egnet til generering av databaser.

3. Vedlegg

Vedleggene inneholder informasjon om opplysninger som kreves for å bruke TPKALK, kalkingsstrategi, et grundig eksempel på bruk av modellen, nyttige taster ved bruk av programmet, beskrivelse av programmer som utgjør TPKALK og modellens beregning av kalkoppløsning.

3.1 Avrenning

Avrenning fra et nedslagsfelt beregnes fra NVE-avrenningskart (eller måles fra et måleprofil eller en fortynningsmetode i elven). Avrenningsmønsteret varieres i modellen etter innsjøens beliggenhet (fjell-innland-kyst).

Avløpsfordeling i TPKALK

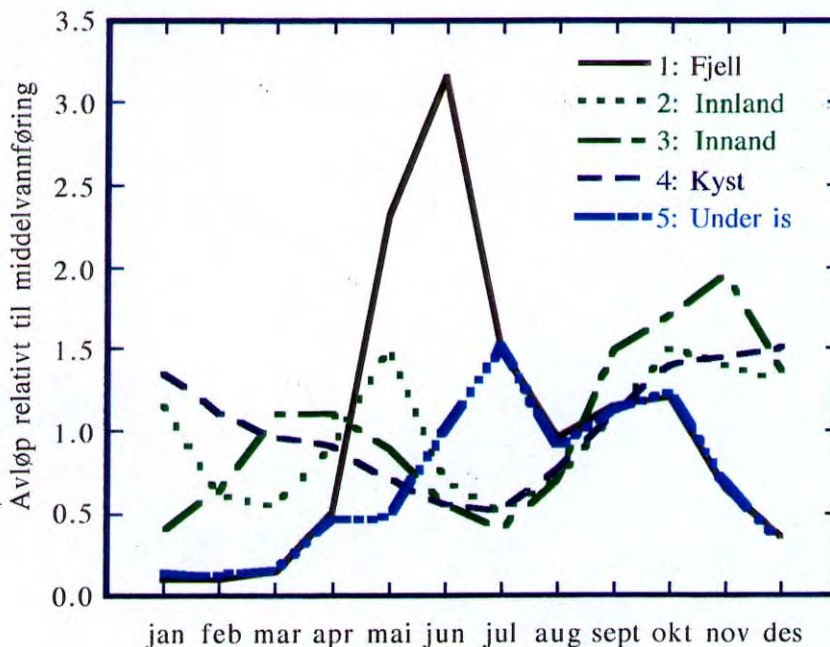
Fordeling av avrenning fra en kalket innsjø velges etter klimasonene fjell, innland (to stk) og kyst. Figur 16 viser fordelingen til avrenningen i de forskjellige sonene. Riktig valg av avrenningsmønster gjøres ved å finne det avrenningsmønster som passer best med vassdraget som skal simuleres. "Under is" er et konstruert avrenningsmønster for avrenning i snøsmeltingsperioden hvor kaldt overflatevann renner som et toppsjikt i innsjøen uten å påvirke oppløsningen av kalk i nevneverdig grad. Avrenningsmønsteret "Under is" er konstruert ved å redusere flomtappen til avrenningsmønster "Fjell".

Kurvene for avrenningsmønster er hentet fra følgende vassdrag:

1. Fjell: Vanmerke 1272 Svartevann. Sira vassdraget.
2. Innland: Vanmerke 2295 Austrumdal. Bjerkreim.
3. Innland: Vanmerke 2219 Refsvann. Sokndals vassdraget
4. Kyst: Vanmerke 937 Litle Rosseland. Sokndals vassdraget

5. Under is: Vannmerke 1272 Svartevann ("Fjell") med redusert vårflom. Reduserer årsavløpet med ca 1/3.

Brukeren må velge den sone som passer best til innsjøene som skal kalkes. Både avrenningsmønster og vannføring vil variere fra år til år. Dermed kan ikke kurven som velges fra modellen "treffe" nøyaktig. Middelvannføringen jevner ut denne effekten over året. Ved sammenligning mellom simulert og målt pH og kalsium i innsjøen kan uoverensstemmelser fra måned til måned skyldes forskjeller mellom reell vannføring og den vannføring modellen benytter. pH og kalsiumkonsentrasjonene ved utgangen av året skal derimot stemme overens hvis det ikke er andre feil i inndataene.



FIGUR 16

TPKALK har fem valgmuligheter på fordeling av avrenning tilsvarende fire klimasoner og en med sjiktning av vannmasser i fjellstrøk. Fordelingen av avrenningen er vist fra måned til måned relativt til middelvannføringen (se figur 4 på side 7). Fire klimasoner med karakteristisk avrenningsmønster er benyttet. "5: Under is" tilsvarer klimasone "1: Fjell" men med redusert vårflom. Dette simulerer sjiktning av vannmassene under snøsmelting hvor kaldt overflatevann i liten grad blandes med andre vannmasser i innsjøen.

