

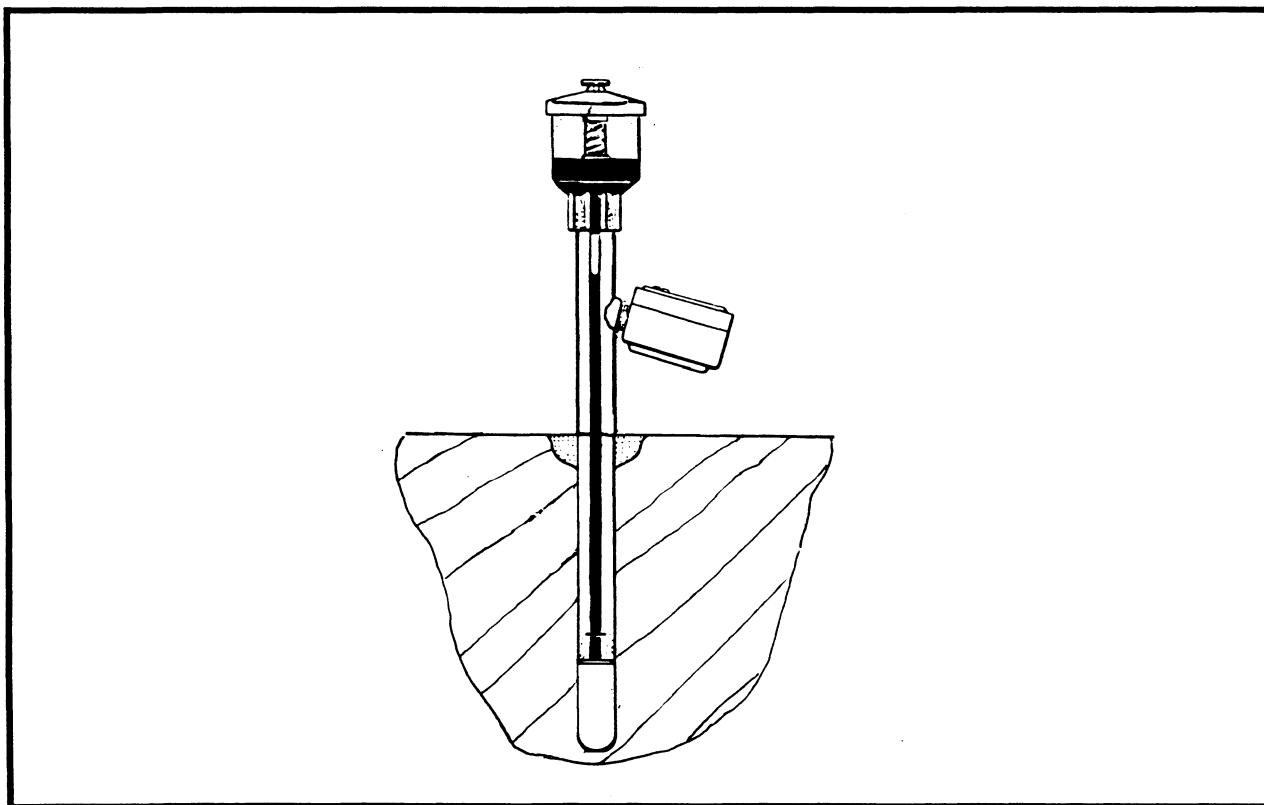
NOTAT



NVE
NORGES VASSDRAGS-
OG ENERGIVERK

NR
V 05
1989

NASJONALT OBSERVASJONSNETT FOR MARKVANN - ANBEFALINGER



VASSDRAGSDIREKTORATET, HYDROLOGISK AVDELING

TITTEL	NR
NASJONALT OBSERVASJONSNETT FOR MARKVANN - ANBEFALINGER	5
FORFATTERE	DATO
S.L. Lystad, T. Børresen, S. Haldorsen, Ø.A. Tilrem, B. Jakobsen, N.R. Sælthun	Mai 1989
	Opptrykk Mars 1991

Det har i den senere tid vært et økende behov for bedre kjennskap til markvannets variasjon i tid og rom. Denne viten er av stor interesse ved mange aktuelle problemstillinger, så som:

- * Planter vannopptak, irrigasjon, transpirasjon
- * Markvannets betydning i mikroklima-prosesser og i vann/luft/jord/energi interaksjoner
- * Markvannets betydning i forbindelse med avløpsdannelse og flommer
- * Effekt av endret arealbruk på markvannsforholdene, og dermed på vannbalanse og avløpsforhold
- * Markvannets betydning i forurensningssammenheng (næringssalters passasje til vassdrag, forurensning)
- * Erosjonsprosesser
- * Tele og frost i jord
- * Planlegging av infiltrasjonssystemer (vannrensning, overvannsdiskonering)

Dette notat er en utredning om muligheten for å etablere et nasjonalt operativt observasjonsnett for markvann, med database åpen for alle.

EMNEORD

Markvann
Modeller
Observasjonsnett
Instrumentering
Database

SUBJECT TERMS

ANSVARLIG

Nils Roar Sælthun
Nils Roar Sælthun

INNHALDSFORTEGNELSE.

1. Gruppens mandat og sammensetning
2. Formål med datainnsamling (NRS)
3. Modellers databehov (SLL)
 - 3.1 Versatile Soil Moisture Budget (SLL)
 - 3.2 Vanningsmodeller (SLL)
 - 3.2.1 USDA-irrigation scheduling (SLL)
 - 3.3 UNSAT2 (BJ)
 - 3.4 Vannbalansemodeller (NRS)
 - 3.4.1 HBV-modellen. (NRS)
 - 3.4.2 Oppdatering av tilstandene i vannbalansemodeller (NRS)
 - 3.4.3 Vannbalansemodellens databehov (NRS)
4. Om måling av markvann (ØT)
 - 4.1 Kort omtale av forskjellige målemetoder for markvann (ØT)
 - 4.2 Fordeler og ulemper ved forskjellige metoder (ØT)
 - 4.3 Automatstasjoner (NRS)
5. Anbefalinger for stasjonsutrustning (TB/SH)
 - 5.1 Minimumsutrustning
 - 5.2 Tilleggsmålinger
 - 5.3 Spesialundersøkelser
6. Oversikt over markvannsaktiviteter i Norge (ØT)
7. Prioritert liste over felt (ØT)
 - 7.1 Kriterier for valg av undersøkelsesfelt
 - 7.2 Jordundersøkelser på stedet
 - 7.3 Forslag til undersøkelsesfelt
8. Datalagring (NRS)
 - 8.1 VHs arkiver
 - 8.2 Lagring av markvannsdata
 - 8.3 Dataflyt
 - 8.4 Eiendomsrett, adgang til data, standardisering
9. Konklusjoner, anbefalinger

Henvisninger.

Vedlegg:

Oversikt over markvannsaktiviteter i Norge, oppsummering av spørreundersøkelse.

Forfattere:

SLL: Sofus Linge Lystad, Klimaavdelingen, DNMI
TB: Trond Børresen, Institutt for jordfag, NLH
SH: Sylvi Haldorsen, Institutt for jordfag, NLH
ØT: Østen A. Tilrem, Hydrologisk avd., NVE
BJ: Børre Jakobsen, Avd for Vassdragsundersøkelser, NVE
NRS: Nils Roar Sælthun, Hydrologisk avd., NVE

1. Gruppens mandat og sammensetning.

På initiativ av Hydrologisk avdeling ble det 17. juli 1987 holdt et møte med representanter fra NLH, Landbruksdepartementet og Hydrologisk avdeling, der mulighetene for å opprette et norsk operativt observasjonsnett for markvann ble diskutert. Det ble vedtatt å nedsette en arbeidsgruppe for å arbeide videre med koordineringen av markvannstjenesten ved Hydrologisk avdeling.

Gruppen fikk følgende sammensetning:

Sylvi Haldorsen, Institutt for jordfag, NLH
 Trond Børresen, Institutt for jordfag, NLH
 Sofus Linge Lystad, Klimaavdelingen, DNMI
 Østen Tilrem, Grunnvannskontoret, Hydrologisk avdeling, NVE
 Nils Roar Sælthun, Datakontoret, Hydrologisk avdeling, NVE

Øystein Aars, Hydrologisk avdeling, og Bengt Rognerud, GEFO, har også deltatt på møter.

Gruppen fikk følgende mandat:

- (a) Gruppen har som mandat å utrede muligheten for å opprette et nasjonalt operativt observasjonsnett for markvann, herunder også en finansieringsplan.
- (b) Formålet med markvannsundersøkelsene vil være å
 - skaffe til veie norske markvannsdata av høy kvalitet over lang tid
 - beskrive markvannsinholdets variasjon i tid og rom i typiske norske jordarter
 - fremskaffe data som kan nyttes til praktiske formål (eksempel behovsprognoser for jordbruksvanning), og forskningsformål
- (c) I den grad det er hensiktsmessig søkes det å samordne undersøkelsene med allerede pågående undersøkelser i og utenfor NVE og NLH.
- (d) Det gis informasjon utad om arbeidet som er i gang.

I tillegg til utarbeidelse av denne rapporten har gruppen gjennomført en spørreundersøkelse om innsamling, lagring og tilgjengelighet av grunnvannsdata ved norske institusjoner. Resultater fra denne undersøkelsen er gjengitt i kap. 6.

2. Formål med datainnsamling.

Markvannsdata er, som nevnt i kapittel 6, innsamlet ved en rekke institusjoner. I de fleste tilfellene dreier det seg om tidsbegrensete måleserier for spesialformål, vanligvis planter vannopptak og vanningsbehov. Slike undersøkelser er derfor som regel knyttet til dyrket mark og begrenset til vekstsesongen.

Fra et hydrologisk synspunkt er markvannets tids- og romvariasjon av videre interesse. Aktuelle problemstillinger kan være:

- planter vannopptak, irrigasjon, transpirasjon
- markvannets betydning i mikroklima-prosesser, i vann/luft/jord/energi interaksjon
- markvannets betydning i forbindelse med avløpsdannelse og flommer
- effekt av endret arealbruk på markvannsforholdene, og dermed på vannbalanse og avløpsforhold
- markvannets betydning i forurensningssammenheng (nærings-salters passasje til vassdrag, forurning)
- erosjonsprosesser
- tele og frost i jord
- planlegging av infiltrasjonssystemer (vannrensing, overvanns-disponering)

I en del sammenhenger kan direkte målinger av markvann benyttes i analyser og som prediktor, mens det for andre problemstillinger er mest aktuelt å benytte markvannsmålinger til utvikling og kalibrering av beregnings- og analysemetoder, som matematiske modeller. Det er derfor to strategier for observasjonsnett for markvann (som for de fleste hydrologiske variabler); et mer eller mindre permanent nett med god regional dekning, og mer intensive måleprogram med mange målepunkt i begrensede områder og over kortere tid. Den første typen egner seg best for indeksmålinger av langtidsvariasjoner, oppfangning av ekstreme situasjoner osv, mens den andre typen er best egnet for hypotese-testing, metodeutvikling, modellkalibrering ol. I praksis er det behov for begge typer målinger. I det neste kapitlet er en del modellers databehov beskrevet nærmere.