3.2 Innsjøvolum

Det er viktig å ha riktig innsjøvolum siden dette har direkte effekt på kalkforbruket (gjenforsuringen).

3.3 pH-kalsium

Surhetsgraden (pH) og kalsiumkonsentrasjonen er viktige parametre for oppfølging av utviklingen etter kalking. Likevekter med aluminiumforbindelser, organiske syrer og karbondioksid påvirker pH. Modellen tar delvis hensyn til disse likevektene ved å benytte en karakteristisk målt sammenheng mellom pH og kalsiumkonsentrasjonen ("titrerkurve").

Når pH og kalsium skal representere vannkjemien i innsjøen er det viktig at det foreligger gode målinger på disse parameterene. Måleseriene bør følges opp også etter første gangs kalking for om mulig å forbedre pH_0 og A_{pH} .

Målt sammenheng mellom pH og kalsium; pH_0 og A_{pH}

TPKALK benytter en målt (empirisk) sammenheng mellom kalsiumkonsentrasjon og pH (ligning 1 på side 9¹) med konstantledd pH_0 og A_{pH} . Denne empiriske sammenhengen er ikke det samme som en "titrerkurve".

Konstantleddene avhenger av vannkvaliteten før kalking. Erfaring tilsier at skjæringspunktet med pH-aksen, pH_0 , er størst for moderat sure innsjøer, mens stigningstallet, A_{pH} , er lavest for sure humøse innsjøer. Begge konstantene synes å bli redusert med økende fargetall. Tabell 2 på side 9 viser noen typiske konstanter basert på erfaringer fra Rogaland. Det henvises også til intervallene som er tillatt i TPKALK som henholdsvis er 0-3 for A_{pH} og 1-6 for pH_0 .

Dersom det foreligger gode analyser av vannkvalitet både før og etter kalking kan disse benyttes til å lage en pH-kalsium kurve for innsjøen (se ligning 1 på side 9). Denne kurven er en empirisk sammenheng mellom pH og kalsiumkonsentrasjonen i innsjøen. Dette forutsetter gode data for bakgrunnskonsentrasjonen. Benytt følgende prosedyre (se også eksempel tabell 6 på side 25):

1. Beregn gjennomsnittlig kalsiumkonsentrasjon for tiden før kalking ($Ca_{før}$).
2. Legg pH og kalsiumkonsentrasjoner fra perioden etter kalking(ene) inn i to kolonner i et regneark. Gjør følgende beregning i en ny kolonne:

$$Ca_{etter} - Ca_{før} = \Delta Ca$$
 Regn konsentrasjonen om fra enhet mg kalsium per liter til tilsvarende ekvivalenter oppløst kalsiumkarbonat (\log "CaCO₃" μ ekv/l). Utfør følgende beregning i en ny kolonne:

$$\log(50 * \Delta Ca) = \text{"CaCO}_3\text{" regresjon}$$
3. Gjør lineær regresjon med pH og "CaCO₃" regresjon.
4. Konstantleddet i regresjonen er da pH_0 , mens stigningstallet er A_{pH} .

$$1. \text{ pH} = \text{pH}_0 + A_{pH} * \log(\text{"oppløst CaCO}_3\text{"})$$

3.4 Kalkingsstrategi

Erfaringer fra Rogaland tilsier at en viss overkalking ofte er å anbefale i de øverste innsjøene i et vassdrag. Overkalkingen avsyrer tilrenning som ellers hadde ført til en uønsket lav pH før neste kalkede innsjø.

En slik strategi kan gi betydelig innsparing i innsjøene nedstrøms, men doseringen bør ikke overskride maksimale anbefalte kalkdoser ved spredning (se "Effekter av for høy dosering" på side 23).

Effekter av for høy dosering

Oppløsning av kalkstein er en funksjon av bl.a pH, kalsiumkonsentrasjon og malingsgrad. Lav pH, lav kalsiumkonsentrasjon og stor reaktiv overflate øker oppløsningen av en gitt mengde kalkstein. Ved høy dosering av kalkstein skjer følgende tre effekter som alle reduserer momentanoppløsningen:

1. pH og kalsiumkonsentrasjonen rundt kalksteinskornene øker mens de synker mot bunnen.
2. Dårlig spredning av kornene gjør at den effektive overflaten blir mindre.
3. Betydelig øket tetthet og sammenklumping av kalken i vannmassene fører til raskere sedimentasjon, og dermed redusert kontakttid med vannmassene.

TABELL 4

Overdoseringsfaktor for kalktyper som er tilgjengelige fra filen "KALKDAT.INT". Ved dosering med angitte mengder vil momentanoppløsningen bli redusert.

parameter	AF	MIC	SK2	FH2	NK	JBR	DOL
0 g/m ³	1	1	1	1	1	1	1
20 "	1	1	1	1	1	1.4	1
35 "	1	1.2	1.1	1.5	1.3	2.1	1.1
50 "	1	1.5	1.4	2.1	1.7	3	1.3
85 "	1.7	2.7	2.3	3.2	2.9	5	2.3
KALKTYPE	1	2	3	4	5	6	7

Tabell 4 viser overdoseringsfaktoren som kalkdosering¹ reduseres med. Med unntak av jordbrukskalk (JBR) er det først ved doseringer mellom 20 og 35 g/m³ som

1. Et innsjøvolum på 1000 000 m³ som kalkes med 50 tonn tilsvarer dette 50g/m³ (50 mg/l). Effekten av dette vil ikke tilsvare den pH økning 50 mg oppløst kalsiumkarbonat kan gi. Effektiv oppløsning for en SK2 kalk blir med korreksjon: 50/1.4 mg/l=35.7 mg/l. Forventet pH i innsjøen kan leses fra "titrerkurven" med løst kalsiumkarbonat lik log (50*35.7)=3.25.

oppløsningseffekten blir redusert. Programmet inneholder i tillegg advarsel når 50 g/m^3 overskrides og sperre ved dosering over 100 g/m^3 . Doser i denne størrelsesorden er lite egnet til innsjøkalking. Da bør heller kalkingsfrekvens eller kalking av tilgrensende områder med utstrømming av grunnvann vurderes.

Oppfølging av simuleringene

Den empiriske sammenhengen som er funnet mellom kalsiumkonsentrasjon og pH må følges opp også etter kalking. Minst to ganger i året bør det tas prøver av innsjøene. Grundig oppfølging gjør det mulig å følge gjenforsuringen og kontrollere utførte simuleringer.

Mangel på korrelasjon mellom simulert og målt pH samt simulert og målt kalsium kan enten skyldes feil i konstantleddene for empirisk kalsium-pH ligning eller uoverensstemmelse med virkelig vannføring og/eller innsjøvolum:

- Feil konstantledd i "titrerkurve": Aluminium- og organiskekomplekser i vannet innstiller likevekter som fører til avvik i log-lineær sammenheng mellom pH og løst kalsium. A_{pH} vil være størst i klarvannsjøer (ca 3.5). Når det benyttes kalk med betydelig innhold av magnesiuminnhold (f.eks dolomitt) vil A_{pH} bli mindre i forhold til når vanlig kalk benyttes.
- Beregnet vannføring kan også inneholde feil som fører til at simulert pH skiller seg fra målt pH, men kalsium-pH forholdet vil følge "titrerkurven" hvis konstantleddene i denne er riktige.

Det er anbefalt å utføre omkalkings simulering hvert år selv om det ikke kalkes. Simuleringen gjøres da med null kalk. Fordelene med en årlig oppfølging er at simulert og målt pH og kalsium konsentrasjon kan sammenlignes. I tillegg er det mere ryddig når alle innsjøer som er med i kalkingsprosjektet har samme tid i simuleringsdatabasen.

3.5 Kalkingseksempel

Store Hovvatn ved Evje, Aust-Agder, har blitt kalket siden 1981. Forskjellige kalkingsmetoder har blitt benyttet, men dette eksempelet bruker helikopterkalking. Innsjøen er grunn (middeldyp 5.6 meter) og vannet har en teoretisk oppholdstid på 0.9 år. Pollen drenerer til Store Hovvatn og har en oppholdstid på 0.5 år. Tabell 5 viser de nødvendige parameterene til TPKALK.

TABELL 5

Nødvendige parametere for å utføre kalkoptimalisering med TPKALK. Modellen bruker kun en desimal.

	<i>St Hovvann</i>	<i>Pollen</i>	
Innsjøareal	1.14	0.046	km ²
Nedbørfelt	6.96	0.3	km ²
Middeldyp	5.6	3.3	m ²
Avrenning	0.2	0.002	m ³ /s
Høyde over havet	494	494	m
pH før første kalk	4.5	4.5	
Ca før første kalk	1	0.5	mg/l
Kalkingsmnd	7	7	
Kalktype	SK2	SK2	
Kalkmengde			
pH ₀	3.3	3.1	
ApH	1.7	1.6	
Kalkdosering (tilløp)			tonn
Kalket tilløp	Pollen		
Andel på bunn (løst)	0.4	0.4	