Markvannsmåling er arbeidsintensive og relativt kostbare observasjoner, og det er derfor viktig at måleprogram planlegges nøye, at det innsamles nødvendig tilleggsinformasjon, og at målingene lagres på en slik måte at de lett kan gjenfinnes og benyttes til andre undersøkelser enn de primært ble innsamlet for.

I figur 1 er vist et skjematisk oppsett av noen parametre og prosesser som kan inngå i en slik dynamisk modell.

Til venstre er den "atmosfæriske"-delen av modellen. Hoveddelen av denne består av nedbørmengde og nedbørfordeling over tid. Ved siden av disse parametre er innført et litt difust begrep; klimatisk fordampnings kapasitet. Dette skal gi uttrykk for i hvilken grad atmosfæren er i stand til å motta fuktighet fra en nedre grenseflate. De tidligste modellene benyttet her ren potensiell fordampning i den forstand som ble uttrykt av Thornthwaite (Thornthwaite 1948) og Penman (Penman 1948). Senere kom "feedback"-konseptet sterkere inn og bruken av aktuell heller en potensiell fordampning ble aktualisert (Holmes og Robertson 1959), dette er indikert via en forbindelse fra EVAPORASJON ned til POTENSIELL / AKTUELL FORDAMPNING.

"Vegetasjons"-delen i modellene kommer inn via beskrivelsen av den øvre grensebetingelsen "JORD, VEGETASJON". I de tilfelle hvor det er en vegetasjon tilstede vil vanntransport via røtter for å tilfredsstille transpirasjonsbehovet være av betydning.

I sentrum av figuren er angitt "jord"-delen av modellen. Denne delen begrenses nedad mot grunnvann og oppad mot en bar jordflate eller et annet vegetasjonsdekke. Vannbevegelse "ut" av "markvannsboksen" vil skje på flere måter, som avrenning på overflaten eller ned mot grunnvann. Videre vil det foregå fordampning fra jordoverflaten, og transpirasjon fra et vegetasjonsdekke, infiltrasjon og intersepsjon i selve grenseflaten mot atmosfæren er også prosesser som virker inn.

I figur 2 er vist en oppdeling i lag av selve "markvannsboksen". Dette konseptet ble også først fremsatt i "The modulated soil moisture budget" av Holmes og Robertson (1959). Antallet lag er i prinsippet fritt valgbart etter detaljeringsgrad, så de 4 lag som er gitt i figuren er bare et eksempel. I figuren er også indikert bevegelser av fuktighet mellom lagene noe som krever kunnskap om markvannspotensial og retensjonskurver hos ulike jordarter.

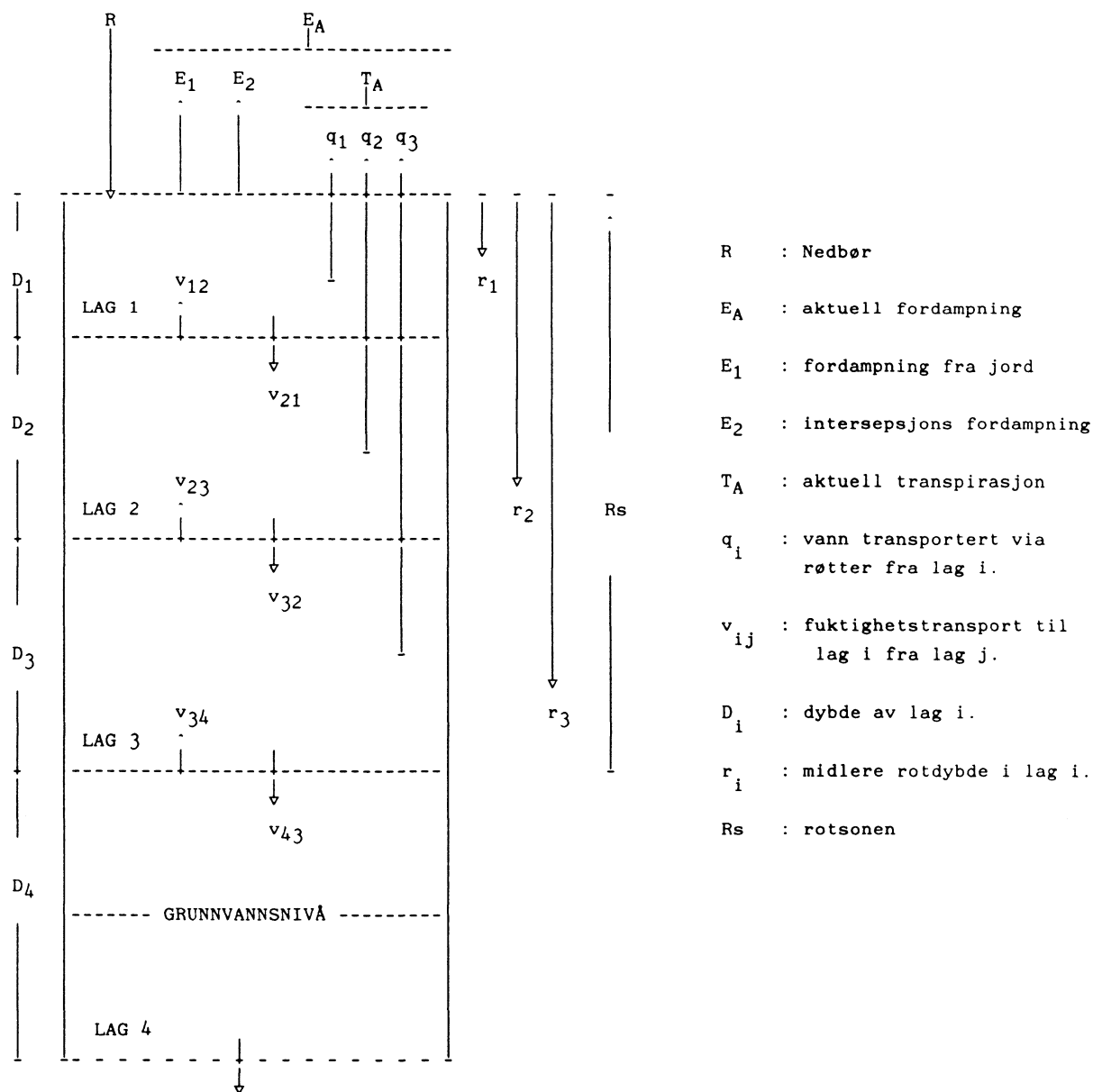
Inkluderingen av et vegetasjonssjikt i øvre grenseflate medfører også fuktighetstransport via vegetasjonens røtter, noe som igjen gir opphav til transpirasjon. Parametrisering av denne transportprosessen er også av vesentlig betydning.

I figur 3 er vist en forventet forbedring av markvannsestimater som en funksjon av øket kunnskap om henholdsvis atmosfæriske variable og jord/vegetasjons variable.

De atmosfæriske variables rolle er først og fremst som et beregningsgrunnlag for potensiell fordampning.

Samspeillet mellom røtter, vann og jord er parametrisert via en størrelse som er kalt "rotkonstanten"

Ved beregningen av aktuell fordampning EA fra enten potensiell fordampning EP eller vannreferanse fordampning EPO er det nødvendig å ta hensyn til i hvilken grad et økende markvannsdefisitt vil redusere EA. Dette er skissert i figur 1 som "feedback" fra EA tilbake til EP.



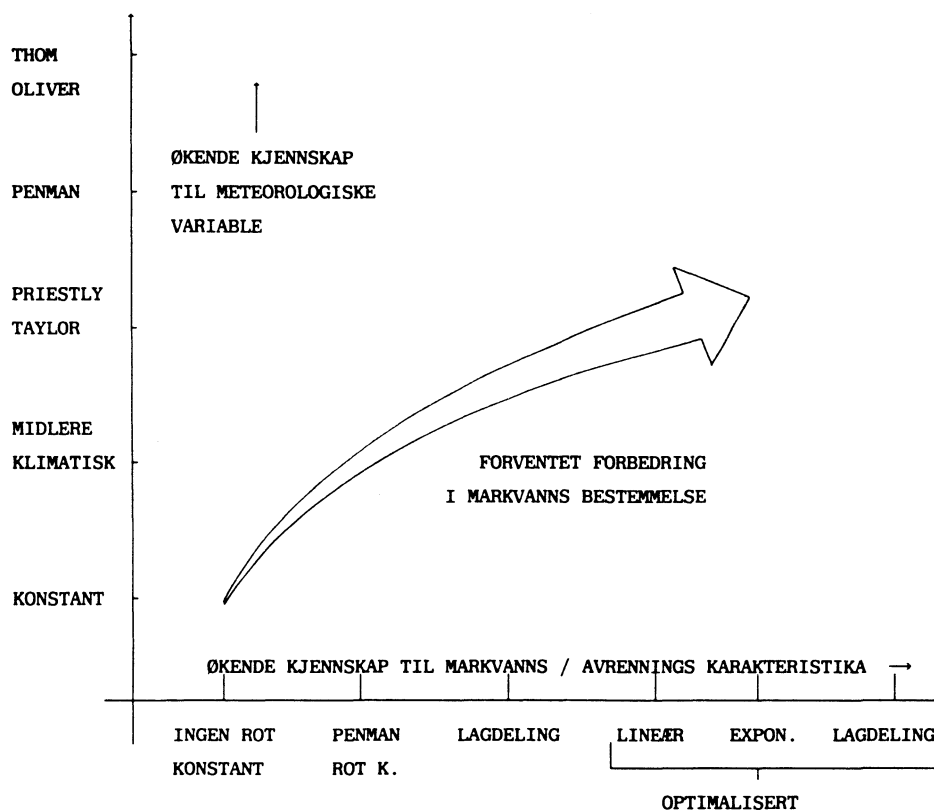
Figur 2. Skjematisk oppsett av parametre som inngår i markvannsbevegelser.

Mulige løsninger av dette problemet har reist en del kontroversielle spørsmål som finnes diskutert bl.a. i (Baier 1968), (Penman 1949), og (Grindley 1967).

Figur 3 er tatt fra (Calder, Harding og Rosier 1983) som i dette arbeidet forsøker å se på forholdet mellom modellens detaljeringsgrad (økt kunnskapsinnhold) og forventet forbedring av modellresultat.

Det er i arbeidet sammenlignet direkte målinger med nøytronmeter fra seks ulike gressområder i England med modellresultater for de samme områdene.

Konklusjonene fra dette arbeidet er følgelig primært gyldig for England, men kan også ha mer generell interesse.



Figur 3. Forventet forbedring av et modellestimat.

Grovt sett viser arbeidet at sofistikerte beregningsmetoder for potensiell fordampning ikke forbedrer modellresultatet i vesentlig grad. Derimot vil en øket input av jordbeskrivende parametre (f.eks. lagmodeller med optimaliserte parametre) gi vesentlige forbedringer av modellresultat.

Til et slikt resultat er å bemerke at for et så maritimt influert klima som Englands, vil den klimatiske fordampningskapasiteten neppe variere ekstremt hverken i tid eller rom, slik at et relativt grovt estimat av EP vil ha en utstrakt gyldighet.

Et annet moment som spiller inn er at nyere beregningsprosedyrer for fordampning i seg selv bygger inn transportfunksjoner som tar hensyn ikke bare til klimatisk fordampningskapasitet, men også graden av tilgjengelig vann. Det vil si at fordampningsestimatet ikke direkte gir potensiell fordampning, men et estimat nærmere aktuell fordampning.

Dette har også betydning for tolkningen av begrepet potensiell evapotranspirasjon. Dette begrepet er rent pragmatisk brukbart definert for åkervekster og lav gresslignende vegetasjon, for skog derimot er begrepet ikke entydig. Praktisk sett vil man få en verdi som potensiell dvs. "den maksimalt mulige", dersom skogen er våt, og en helt annen verdi dersom skogen er tørr. Uten å gå inn på teoriene for dette, se f.eks. (Calder 1979, Stewart 1977, Bringfelt 1980), vil intersepsjonsfordampningen her spille en stor rolle.

Dersom en lav vegetasjon (åkervekster eller gress) er våt regner man at en nedsatt transpirasjon balanseres av intersepsjonsfordampningen slik at evapotranspirasjonens potensielle verdi ikke påvirkes i nevneverdig grad. Størrelsen av vegetasjonsvolumet i en skog vil gi opphav til en vesentlig større interseptert nedbørmengde og fordampningen av denne vil mer enn kompensere den nedsatte transpirasjonen slik at den potensielle evapotranspirasjonen for våt og tørr skog ikke direkte er sammenlignbare.

Dette medfører så mere raffinerte metoder for beregning av den potensielle fordampningen fra skogsområder, se f.eks. (Bringfelt 1982) hvor varigheten av tørre/våte perioder dvs. lengde av nedbørtillfelle spiller en vesentlig rolle. Dette er indikert i figur 1 som tørre/våte perioder.

Rene Penman estimerer vil ha begrenset gyldighet, mens ligninger av Penman-Monteith type vil vesentlig forbedre estimatet dersom "riktige" verdier av resistansefunksjonene kan benyttes.

I figur 4 er vist en eventuell markvannsmodell som kan benyttes i en videre sammenheng. I seg selv gir den et hydrologisk budsjett, men dette kan igjen kombineres med et energibudsjett til generelle modeller som beskriver kombinasjonen vær-vekst. Det vil da være rimelig å betrakte modellenes databehov i en videre sammenheng og si at et nødvendig datakrav er nok parametre til å bestemme en komplett massebalanse (hydrologisk) og en energibalanse (f.eks termalbalanse).

Eksempel på en slik modellstruktur som benytter en markvannsmodell i en videre sammenheng er f.eks. MORECS, Meteorological Office Rainfall and Evaporation Calculating System (Thompson et al. 1981).

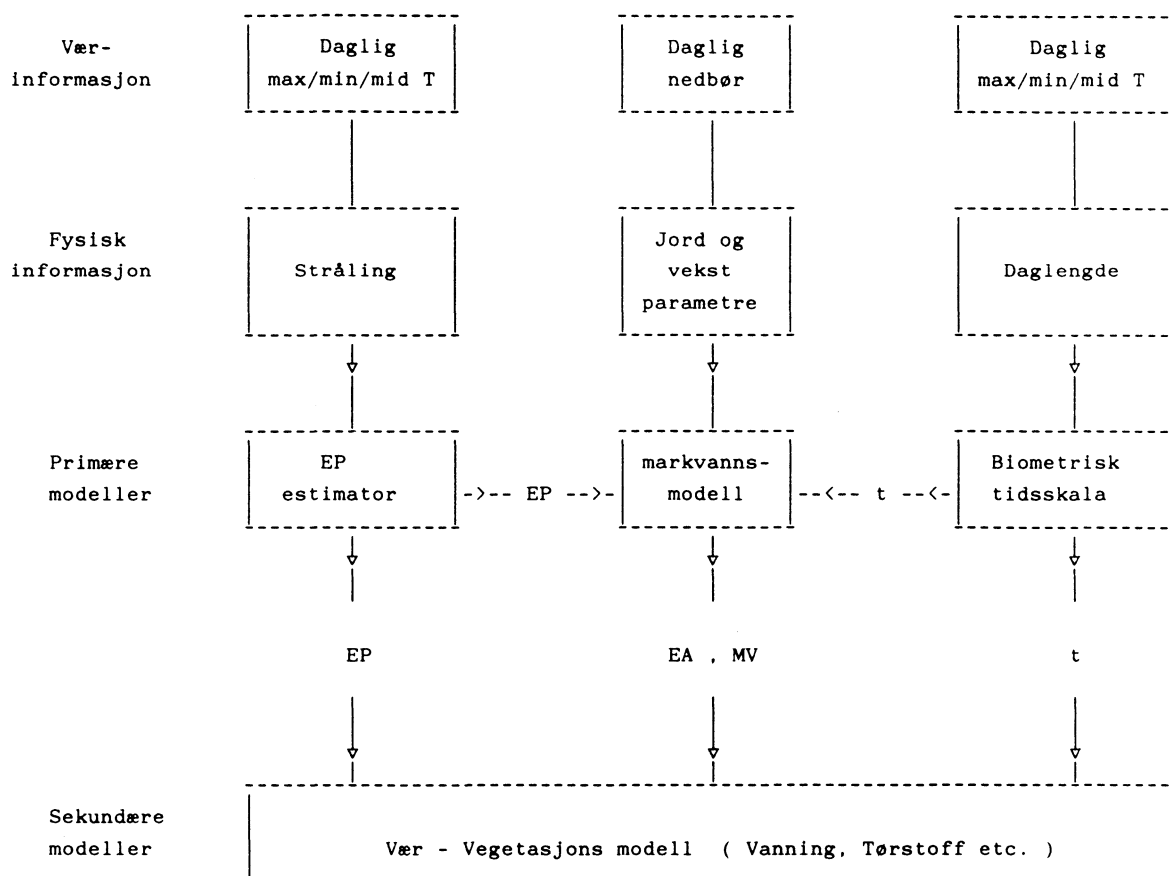
Som input krever MORECS nedbør, solskinnstid, temperatur, fuktighet og vindhastighet. Operasjonelt behandler MORECS hele England slik at data undergår en romlig utjevningsprosess som gir distribuerte verdier for 40x40 km gridnett ruter som dekker hele landet.

Daglige verdier for EP produseres for hver rute for en del definerte standard flatetyper (vegetasjon) via Penman-Monteith formelen. Denne tar hensyn til aerodynamisk massetransport og energibudsjett-forhold sammen med fysiologiske faktorer via atmosfære-vekst-jord resistanseparametre (definerte transportprosesser).

Aktuell fordampning EA produseres så for jord med "høy", "medium" og "lav" tilgjengelig vannkapasitet.

Hovedoutput er data som ukentlige summer av EP, EA, HER (hydrologisk effektiv nedbør som er "restnedbør" etter at fordampning og eventuell økning av markvannsmagasinet er trukket fra observerte nedbør) samt SMD dvs. markvannsstatus ved ukens slutt. Data kan produseres tabellarisk, men også fremstilles som EDB-produserte kart hvor ruteverdiene for alle involverte parametre kan påføres.

Dette vil si at MORECS også produserer data som "halvfabrikata", dvs. datasett som igjen kan benyttes som input til nye modellstrukturer.



Figur 4. Markvannsmodellens rolle i et mer omfattende modellsystem.

T : temperatur
EP : potensiell fordampning
EA : aktuell fordampning
MV : markvann status
t : tidsskala

Modeller kan også klassifiseres som rent deterministiske (strukturen styres av rent fysikalske prosesser) eller "black box"-modeller hvor statistiske forventningsverdier er det styrende prinsipp. Det er også modellstrukturer som danner en mellomting mellom disse ytterpunktene, dvs. foruten data i sann tid kreves et datatilfang over en lengere periode for å simulere statistiske variable som er med i modellen. En slik struktur er beskrevet i Eagleson (1978), men også enklere modeller som "The versatile soil moisture budget" (Baier et al. 1979) benytter slike prinsipper.

3.1 Versatile soil moisture budget.

Den første versjonen av denne modellen ble publisert i 1966 (Baier og Robertson 1966). Senere versjoner med ulike utvidelser har kommet med ulike mellomrom frem til den beskrevne versjon B208 (Baier et al. 1979)

Modellen omfatter hovedprosessene for vann som involverer jord og planter. Den er et kompromiss mellom en ren statistisk modell hvor ingen fysiske prosesser benyttes og en deterministisk modell hvor de fysiske prosesser beskrives rent matematisk. Selv om en fysisk modell som oftest er å foretrekke vil bestemmelse av rotparametre i kombinasjon med jordparametre som regel være vanskelig å gjennomføre til enhver tid. Modellen er derfor resultatet av en semiempirisk metode hvor nødvendige koeffisienter er statistisk bestemt for de vanligste jord- og vekst-kombinasjoner.

Modellresultatene er verifisert i en rekke sammenhenger med et meget godt resultat.

Modellen er en opptil 6 lags jordmodell. Markvannsbevegelsene styres av E_A/E_P - markvannsekstraksjonskurver, kalt z-kurver. Disse kurvene er standardisert for 8 ulike "standard" jordtyper. Videre finnes etablert et sett med rotekstraksjonskurver, k-koeffisienter, som beskriver vegetasjonens evne til å utnytte markvannet, alt avhengig av type og vekststadium.

For å kunne kjøre denne modellen gjennom hele året er det også etablert prosedyrer for å ivareta et snøbudsjett.