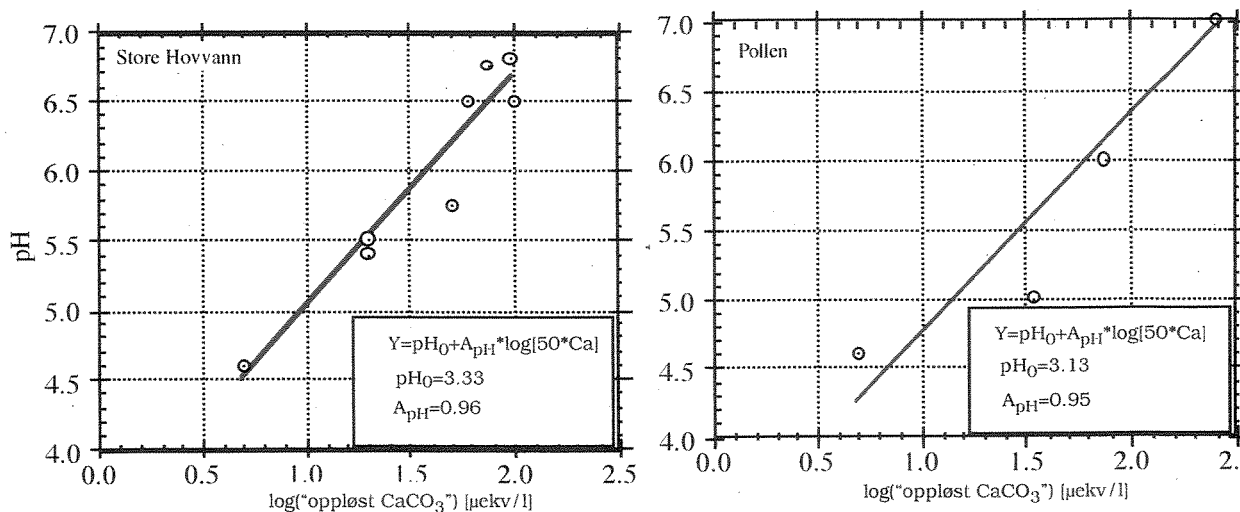
Tabell 6 viser utklipp av et regneark som beregner A_{pH} og pH_0 konstantene til den empiriske sammenhengen mellom pH og kalsium (ligning 1 på side 9 og "Målt sammenheng mellom pH og kalsium; pH_0 og A_{pH} " på side 22). Det er særlig viktig å huske to ting når pH og kalsium konsentrasjoner sammenstilles for å bestemme en regresjonslinje.

1. Bakgrunnskonsentrasjonen av kalsium vil ha stor betydning for regresjonslinjen.
2. Like etter kalking kan pH og kalsium konsentrasjonen vise et anormalt forløp. Hvis dette skjer kan det skyldes at kalsiumkarbonatopløsningen forbruker karbondioksid og følgelig gir en for høy pH i forhold til innsjøvann med normalt deltrykk for karbondioksid, disse verdiene bør da utelates fra regresjonen.

TABELL 6

Eksempel på regneark som beregner $\log(\text{"opløst CaCO}_3\text{"})$ og pH_{etter} til en lineær regresjon. Utfør lineær regresjon på kolonnene $\log(50 \cdot \text{Ca})$ (X-akse) og pH_{etter} (Y-akse) slik som vist i figur 17. $50 \cdot \text{Ca}$ [mg/l] tilsvarer "opløst CaCO_3 " [$\mu\text{ekv/l}$].

Store Høvvann				Pollen			
Ca etter	ΔCa	$\log(50 \cdot \text{Ca})$	pH etter	Ca etter	ΔCa	$\log(50 \cdot \text{Ca})$	pH etter
2.9	1.9	1.98	6.8	8	7.5	2.57	7.5
2.5	1.5	1.88	6.75	5.5	5	2.40	7
2.2	1.2	1.78	6.5	2	1.5	1.88	6
2	1	1.70	5.75	1.2	0.7	1.54	5
1.4	0.4	1.30	5.5	0.6	0.1	0.70	4.6
1.4	0.4	1.30	5.4				
3	2	2.00	6.5				
1.1	0.1	0.70	4.6				
Lineær regresjon:				Lineær regresjon:			
$Y = \text{pH}_0 + \text{ApH} \cdot \log(\text{"opløst CaCO}_3\text{"})$				$Y = \text{pH}_0 + \text{ApH} \cdot \log(\text{"opløst CaCO}_3\text{"})$			
pH0 3.33				pH0 3.13			
ApH 1.68				ApH 1.59			
R 0.96				R 0.95			



FIGUR 17

Sammenheng mellom pH og kalsiumkonsentrasjon i Store Høvvann og Pollen. Regresjonslinjene benyttes i TPKALK til å beregne sammenhengen mellom løst kalsiumkarbonat og pH (ligning 1 på side 9). "Opløst CaCO_3 " tilsvarer $50 \cdot \text{Ca}$ [mg/l].

Regresjonslinjene for Store Høvvann og Pollen er vist i figur 17.