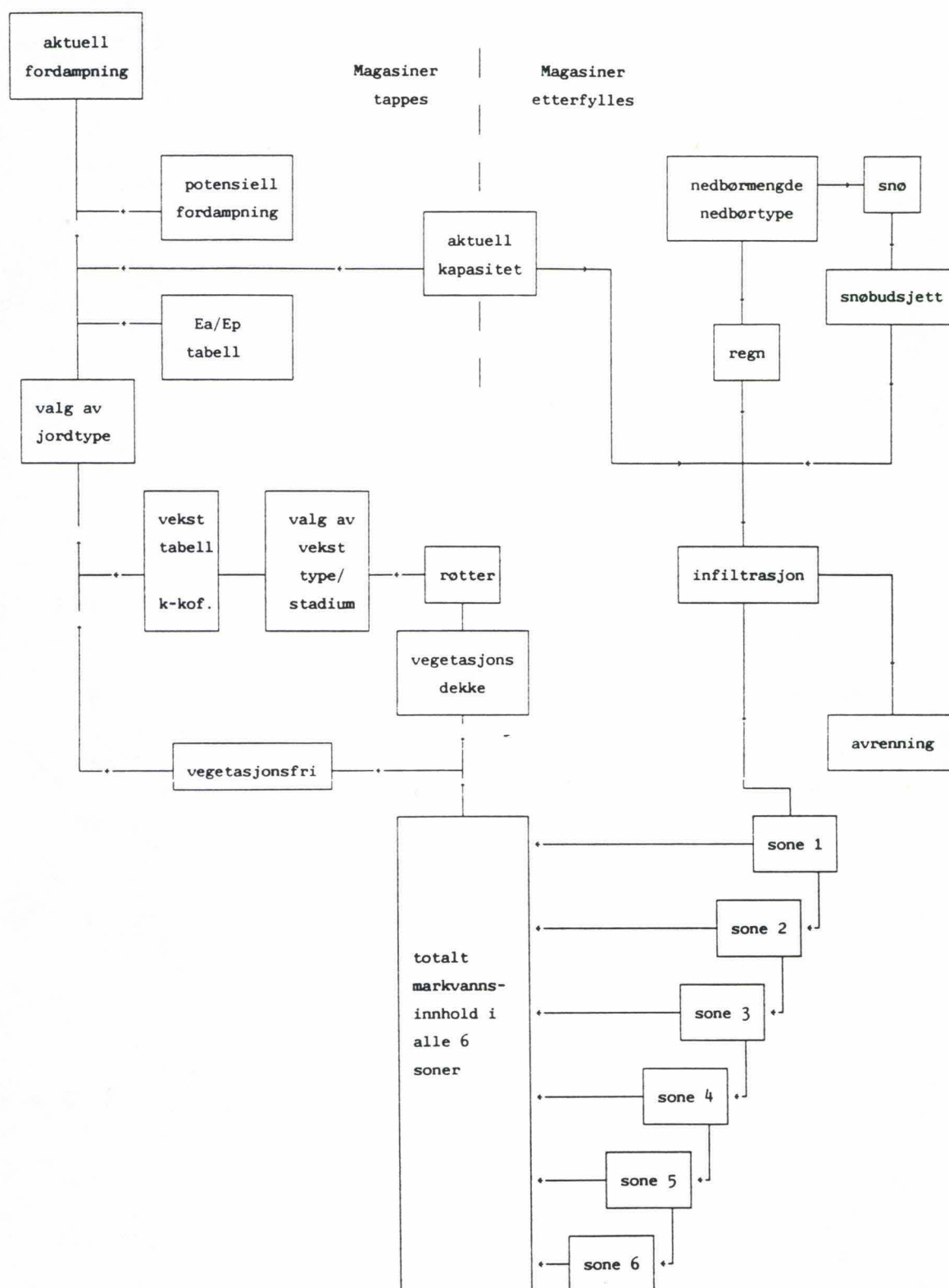
I figur 5 er vist et skjematisk oppsett av de ulike prosedyrene i modellen.

Inputdelen består av et kontrolldatasett samt løpende meteorologiske data. Kravet til værddata er meget begrenset, døgnlignedbørsum, maksimum og minimum temperatur for døgnet samt døgnlignepotensiell fordampning. Dersom verdier for fordampning ikke eksisterer, kreves et nødvendig datasett for beregning av denne størrelsen. Originalversjonen benytter her en canadisk formel (Baier et al., 1979) som i tillegg kun krever ekstraterrestrisk stråling, en ren astronomisk bestemt størrelse. Det kan imidlertid nevnes at enhver passende beregningsmetode for potensiell fordampning kan benyttes.

Værddata leses inn i grupper på glidende pentader (5 døgn) og benytter en binomial glatting for perioden. Dag nummer 3 eller midtdøgnet i perioden vil så være det døgnet modellen arbeider med.

Kontrolldatasettet består originalt av 12 separate datasett. Disse datasettene består bl.a. av jordtypedefinisjon, tilordning av z-tabeller til ulike jordlag samt en initiell markvannsstatus for hvert lag.

Videre følger definisjon av vegetasjondekke og tilordning av k-koeffisienttabeller. Datoer for bytte av disse tabellene kan gies, f.eks. i forbindelse med slått, eller fenologisk endring av dekket. Koeffisienttabellene selv avspeiler også den naturlige vegetasjonsutviklingen gjennom vekstsesongen.



Figur 5. Skjematisk oppsett av prosedyrene innen Versatile Soil Moisture Budget. (Baier 1979)

Det er rimelig at vegetasjonsinformasjonen er best for åkervekster, men det skulle heller ikke være noen store problemer med å definere tilsvarende tabeller for mer naturlig vegetasjon.

For kombinasjon dekke/jord må avrenningskoeffisienter og perkolasjon angis.

Et datasett for beskrivelse av et "vinter-budsjett" for å kunne behandle fast nedbør består av et sett "smeltekoeffisienter" (temperaturavhengige) samt datoer for start og slutt av snø-sesongen.

I forbindelse med snøbudsjettet taes også hensyn til begrepet hydrologisk effektiv nedbør; det gies en mulighet til å gi beskrivelse av gjenværende nedbør etter fordampning, snøfokk etc.

Modellen har også muligheten for å ta med et datasett med målte markvannsverdier for å sammenligne med modellresultatene og eventuelt justere seg etter disse.

Standard modellresultater er som følger:

- 1: Tidsangivelse
- 2: Vegetasjonsutviklingstrinn
- 3: Nedbør regn/snø
- 4: Potensiell fordampning
- 5: Aktuell fordampning
- 6: Tilgjengelig markvann i jordlag 1 til 6
- 7: Avrenning
- 8: Minimums temperatur for døgnet
- 9: Maksimums temperatur for døgnet
- 10: Vann i form av snøreserver
- 11: Utjevnet maksimumstemperatur
- 12: Utjevnet minimumstemperatur
- 13: Utjevnet middeltemperatur
- 14: Aktuell avsmeltning
- 15: Avrenning gjennom snø
- 16: Gjenværende snø ikke inkludert smeltevann
- 17: Potensiell smeltemengde
- 18: Infiltrasjon fra snødekket
- 19: Markvannsdefisitt over alle jordlag.

Denne modellen kan som vist i figur 4 lenkes sammen med sekundærmodeller for å utnytte data i en videre sammenheng. Dette gir også en mulighet for en indirekte kalibrering av markvannsmodellresultatene.

3.2 Vanningsmodeller.

Med bakgrunn i det konseptet som er vist i figur 4 vil en generell vanningsmodell kunne betraktes som en sekundær modell eller som en overbygning på en markvannsmodell.

Vanningsmodellen inneholder altså en total markvannsmodell og resultatene fra denne viderebehandles. For eksempel kan estimert markvannsdefisitt settes opp mot definerte grenser for defisitt gitt av vekst, vekststadium, jord og praktiske muligheter for kunstige tilførsler av vann. Kombinasjonen vannkrevende vekster på tørkesvak jord

vil altså kreve en annen aksjon enn mer tørkesterke vekster på den samme jordtypen.

Et annet moment som også spiller en stor rolle er utnyttelsen av rene meteorologiske varsler, f.eks. kvantitative nedbørvarsler. Finnes ikke slike varsler må statistiske estimater basert på langperiodisk klimainformasjon kunne settes inn istedet.

En praktisk modell må kunne behandle også en slik informasjon og ikke kreve vanning dagen før et eventuelt nedbørdøgn. Her vil differansen mellom vannbehov og forventet nedbør være avgjørende.

Skjematisk kunne dette tenkes tilføyet figur 5 som en alarmfunksjon ved beregningen av markvannsinholdet i hver av de 6 soner eller lag. Synker markvannet under et gitt nivå settes alarmen på og hvis i tillegg nedbør ikke er ventet settes krav om vanning i funksjon.

Det finnes en rekke operasjonelle vanningsmodeller og opplegg til slike. MORECS er et eksempel, den danske modellen til Kristensen og Jensen (Kristensen og Jensen 1975) som også har vært benyttet i Norge (Riley 1987).

En utmerket oversikt over vekst-vær modeller finnes i publikasjonene (Robertson 1983), (WMO 1986). Det er her laget oversikter over modeller, datakrav og computerkrav.

Et av problemene ved slike modeller er at de for å ha en gyldighet utover et rent punkttestimat krever computerkapasitet både rent lagringsmessig, beregningsmessig og telekommunikasjonsmessig.

En middelstor modellstruktur er beskrevet nedenfor, USDA modellen.

3.2.1 USDA-irrigation scheduling.

Dette er en vanningsmodell utviklet ved United States Department of Agriculture (Jensen et al. 1970), (Jensen et al. 1971), (Jensen 1972), (Wright, Jensen 1972), (Erpenbeck 1982).

Input for modellen er som for markvannsmodellene en atmosfærisk del, en grenseflate-del og selve markvannsdelen.

Den atmosfæriske delen er "regionalisert", dvs. at man velger data fra en meteorologisk stasjon som ansees representativ for et område. For denne stasjonen etableres så forventede døgnverdier for nedbør, potensiell fordampning og klardags globalstråling for hver dag i et standard normal år. Disse størrelsene er parametrisert via polynomer i regresjonskoeffisienter mot dagnummer i året. Dette er en statistisk informasjon som benyttes dersom aktuelle verdier eller kvantitative varsler mangler. Finnes det kvalitative varsler, kan disse "normalverdiene" justeres. Er det kvalitative varslet "tørt", kan forventet nedbør f.eks. reduseres med en gitt faktor.

I tillegg må gis et datasett med "normale månedsmidler" for relativ fuktighet, vindverdier for dag og for natt samt globalstråling. Dette er alle data som kan relassere manglende aktuelle kvantitative varsler.

Daglig input av meteorologiske variable er tillempet et standard meteorologisk observasjonsnett med minimum 3 observasjoner pr døgn. Input blir da temperatur for 3 klokkeslett (07,13,19) samt minimum og maksimum temperatur for døgnet. Relativ fuktighet og vindverdier for de samme 3 tider samt nedbør- og strålingssum for døgn.

Dette betraktes da som regional informasjon som gir opphav til døgnmidler for de samme parametre samt beregning av en type potensiell fordampning som benevnes "gressreferanse fordampning" eller i FAO sammenheng "reference crop evapotranspiration, ETo" (FAO 1984). Ideen er at denne ETo kan forbindes med den potensielle fordampningen fra en gitt vekst via en definert vekstkoeffisient kC

$$EP_{\text{vekst}} = kC ETo$$

Modellen har mulighet for ETo beregning via en justert standard Penman prosedyre (Kristensen 1979) en FAO-prosedyre (FAO 1982) og en prosedyre utviklet av W.Johanson i Sverige (Johanson 1974).

Regionen splittes så opp i "gårder" som igjen splittes i "åkre". Data som så beskriver åker er vekst og jordavhengige. Disse består for eksempel av: veksttype (vekstkoeffisient-tabell bestemmes av denne) samt fenologiske data for veksten (dato for spiring, fullt vegetasjonsdekke, høsting osv.). Rotsone må defineres via effektive verdier for maksimum og minimum og en absolutt grense for maksimumsverdi.

Jorddelen er en 5-lagsmodell hvor dybde og maksimum tilgjengelig markvann må gis.

Siden modellene er budsjettmodeller må initialverdier for aktuelt markvannsinhold i de ulike lagene etableres.

Hittil har datakrav vært relativt overenstemmende med den rene markvanns-modellens, men for vanning vil noe ekstra informasjon være nødvendig.

Denne kan resymeres som følger: tillatt uttørkning i % eller mm, irrigasjonseffektivitet i % (forskjell i effektiv utnyttelse av vann ved f.eks. dryppvanning eller sprinklervanning), samt det kvantum vann som praktisk kan tilføres pr døgn.