De data som er vist i dette kapittelet er tilstrekkelige til å simulere kalkoptimalisering og gjønsøring. Fremgangsmåten er følgende for en enkelt innsjø.

Simulert kalking av enkeltinnsjø

1. Skriv inn SIM_MENY (hovedmeny) og trykk retur,-programmet starter.
2. Velg A for GJENFORSURINGSANALYSE.
3. Velg N for ny innsjø.
4. Fyll inn nødvendig informasjon i vinduet som tilsvarer figur 4 på side 7. Legg inn en rimelig kalkdose som justeres etter KALKOPTIMALISERING (punkt 6), her ca 50 tonn.
5. Når vinduet er utfyllt trykk ESC og programmet simulerer gjenforsuringen og returnerer til hovedmenyen.
6. For å finne en riktig kalkdose velg E for KALKOPTIMALISERING.
7. Velg f.eks 8 for omkalking ved pH 5.8.
8. Resultatet er vist i figur 18¹.
9. Velg egnet kalkdose fra tabellen i figur 18 og gjør GJENFORSURINGSANALYSE en gang til.
10. Velg A for GJENFORSURINGSANALYSE.
11. Velg p for repetisjon av simulering.
12. Legg inn ny kalkdose. Ca 113 tonn ved kalkingsintervall på ett år (mellom 100 og 125 tonn). Trykk ESC og vent.
13. Se på resultatet og generer ønskede rapporter ("Rapport: pH/kalk/alt" på side 16).
14. Velg H for SIMULERINGS - DATABASE. Arkiver dataene ved å velge I for lagre. Skriv inn filnavn, f.eks "95_ISHOV" for kalking 1995, for maskinell kalking (), vassdrag I og innsjø Store Hovvatn, og trykk retur.

Resultatet av kalkoptimaliseringen er vist i figur 18. Når kalkingsintervallene skal velges er det nødvendig at også andre økonomiske parametere og biologiske effekter ved hyppig kalking vurderes. I praksis velges kalkingsintervall på hele år² (innringet i tabellen).

-
1. Velg F i hovedmenyen for å vise resultatene på skjermen. Bruk piltaster for å få frem hele tabellen.
 2. På grunn av variasjonene i vannføring gjennom året kan i praksis kun benyttes kalkingsintervall på hele år siden andre intervall vil avhenge av hvilke måned kalkoptimaliseringen starter og stopper.

R E S U L T A T E R		
KALKMENGDE (TONN)	VARIGHET AV KALKING (ÅR)	ÅRLIG MENGDE (TONN/ÅR)
5.0	0.00	0.0
10.0	0.00	0.0
15.0	0.00	0.0
20.0	0.00	0.0
25.0	0.00	0.0
30.0	0.00	0.0
35.0	0.42	82.4
40.0	0.75	53.1
45.0	0.91	49.3
50.0	1.18	42.2
62.5	1.38	45.3
75.0	1.56	48.1
87.5	1.82	48.0
100.0	1.96	50.9
125.0	2.28	54.3

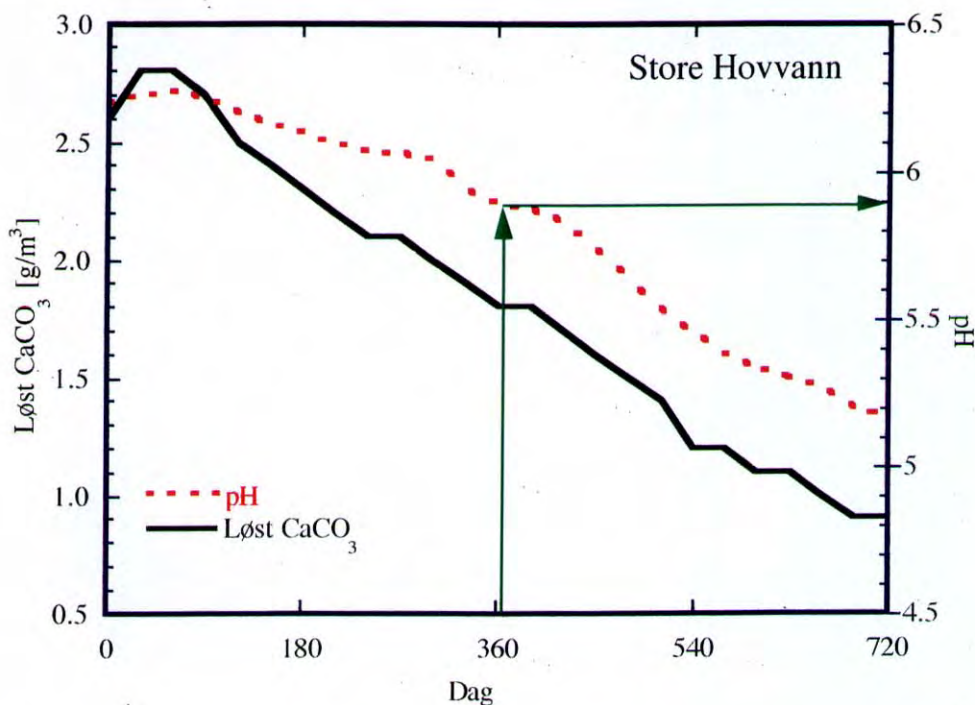
FIGUR 18 Resultater av kalkoptimalisering i Store Hovvatn. Velg F i hovedmenyen for å vise resultatene på skjermen. Bruk piltaster for å få frem hele tabellen. Dosering på ca 40-50 tonn per år. Ved å dosere hvert år spares ca 10 tonn kalk per år. Dette må vurderes mot totale kostnader.

TPKALK beregner at det ved en årlig omkalking ved pH på 5.8 er nødvendig å kalke med 40 tonn av den valgte kalken. Resultatene av gjenforsuring etter en slik kalking er vist i figur 19.

Simulert kalking av innsjø med et tilløp

Pollen er tilløp til Store Hovvatn og for å inkludere dette tilløpet gjøres følgende:

1. Velg A fra hovedmeny.
2. Velg p for repetisjon av simulering (eller ny innsjø).
3. Skriv inn ønskede data, avslutt med å trykke ESC.
4. Utfør kalkoptimalisering.
5. Legg inn riktig kalkdose ved å gjenta punkt 2.
6. Arkiver dataene under egnet navn (se pkt 14 "Simulert kalking av enkeltinnsjø").
7. Hente arkivert simulering som tilløp vha SIMULERINGS-DATABASE valg H (se "Hente el. koble tilløp" på side 13).
8. Hente "95_1SHOV" simuleringen som innsjø (se se "Hente/lagre simuleringer" på side 12). Siden tilløp er utelatt vha valg "0" må dette endres til "1" slik at "Pollen" blir med i beregningen (se figur 4 på side 7).



FIGUR 19 Resultater av gjenforsuring av Store Hovvatn etter kalking vha TPKALK. Med en kalkdose på 50 tonn er pH etter et år ca 5.9. I dette eksempelet kan det være kostnadseffektivt å kalke hvert andre år (se figur 18).

Simulert kalking av innsjø med flere tilløp (kobling av tilløp)

Dersom flere tilløp skal kobles til Store Hovvatn må disse først kobles til en "tilførsel". Dette gjøres på følgende måte:

1. Utfør og arkiver simulering på hver av innsjøene som er tilløp slik som forklart tidligere i dette avsnittet.
2. Velg **H** for **SIMULERINGS - DATABASE**.
3. Velg **K** for å koble filer til en .INN fil.
4. Gi .INN filen et navn (endelsen .INN legges automatisk til), gjerne samme navn som innsjøen den skal være tilløp til.
5. Skriv inn filnavnet på .SIM filene som skal kobles. Programmet bruker samme søkerutine som er beskrevet under "Hente/lagre simuleringer" på side 12.
6. Kontroller om riktige tilløp (filer) er koblet. Hvis det er OK, trykk "Enter".
7. Tilløpene er nå samlet til et "tilløp" som hentes inn vha følgende prosedyre:
8. Velg **H** for **SIMULERINGS - DATABASE**.

9. Velg K for å koble til tilløp.
10. Skriv inn navnet på filen inkludert endelse. Programmet bruker samme søkerutine som er beskrevet under "Hente/lagre simuleringer" på side 12.
11. Tilløpet er nå koblet og videre arbeid med Store Hovvatn kan fortsette.

3.6 Nyttige taster

Siden modellverktøyet benyttes fra DOS er det tastetrykk som kontrollerer menyvalg.

ESC-tasten bryter hvis programmet fryser skjermen og avslutter når innlasting av data er fullført (f.eks figur 4 på side 7).

Piltaster brukes som et alternativ til bokstavgaster for å gjøre programvalg.

Bokstavgaster brukes til å gjøre programvalg. Trykk bokstav som er uthevet med farge i menyen.

DELETE eller BACKSPACE sletter tekst i innlesingsfelt.

CTRL-BREAK eller CTRL-ALT-DEL avslutter programmet hvis det oppstår en alvorlig feil som medfører "låsing" av PC'en. Kun data fra siste operasjon blir borte. Dvs at ved f.eks Repetisjon av simulering er det kun endringer fra den pågående repetisjonen som blir borte.

Funksjonstaster virker ikke.

BRUK PUNKTUM, ikke komma ved innlasting av tall.

3.7 Informasjon om filer i TPKALK 1.11 katalogen

TPKALK katalogen inneholder tre grupper med filer. Database- og datafilene kan leses vha en teksteditor (Word, WP, Edit etc)."" er et skjermbilde av en katalog som inneholder filtypene som er beskrevet under.