Videre må budsjettet også holde orden på hva som tidligere er tilført av vann på kunstig vis, dette må gies i hvert tilfelle.

Modellen kan inneholde data for opptil 15 dager og beregner så en total vannstatus for siste dag med reelle data. Dette budsjettet er så initialverdiene for en videre beregning via "varsel data" eller de statistisk etablerte verdiene.

I det første budsjettet gies bl.a verdier for:

- 1: Tidsinformasjon
- 2: Biometrisk tidsskala
- 3: Aktuell verdi for vekstkoeffisient
- 4: Rot-status for veksten
- 4: Nedbørmengde

- 5: Irrigasjonsmengde
- 6: Referanse potensiell fordampning
- 7: Aktuell fordampning
- 8: Markvannsdeficit i relasjon til grense;
dette vil si at enten er grensen gitt som en mm
verdi eller som en % av maksimum tilgjengelig
markvann.

I budsjettet som så baserer seg på fremtidsdata er den samme informasjonen, men også verdier for aktuell markvannsstatus sammen med løpende verdier for tillatt uttørring. Denne varierer bl.a med rotutviklingen og er derfor ikke konstant.

Differansen mellom disse to størrelsene regnet frem i tid vil så gi opphav til en dato-bestemmelse hvor irrigasjon er nødvendig. Det etableres en dato hvis "normal" nedbør faller, og en annen dato dersom overhode ingen nedbør faller.

3.3 UNSAT2.

UNSAT2 er utviklet for Nuclear Regulatory Commission, ved Fort Collins (Davis & Neumann, 1983). Den er fri programvare.

UNSAT2 gir muligheter for å simulere mettet og/eller umettet strømming i sammensatte porøse medier. Hvilken som helst tids- oppløsning kan benyttes, og det kan simuleres strømming i to dimensjoner.

Det matematiske grenseverdi-problemet som formuleres, løses ved hjelp av "finite-element"-metoden. Det virkelige området tilnærmes med et "grid-nett". Viktige skiller i jordas fysiske egenskaper samt områder der det er ventet store fuktighetsgradienter, virker inn på konstruksjonen av nettet.

Forholdene langs grenseflatene på området må være gitt.

Den direkte utskrift av resultater som UNSAT2 produserer inneholder følgende:

- Alle inputdata ryddig satt opp, med tilhørende tekst.
- Trykket i hver node.
- Utstrømming gjennom det område som en node representerer.
- Vanninnhold i hver node.
- Tidsskrittet.
- Node med størst endring av trykk ved hver iterasjon.
- Kumulativ innstrømming til hele systemet.
- Alle de ovenfor nevnte data (unntatt inputdata) skrives ut for hvert tidsskritt.

UNSAT2's anvendelsesområder.

I dette avsnittet er det listet eksempler på anvendelsesområder for UNSAT2. Denne liste er ikke ment å være uttømmende.

- Simulering av vertikal, endimensjonal strøm i umettet sone.
- Todimensjonal strømming, både umettet- og grunnvannsstrøm.

- Strømning der veksters innvirkning kan tas med.
- Strømning gjennom en dam.
- Strømning mot rørbrønn.

Initialbetingelser.

På ethvert punkt i gridnettet må det på starttidspunktet oppgis initielt sugtrykk eller total trykkehøyde (hvis det er et punkt under grunnvannsspeilet).

På grunn av at UNSAT2 ikke kan ta hensyn til hysteresse-effekter, må retensjonsforløpet regnes entydig og initialverdiene gis entydig i enhver situasjon.

Grensebetingelser.

Det er to muligheter for grensebetingelser i UNSAT2. Enten trykket på grenseflaten eller flux-betingelse.

Hva trengs av input-data?

Nedenfor er det listet de data som trengs for å gjøre UNSAT2 til en modell av et aktuelt strømningsbilde.

- Gridnett med tilhørende koordinater/dimensjoner.
- Tidsutviklings-/tidsoppløsningsdata.
- Initial- og grensebetingelser.
- Mettet hydraulisk ledningsevne for hvert skikt i jordprofilet.
- Umettet hydraulisk ledningsevne ved ulike trykk/vanninnhold (leses inn i UNSAT2 som en tabell, en for hvert skikt)
- pF-kurve for hvert skikt i profilet (tabell).
- Porøsitet for hvert skikt.

3.4 Vannbalansemodeller.

De siste ti årene er vannbalansemodeller blitt viktige verktøy innen anvendt hydrologi. Aktuelle anvendelsesområder er:

- flomprognosering
- utvidelse av vannføringsserier
- flomberegninger
- konsekvensanalyser av endret arealbruk

Dette er modeller som omfatter hele nedbørfelt, og beregner seg fra nedbør til avløp gjennom fysikalske subsystemer der vannbalansen er ivaretatt, mens beskrivelsen av de dynamiske prosessene kan være nokså skjematisk. Modellene inneholder som regel parametre som er gjenstand for kalibrering ut fra observerte nedbør/avløp-forløp. Modellene varierer fra helt enkle "kar-modeller" med helt rudimentær systembeskrivelse til store integrerte modeller med detaljert arealbeskrivelse. Et eksempel på den siste typen er SHE, Systeme Hydrologique Europeenne, som har en utførlig markvannsbeskrivelse.

De fleste vannbalansemodeller har som primært mål å beskrive avløp best mulig, og det legges derfor ofte mindre vekt på å kontrollere at delprosessene, som markvannsutvikling, er korrekt modellert. Det er imidlertid klart at en modell som har ukorrekt delprosessbeskrivelse ikke kan forventes å fungere godt ut over sitt kalibreringsområde, og den kan heller ikke benyttes til beskrivelse av effekt av arealbrukendringer.

Som eksempel på en vannbalansemodell skal her gis en kort beskrivelse av HBV-modellen, som er den mest benyttete vannbalansemodellen i Skandinavia. Modellen er utviklet ved Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut (Bergström, 1976). og har vist seg godt egnet for norske forhold, (Wingård m.fl., 1978), og har hevdet seg godt i internasjonale modellsammenligninger (WMO, 1985).

3.4.1 HBV-modellen.

Modellen kan oppfattes som en avansert vannbalanseberegning, der vanntransporten mellom de forskjellige hydrologiske magasinene i modellstrukturen blir bestemt av vannvolumet i magasinene. Modellen har tre hovedkomponenter, som hver står for viktige hydrologiske elementer i nedslagsfeltet. Disse tre hovedkomponentene er (se figur 6):

Snø.

At nedbør holdes tilbake i nedslagsfeltet som snø er den faktoren som sterkest påvirker forløpet av avrenningen i norske vassdrag. Det er svært viktig at modellen beskriver den effekten godt. Ut fra nedbør- og temperaturobservasjoner holder modellen regnskap med snø-akkumulasjon og -smelting i fem til ti høydenivå i feltet. Modellen regner med en arealfordeling av snøen innen hvert høydenivå. Smelting beregnes ved en enkel graddagformel ut fra døgnmiddeltemperatur eller max- og min-temperatur. Under smelting holdes det tilbake smeltevann tilsvarende 8-10 % av snømagasinet før avrenning starter. Innen hver høydesone holder altså modellen regnskap med snømagasin, snøfordeling, snødekket areal, modningsgrad av snøen og avsmelting.

Markvannsonen.

Vannet i den øverste meteren eller så av jordsmonnet blir først og fremst utnyttet av vegetasjonen. Denne sonen uttørres i perioder med lite nedbør på grunn av fordampning og plantenes vannopptak, og fylles opp igjen i første del av nedbørperioder. Denne variasjonen er viktig hydrologisk fordi den bestemmer hvor sterkt feltet vil reagere på nedbør om sommeren og første del av høsten. Når markvannsonen er fylt, reagerer feltet raskt og sterkt på nedbør, og det reagerer da nokså likt på like nedbørtilfelle. Derimot kan nedbørsituasjoner som gir flom på oppfuktet felt såvidt gi tilsigsøkning på tørt felt.

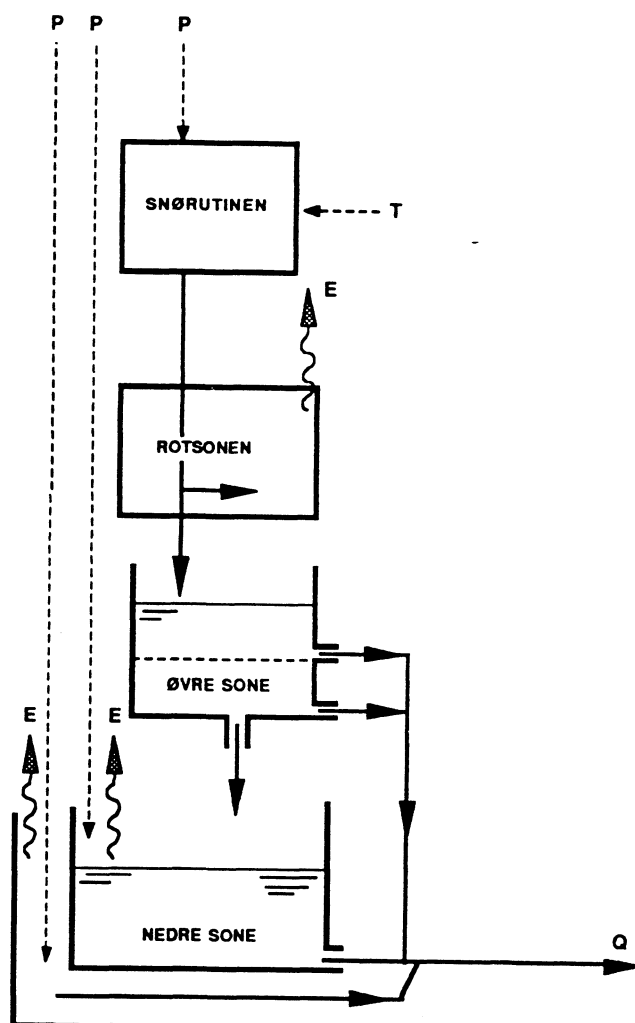
Modellen simulerer en markvannsone der regn på snøfritt areal og smeltevann delvis blir holdt tilbake. Er sonen nær tørr blir nesten all vanntilførsel holdt tilbake, er den helt oppfuktet går

alt vann videre. Vann fjernes fra markvannsonen ved fordampning, som varierer med årstid og vanninnhold i sonen. Variasjonsområdet for vanninnhold i sonen er typisk 50-150 mm nedbørhøyde.

Avrenningsdelen.

Det vannet som ikke er bundet i snømagasin eller markvannsone er i bevegelse i feltet. Før det opptrer som tilsig blir det imidlertid forsinket av opphold i grunnvannsmagasin, bekker, elveløp og innsjøer.

Modellen beskriver denne forsinkelsen som strømning gjennom sammenkoblede kar eller magasin der det er en enkel sammenheng mellom innhold og utstrømning. Tømmehastigheten varierer sterkt; det raskeste karet halverer gjerne sitt innhold i løpet av et døgn uten innstrømning, mens det langsomste, som tilsvarer grunnvann, kanskje halverer seg i løpet av et par måneder.