1. Databasefiler (.sim & .inn): Databasefilene inneholder den informasjon som lagres etter en gjenforsuringsanalyse, og er spesifikk for den innsjø simuleringene gjelder for. Etter lagring kan disse hentes som tilløp til nedstrøms innsjøer og til nye simuleringer.
2. Datafiler (.dat): Datafilene er inneholder informasjon fra siste simulering, og overskrives etter hver simulering. Det er disse filene som vises og skrives ut når dette gjøres fra hovedmenyen. SUM er siste rapportgenerering. OPT er siste kalkoptimalisering. KALK36 er siste simulering.
3. Programfiler (.exe, .bgi og .int): Se neste kapittel, "Programmer som utgjør TPKALK 1.11". KALKDAT.int filen er en initialiseringsfil som inneholder

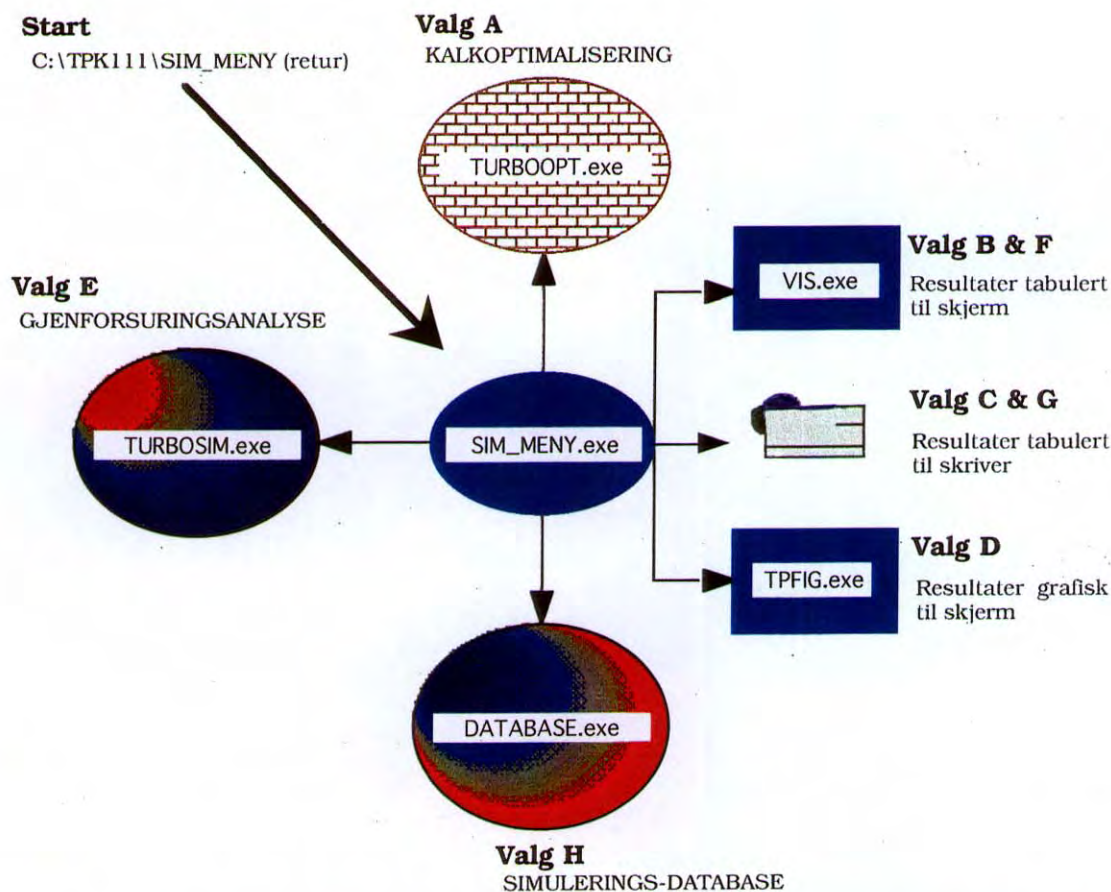
informasjon om kalkopløsning. EGAVGA.bgi inneholder informasjon om skjerm.

```
Directory of C:\TPK1111
.                <DIR>      12-15-95
..              <DIR>      12-15-95
DATABASE EXE    87952 11-22-95
EGAVGA BGI      5554 06-11-91
KALK36 DAT      4640 01-31-96
KALK36X DAT     1354 01-31-96
KALKDAT INT     1560 10-08-95
OPT DAT        3125 12-18-95
SIM_MENY EXE   12320 10-05-95
SUM DAT        964 01-10-96
TPFIG EXE      28144 10-08-95
TURBOOPT EXE   45712 11-22-95
TURBOSIM EXE   61680 11-28-95
UIS EXE        6848 05-29-90
96_BRODL SIM    4640 01-31-96
96_HEST SIM    4636 01-31-96
96_STEM SIM    4635 01-31-96
96_RABNE SIM   4640 01-31-96
96_BRODL INN   1354 01-31-96
```

FIGUR 20 Filoversikt med innholdet i en TPKALK katalog. Foruten programfilene .exe, .bgi og .int, inneholder katalogen filer som brukes av programmet (.dat) og som lagres fra programmet (.sim og .inn).

3.8 Programmer som utgjør TPKALK 1.11

Programmet SIM_MENY.exe viser hovedmenyen i TPKALK 1.11. TPKALK er bygget opp av flere programmer som utfører gjenforsuringsanalyse, kalkoptimalisering, organisering av simuleringsdatabase, visning til skjerm og utskrift. Programmene som utfører disse operasjonene må alle ligge i samme katalogen. Figur 20 viser hvilke programmer som utfører de forskjellige valg i hovedmenyen (SIM_MENY). Valgene gjøres ved å trykke den bokstaven som er angitt i klammeparentes (se figur 2 på side 6). Hvert av programmene har igjen undermenyer som er nøye beskrevet i kapittel 2.



FIGUR 21 Programmer som utgjør TPKALK versjon 1.11. Programmet SIM_MENY.exe kan starte programmer for kalkoptimalisering, gjenforsuring, organisering av simuleringsdatabase og visning av resultater til skjerm. Valgene gjøres fra SIM_MENY ved å trykke f.eks A for å starte programmet TURBOOPT.exe.

3.9 Modellens beregning av kalkopløsning

TPKALK beregner oppløst kalk i vannmassene og på bunnen. Oppløsning i vannmassene skjer mens kalken synker mot bunnen av innsjøen og kalles ofte momentanopløsning. Oppløsning av kalk på bunnen foregår over flere år og avtar følgelig i omfang med tid. Ved omkalking tar TPKALK hånd om to generasjoner kalk på bunnen med forskjellig oppløsningshastighet. Dette behandles med en tilsvarende ligning som ligning 3, men med $t+\Delta T$ som tid, hvor ΔT er tiden mellom kalkingene.

Generell massebalanse for kalkmengde i innsjø:

$$Kalk_{akkumulert} = Kalk_{inn} + Kalk_{doserer} + Kalk_{bunn} - Kalk_{ut}$$

ligning 2

KALK_{akkumulert} er den kalk som til enhver tid finnes i innsjøens vannmasser. KALK_{inn} inkluderer kalk fra tilløp. KALK_{doserer} er eventuell tilførsel fra kalkdoserer, mens KALK_{bunn} er oppløsning av kalk som er sedimentert på bunnen. KALK_{ut} tilsvarer kalk i avrenningen fra innsjøen. Når ligning 3 løses mhp tid vil momentanoppløsningen bli inkludert som et konstantledd C₀.

KALK_{akkumulert} formuleres på følgende måte når tilløpskalking er inkludert:

$$\frac{dC}{dt} \times V = \sum_{i=1}^n QI_i(t) \times CI_i(t) + D(t) + \sum_{j=1}^k \left[\frac{dm}{dt} \right]_j - Q(t) \times C(t) \quad \text{ligning 3}$$

hvor oppløsningsraten for sedimentert kalk er

$$\frac{dm}{dt} = B \times e^{-K_L \times t} \quad \text{ligning 4}$$

$$B = TK \times \frac{CaCO_3}{100} \times \frac{VI - MO}{100} \times K_L \quad \text{ligning 5}$$

C er løst kalsiumkarbonat som g/m³.

CI_i er løst kalsiumkarbonat i tilløp nummer "i".

D er løst kalsiumkarbonat fra kalkdoserer i tilløp.

t er tid i år. Forrige kalking inkluderes med t+Δt, hvor Δt er tid mellom kalkingene.

V er innsjøvolum i m³.

m er mengde sedimentert kalsiumkarbonat.

Q er vannføring som funksjon av årstidsvariasjon. Enhet m³/sek.

QI_i er vannføring i tilløp nummer "i".

K_L er en "deaktiveringskoeffisient" som styrer hvor raskt kalk på bunnen skal løses. Liten koeffisient gjør at "Andelen av kalk på bunnen..." i figur 4 på side 7 løses langsomt.

TK er kalkdosen.

CaCO₃ er kalkens CaCO₃ innhold i%.

VI er kalkens totale virkningsgrad (momentanoppløsning + oppløsning fra bunnen).

MO er momentanoppløsning i%.

i teller tilløp til innsjøen. Ved forgrenede systemer summeres n tilløp.

j teller kalkinger. Det blir kun regnet med to kalkinger (j=2, dvs denne og forrige kalking).