Figur 6. Hovedstruktur i HBV-modellen.

Strukturen av modellen er gitt, men modellen spesifiseres ytterligere av et titall parametre som varierer fra felt til felt. En del av disse parametrene kan bestemmes ut fra feltegenskaper som hypsografisk kurve, feltareal og sjøprosent. Andre parametre kjenner vi bare et variasjonsområde for, og selv om vi nok kan anta fornuftige verdier ut fra erfaring og kunnskap om feltet, er vi avhengig av en modellkalibrering for å gi en sikker fastsettelse. Særlig gjelder dette tømmekonstantene i avrenningsdelen. Modellkalibrering foretas ved at vi varierer parametre til vi får best mulig overenstemmelse mellom observert og modellberegnet (simulert) tilsig eller avløp, når vi lar modellen operere med samhørende historiske nedbør- og temperaturserier.

Markvannsalgoritmen.

Markvannsonen er i HBV-modellen beskrevet av tre parametre, FC (feltpkapasitet), LP (det fuktighetsnivå hvor aktuell fordampning settes lik den potensielle) og β , dessuten av en sesongavhengig potensiell fordampning, EP. Sonens vanninnhold SM varierer fra 0 til FC. Når sonen tilføres vann, (nedbør eller snøsmelting), holdes en andel gitt av

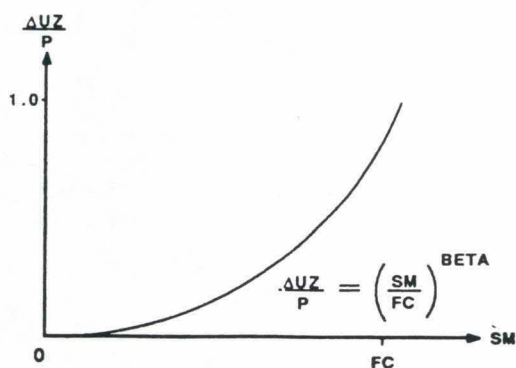
$$1.0 - (SM/FC)^{\beta}$$

tilbake, mens resten føres umiddelbart videre til avrenningsdelen. β varierer typisk fra 1.5 til 4. Voksende β betyr at vi nærmer oss en situasjon der markvannsonen kan oppfattes som et kar med et enkelt overløp, tilsvarende SNSF-modellen (jfr. Lundquist & Christophersen i (NHK, 1984)). Se figur 7. Ved ett vanninnhold i sonen på 50% av det maksimale føres ved en β -verdi på 1.0 50% av tilført vann videre, ved 2.0 25% videre og ved 3.0 12.5% videre.

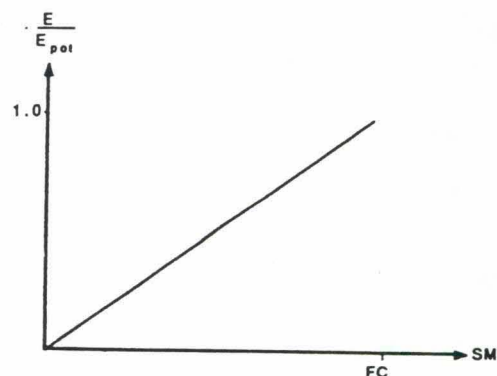
Vann fjernes fra sonen bare ved fordampning, som er lik EP når SM er større enn LP, og som er

$$EP \cdot SM/LP$$

når vanninnholdet er mindre enn LP. Se figur 8. Ved anvendelser i Norge har LP stort sett vært satt lik FC, slik at vi bare får to parametre utenom EP-verdiene.



Figur 7. HBV-modellen.
Forholdet mellom vanninnhold og videreført vann for markvannssonen.



Figur 8. HBV-modellen.
Forhold mellom vanninnhold i markvannssonen og aktuell fordampning.

3.4.2 Oppdatering av tilstandene i vannbalansemodeller.

Når en hydrologisk modell benyttes til prognosering, beregnes først tilstandene i modellen ved prognosetidspunktet ved at den simulerer seg fram på grunnlag av observert nedbør og temperatur. Har vi i tillegg observert avløp fra feltet, kan vi kontrollere hvordan modellen fungerer i øyeblikket. Er det stort avvik, kan vi justere opp tilstandene i avrenningsdelen i modellen slik at vi får bedre overensstemmelse mellom observert og simulert avløp. Slik korrigering kan foretas automatisk ved hjelp av flere teknikker. Ved norske anvendelser er benyttet Kalmanfilter, som er basert på stykkevis lineære inngang/ utgang-sammenhenger og estimerer av usikkerhet i data. Snømagasin og markvannsmagasin er imidlertid i store perioder passive, i den forstand at de ikke gir vann til avløp, og de kan derfor ikke korrigeres ut fra observasjoner av avløp med de foreliggende teknikkene. Vil vi kontrollere modellens tilstander for disse magasinene må dette derfor gjøres ved hjelp av målinger.

3.4.3 Vannbalansemodellens databehov.

Vannbalansemodellene har behov for nedbørdata som inngangsdata, og vassføringsdata for kalibrering eller kontroll av modellen. Dessuten kreves det i varierende grad andre klimadata for beregning av snøakkumulering, snøsmelting og fordampning. Av feltparametre trengs minimum feltareal og hypsografisk kurve (for snøberegning). Dersom modellen skal benyttes til konsekvensanalyser eller kunne "flyttes" fra felt til felt uten rekalkulering, er det behov for å knytte modellparametrene sterkt til feltparametre.

Av markvannsparemetre har vannbalansemodellene tradisjonelt bare benyttet seg av midlere feltverdier for feltkapasitet og visnegrense, og disse parametrene er ofte bestemt ved kalibrering. Men det er klart at det eksisterer et ytterligere behov for markvannsdata som

- kan lette tilpassing av modellen
- kan benyttes ved oppdatering av modellen
- kan benyttes til forbedring av modellstrukturen

Til det første punktet hører data om jordtype, mektighet og dekningsgrad som vi kunne relatere modellens parametre til, og som så ville forenkle tilpassing og overføring av modellen.

Det andre punktet gjelder data som kan innsamles i tilnærmet sann tid og som gir arealrepresentative verdier for markvannsinholdet, eller som kan gi bedre estimat av potensiell og/eller aktuell fordampning. Det er vanskelig å se at man med dagens måleteknikker kan skaffe sann-tid arealrepresentative markvannsdata uten store kostnader. Det er mulig at man kan benytte punktmålinger som indeks-verdier, slik at de kan benyttes til modell-oppdatering gjennom empiriske sammenhenger. På sikt er det mulig at bedre fjernmåleteknikker kan gi nyttbar informasjon om markvannstilstand og fordampning. For operasjonell bruk gjelder det at kostnadene med innsamling av ekstra data må stå i forhold til nytteverdien av de ekstra dataene i praktisk bruk.

Markvannstudier og særlig kunnskap om markvannets tidsvariasjon og dets kobling til grunnvannsvariasjonene vil i betydelig grad kunne bidra til signifikante modellforbedringer, ettersom markvannsonen er en nøkkel til variasjonene i dynamikk og respons i vannbalansemodellene. Dessuten er de fleste vannbalansemodellene nokså primitive når det gjelder beregning av aktuell fordampning. Her er det klart rom for forbedringer.

4. Om måling av markvann.

Det finnes nokså lite av internasjonale standarder om måling av markvann, sammenlignet med andre hydrologiske og klimatologiske parametre og variabler. WMOs "Guide to hydrological practices" (WMO, 1981) har et avsnitt under kapitlet "Instruments and methods of observations" om markvann, avsnitt 2.11. Her er beskrevet gravimetriske metoder (med utførlig beskrivelse av prøvetakere), elektriske motstands-blokker, bruk av tensiometre, nøytronmålinger, gammamålinger og fjernmålingsteknikker. Det siste nokså kortfattet og i dag foreldet.

Guiden legger særlig vekt på behovet for målinger i mange punkt innen et testområde pga markvannets store areal- og dybdevariabilitet.

I kapitlene "Design of networks" og "Collection, processing and publication of data" er guiden meget knapp når det gjelder markvann.

WMOs "Lecture notes for training of class IV agricultural personel", kap. 4 (Todorov, 1982) inneholder en gjennomgåelse av de forskjellige målemetodenes fordeler og ulemper.

WMOs Commission for instruments and methods of observations (CIMO) gir retningslinjer for automatiske og telemetrerende stasjoner for klimatologiske observasjoner. WMO-651 (WMO, 1985) inneholder m.a. anbefalinger for tidsoppløsning og observasjonsnøyaktig for automatstasjoner for nedbør, lufttemperatur, vind, luftfuktighet og fordampning.

I Canada har Department of Energy, Mines and Resources etablert forsøksfelt for studier av markvann, tele og grunnvann. Markvannsinstrumenteringen er i hovedsak basert på kombinasjon av elektriske motstand-blokker og nøytronmeter. Erfaringene, ikke minst fra målinger under vinterforhold, er av interesse for etablering av norske forsøksfelt (Freeze & Banner, 1970).

4.1 Kort omtale av forskjellige målemetoder for markvann.

Direkte eller gravimetrisk metode

Metoden ligger i navnet. Markvannsinholdet bestemmes direkte fra urørte jordprøver med kjent volum. [Vekt eller volum av det vann som avgis under opphetning av prøven angis i prosent av vekt eller volum av den tørre prøve. Av praktiske årsaker bestemmes som oftest vektprosenten. For å gjøre om fra vektprosent til volumprosent må man bestemme jordas volumvekt på prøvestedet (volumvekt: vekt i gram av 1 cm³ "urørt" jord). Dette utføres på samme jordprøven].

Indirekte metoder.

Med indirekte metoder forstås metoder hvor man måler en annen parameter enn markvannet for deretter å gjøre om de målte verdier til markvannsverdier. Måleinstrumentet må da kalibreres med hensyn til jordas vanninnhold. Den direkte metode brukes til å kalibrere de indirekte metoder.

Nøytron-metoden.

Måleinstrumentet har en radioaktiv kilde som sender ut nøytroner. Instrumentet føres ned i jorda gjennom et ytre fast montert rør. Nede i jorda vil de utstrålte nøytroner bli bremsset opp av hydrogenatomer i den omkringliggende jord. Mengden av nedbremsede nøytroner blir registrert av instrumentet, de er en funksjon av jordas vanninnhold. Ved hjelp av kalibreringen beregnes jordas vanninnhold.

Tensiometer.

I denne metoden måles jordas vann-potensial (eller tension), dvs. vannets binding til jorda. Sammenhengen mellom vann-potensial og vanninnhold finnes ved hjelp av kalibreringskurven, den såkalte pF-kurve. Skissemessig består instrumentet av en porøs leirkopp med rørforbindelse opp til et manometer. Hele systemet er fylt med vann.

Elektrisk resistans-blokker.

Disse er små plater av gips eller nylonvev som absorberer vann fra jorda like omkring. Platenes indre elektriske motstand varierer med vanninnholdet som igjen er en funksjon av jordas vanninnhold. Motstanden måles enkelt med et ohm-meter. Bortsett fra at metoden krever et nitid kalibreringsarbeid, er den enkel og meget anvendelig.

Varmedledning i keramiske følere.

I denne metoden relateres jordas vann-potensial til temperaturstigningen i en liten blokk av varmedledende materiale når en kjent elektrisk strøm sendes gjennom den. Kalibreringen skjer ved hjelp av pF-kurven.

4.2 Fordeler og ulemper ved de forskjellige metodene.

Følgende er en oppsummering av WMO-593, kap 4 (Todorov, 1982), samt kommentarer og opplysninger gitt av Hugh Riley vedrørende nøytronmeteret og varmedledningsmetoden i keramiske følere.

Generelt kan man si at de sider som er positive ved den direkte metoden (gravimetrisk metode) er negative ved de indirekte metoder, og vice versa.

Direkte metode.

Fordeler:

- ingen kalibrering
- relativt nøyaktig
- rimelig og bestandig utstyr
- ingen fast installasjon, målinger kan tas av jordbruksjord i drift.

Ulemper:

- tidskrevende
- arbeidskrevende
- dårlig egnet i steinet jord
- ikke egnet for repetitiv prøvetaking eller kontinuerlig registrering
- ikke egnet for fjernoverføring av observasjonsdata.

Indirekte metoder.

Fordeler ved de indirekte metoder sammenlignet med den direkte metode:

- mindre tidskrevende (når først kalibrert)
- mindre arbeidskrevende
- godt egnet for repetitiv prøvetaking og kontinuerlig registrering (kontinuerlig registrering gjelder ikke for nøytronmeteret)

Ulemper ved de indirekte metoder er generelt:

- Kalibrering er nødvendig, tar tid
- relativ stor usikkerhet i målingen p.g.a. stor spredning i kalibreringspunktene
- instrumentene har relativ kort levetid, de er kostbare og krever kyndig vedlikehold
- permanent installasjon, er derfor til hinder for jordbruksdrift noe som medfører dårlig representativitet for jord under kultur; ved tørke oppstår lett kontakt-svikt mellom jord og instrument noe som medfører usikkerhet i data
- utsatt for vandalisme

I tillegg til de generelle ulemper har hver metode sine egne minus-sider.

Nøytronmeter.

- krever særskilt kalibrering for det øvre jordlag på 20-25 cm
- kan ikke registrere skarpe skiller (overganger) i fuktigheten i jordprofilen (begrensning ca. 10 cm)
- krever ekstra oppmerksomhet under bruk på grunn av radioaktiviteten (personlig sikkerhet), særlig gjelder dette kombinerte instrumenter med gamma-stråle kilde

0,33 bar
 Mellom feltkapasitet og 85 cm til bar

Tensiometer.

- kan bare brukes ved relativt høyt fuktinnhold ~~0.85 bar~~ (ved eller like under feltkapasitet)
- tåler ikke frost/tele
- temperatur-påvirket
- hysteres-effekt
- forsinket respons (opptil 8-10 timer)
- keramisk beholder tiltrekker planterøtter i tørre perioder

Elektrisk resistans-blokker.

- høyt fuktinnhold, fra ~10 cm
- virker dårlig ved feltkapasitet og over
 - temperaturpåvirket
 - påvirket av saltinnholdet i jorda
 - hysteres-effekt
 - forsinket respons, opptil 12 timer

Varmeledning i keramiske følere

Dette er relativt nytt utstyr, som bør utprøves.

Fordeler:

- kan brukes over et stort spektrum av vannpotensial
- kalibreringen er upåvirket av saltinnhold, temperatur og jordstruktur
- kontinuerlige observasjoner, kan kobles til datalogger
- ikke påvirket av frost
- trenger lite vedlikehold

Ulemper:

- relativt kostbar
- metoden er kalibrert på vannpotensial slik at omregningen til vanninnhold er avhengig av pF-kurven og dermed også påvirket av hysteres-effekter

4.3 Automatstasjoner.

De fleste instrumentene for markvannsobservasjoner er tradisjonelt basert på manuelle observasjoner. Dette gir nødvendigvis grov tidsoppløsning, vanligvis minst et døgn. For vannbalansestudier er dette godt nok, men for å studere dynamikken i markvannsprosessene, og da særlig under oppfuktning, er det for grovt. Dessuten blir observatørtjeneste stadig dyrere. Det er derfor gode grunner for å basere instrumentering i størst mulig grad på logger- og telemetrisystemer.

De sensorene som egner seg best for slike systemer er elektriske motstands-blokker og trykceller-baserte tensiometer. Aanderaa har utviklet trykceller for dette formålet som har vært prøvd i Oslo-området (Steinar Myrabø) og India (Elin Langsholt).

I slike systemer må en sannsynligvis basere seg på manuelle målinger (gravimetrisk metode og nøytronmeter) for kalibrering og kontroll. X

De mest komplette automatstasjonene finnes i dag på Statens forsøksstasjoner for landbruk. SFL-stasjonene er først og fremst rettet mot mikroklimatologiske undersøkelser, og den eneste jordparameteren som blir registrert er jordtemperatur, men stasjonene kan ha opptil 256 parametre. De er levert av EDAS, og logger data lokalt, samt overfører dem til DNMI.

Hydrologisk avdeling har ca 30 telemetrerende stasjoner og 100 stasjoner med digitale loggere. Ingen av disse registrerer markvannsdata, men har ledig kapasitet for flere sensorer og datatyper, om ikke i samme grad som SFL-stasjonene.

5. Anbefalinger for stasjonsutrustning.

5.1 Minimumsutrustning.

✓ Tensiometre.

Det brukes konvensjonelle tensiometre (Soilmoisture e.l.) som settes ned i dyp 20, 40, 60, 80 og 100 cm dyp. Målingene kan kun foretas i frostfrie perioder. Det er sterkt ønskelig at det kan utføres automatisk registrering, ved at trykkmålere tilkobles automatiske loggere. Ett profil er et minimum.

I tillegg foretas målinger av arealvariabilitet en gang i måneden gjennom vekstsesongen med Quickdraw-tensiometer.

✓ Jordfuktighet.

Minst tre rør for nøytrontermålinger. Målingene gjennomføres manuelt fra 20 cm dyp ned til grunnvannsnivå, med avstand 20 cm mellom hver måling. Målingene foretas en gang hver uke i vekstsesongen og utover høsten når profilene dreneres, og minst en gang pr. måned i vinter-sesongen. Nøytronmetre bør være tilgjengelig ved hver stasjon, det vil være uhensiktsmessig at man må dele nøytronmetre mellom flere stasjoner. Troxler-nøytronmetre uten gamma-kilde brukes ved NLH og er et akseptabelt utstyr. Det ville være en fordel om man bruker samme utstyr ved alle stasjonene fordi det letter kalibreringen, men dette er ingen nødvendig forutsetning.

✓ Grunnvannsnivå.

Måles kontinuerlig med limnigraf som kobles til logger. Ett rør er tilstrekkelig for hver stasjon.

Klimadata.

Nødvendige klima-observasjoner må omfatte data til beskrivelse av nedbør og fordampning (klimatisk fordampningskapasitet). Med utgangspunkt i eventuell modellbruk kan dette resymeres som følger:

1. Nedbørmengde
2. Nedbørfordeling i tid
3. Snødyp, snødekke
4. Potensiell fordampning
(klimatisk fordampningskapasitet)
5. Parametre til beregning av pkt. 4
 - Temperatur
 - Fuktighet
 - Vind
 - Stråling evt. solskinnstid

Det er nødvendig at parametre under pkt. 5 observeres med en stor nok hyppighet (f.eks. på timebasis) til at variasjoner over et døgn kan beskrives, jfr pkt. 2.

✓ 5.2 Tilleggsmålinger.

✓ Teledybde.

Måles manuelt med konvensjonelle telemålere som brukes av Grunnvanns-kontoret idag. Måles manuelt en gang pr. måned.

uke

✓ Jordtemperatur.

Måles automatisk med bruk av termoelementer (kopper - konstantan) som tilkobles automatstasjonen. Målingene utføres hver time (eller oftere), men lagrer bare maksimum, minimum og middel for hvert døgn.

X Måledybde 10, 20, 50 og 100 cm. Minimum ett profil.

Snømålinger.

kan snødybde målinger

Det bør være en snøpute på hver stasjon med automatisk registrering.

Fordampning.

Måles med bruk av vanntank med overflate på 0.25 m² med vannspeilet i nivå med jordoverflata. Det er mulig å automatisere avlesningene fra disse fordampningsmålerne. en måler for hver stasjon.

Avløp.

For å beregne full vannbalanse og for kalibrering av vannbalanse-modeller med forbedret markvannsbeskrivelse er det nødvendig med avløpsregistreringer fra små, relativt homogene felt i tilknytning til markvannsstasjonene. Siden feltene bør være små, er det nødvendig med målinger med fin tidsoppløsning.

BAT-sonder.

Det er aktuelt å supplere enkelte stasjoner med BAT-sonder som settes ned i forskjellige dyp. Disse kan brukes til å ta ut vann i umettet sone, måle tensjon og beregne umettet hydraulisk konduktivitet.

✓ Elektrisk motstand.

Å måle vanninnholdet i jorda ved hjelp av motstandsblokker gir langt større mulighet for automatisk registrering. Det bør legges ned slike motstandsblokker i de samme dybdene som tensiometrene er satt ned. Nøytronmeter og tensiometer vil gi en god indikasjon på nøyaktigheten ved måling av vanninnholdet via elektrisk motstand. Hvis det er innganger nok på loggeren bør flest mulig av stasjonene utstyres med disse motstandsblokkene. Aktuelt emne for hovedoppgave.

5.3 Spesialmålinger.

Dielektriske målinger.

Måling av vanninnholdet i jord via måling av jordas elektriske kapasitans (dielektrisitetskonstanten) bør kunne inngå i måleprogrammet til en stasjon. Aktuelt emne for hovedoppgave som kan kombineres med å vurdere nyere målemetoder som bygger på elektromagnetiske bølger.



Prøvetaking av markvann.

Foruten BAT-sonder kan man ta ut vannprøver i umettet sone for kjemisk analyse ved hjelp av enkle og fast installerte keramikk-kopper (f.eks. fra Soilmoisture Corp.).

6. Oversikt over markvannsaktiviteter i Norge

For å lokalisere pågående undersøkelser og eksisterende markvannsdata ble det sendt rundt spørreskjema til læresteder og andre institusjoner som man visste har vært engasjert i markvannsprosjekter eller som man antok kunne være interessert i fagfeltet. Resultatet av undersøkelsene er oppsummert i tabellform i vedlegg 1.

7. Prioritert liste over felt.

7.1 Kriterier for valg av undersøkelsesfelt.

Feltet bør være representativt med hensyn til geografiske og klimatiske forhold, jordartens geohydrologiske egenskaper og jordsmonn slik at de innsamlede data kan transponeres til andre områder med tilsvarende eller lignende vilkår.

Andre bestemmende faktorer ved valg av undersøkelsesfeltets beliggenhet er tilgang på observatørtjeneste, allerede eksisterende felt hvor markvannsundersøkelser eller andre relevante undersøkelser pågår eller har pågått, områder som er belastet med nedfallsforurensning eller jordbruksområder med f.eks. nitrogen-lekkasje, samt lett adkomst. I tillegg kommer så de ressursmessige begrensninger som måtte spille inn, såsom økonomi og bemanning.

7.2 Jordundersøkelser på stedet.

Nødvendige jordundersøkelser for klassifisering og bestemmelse av jordarten og dens geohydrologiske egenskaper vil være (se "Retningslinjer for beskrivelse av jordprofil" av T. E. Sveistrup, 1984)

- Profilsted og området omkring med landskapsform, hellingsgrad, vegetasjon og bruksmåte;
- Jordart og eventuell sjikting i profilet, bestemmelse av tekstur (kornfordelingskurve og organisk fraksjon) og struktur (porøsitet og porestørrelsefordeling);
- pF-kurven(e);
- Geohydrologisk ledningsevne.

7.3 Forslag til undersøkelsesfelt, jfr. fig. 9, 10 og 11

- Hydrologisk avdelings tilsigsfelt: Grosetbekken, Skurdevikåi, Fura, Settalbekken, Aursunden;
- Hydrologisk avdelings urbanhydrologiske stasjonsnett, utvalgte felt;
- Stengelsen ved Alta;
- Felt tidligere opprettet og drevet av Internasjonale hydrologiske dekaner (IHD): Nordmoen (Romerike);
- Norges Landbrukshøgskole (Ås)
- Statens forskningsstasjoner i landbruk (SFL): Kise (Nes i Hedmark), Kvithamar (Stjørdalen i Trøndelag), Sørheim (Klepp i Rogaland), Vågønes (ved Bodø), Fureneset (Sunnfjord), Tjøtta (Helgeland), Løken (Volbu i Valdres), Landvik (ved Grimstad), Holt (ved Tromsø);
- Ved utvalgte grunnvannsstasjoner drevet av LGN;

En mulig prioriteringsrekkefølge kan være:

- Nordmoen,
- Grosetbekken tilsigsfelt,
- Kise forskningsstasjon,
- Ås
- Sørheim forskningsstasjon,
- Settalbekken tilsigsfelt.

Forøvrig foretas det undersøkelser og endelig vurdering av om forholdene er tjenelige ved de øvrige av de påtenkte stasjonsplasseringer før ytterligere utplasseringer foretas. Enkelte av de foreslåtte felt vil sannsynligvis falle ut.

Figur 9 gir en oversikt over Statens forskningsstasjoner i landbruket, og Hydrologisk avdelings tilsigsfelt (grunnvannsfelt).

Figur 10 viser hydrologisk avdelings urbanhydrologiske felt, og figur 11 avdelingens primærstasjoner for avløp.

STATENS FORSKNINGSSTASJONER I
 LANDBRUK, SYMBOL: ●
 GRUNNVANSKONTORETS TILSIGSFELT
 OG ANDRE, SYMBOL: ○

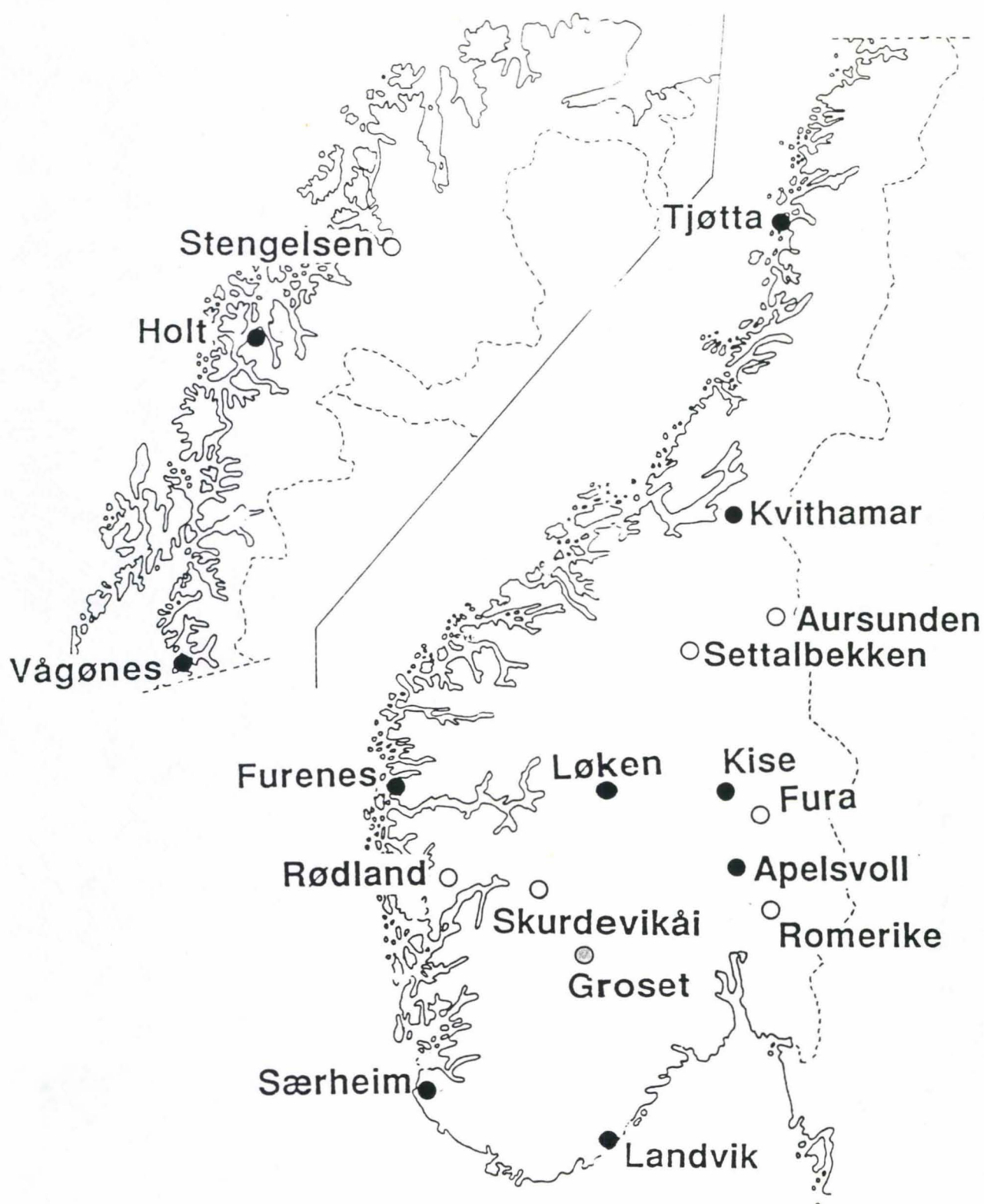


Fig. 9. Oversikt over Statens forskningsstasjoner i landbruk (SFL) og Hydrologisk avdelings (VHG) tilsigsfelt.

VH's URBANHYDROLOGISKE FELT

Kirkenes

Tromsø

Setermoen

Svolvær

Narvik

Fauske

Mosjøen

Steinkjer

Trondheim

Kristiansund

Bergen

Sandnes

Bryne

Kristiansand

Sandefjord

Hønefoss

Oslo

Ås

Moss

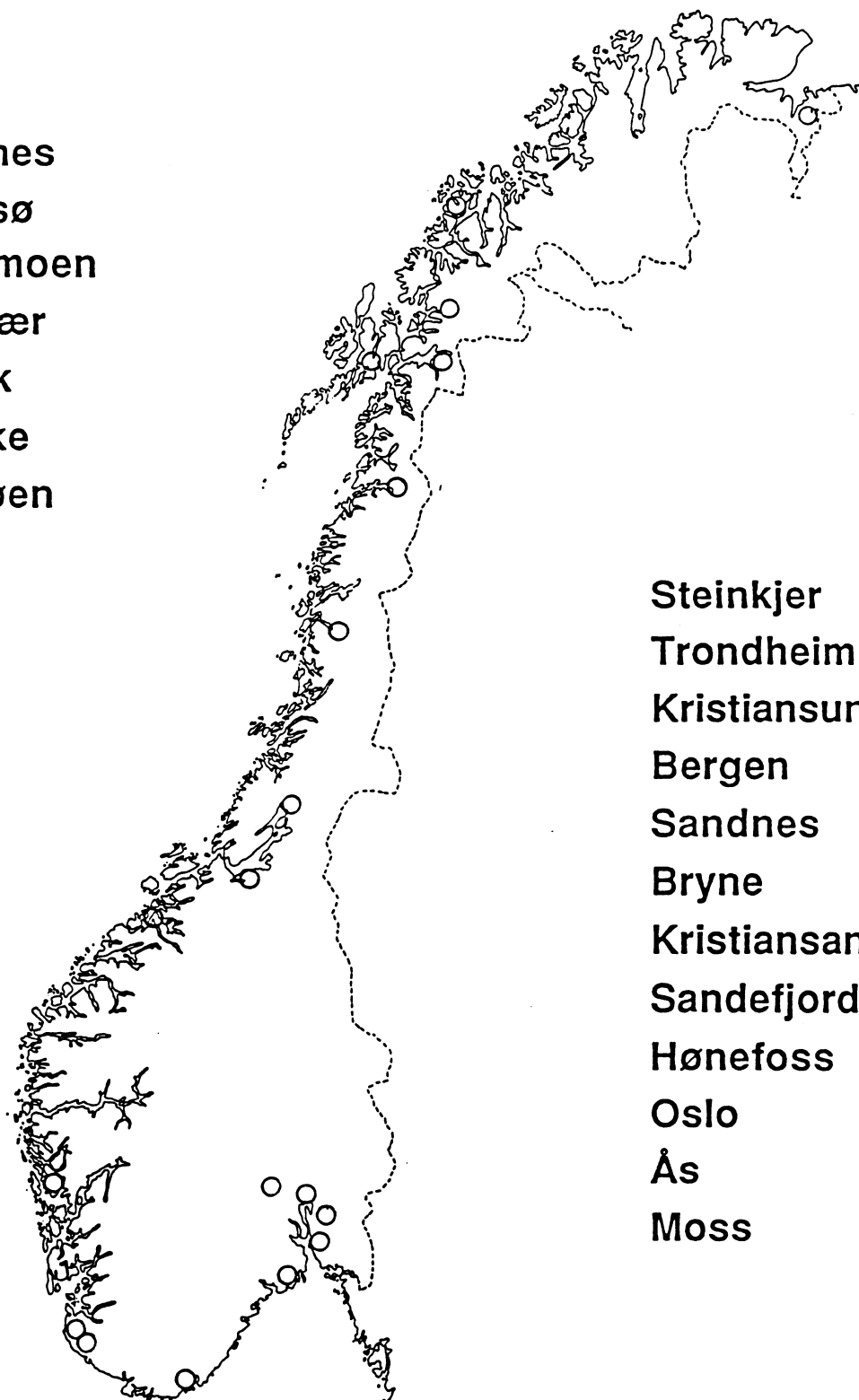


Fig. 10. Oversikt over Hydrologisk avdelings (VHO) urbanhydrologiske felt.

OVERSIKT OVER VH's PRIMÆRSTASJONER

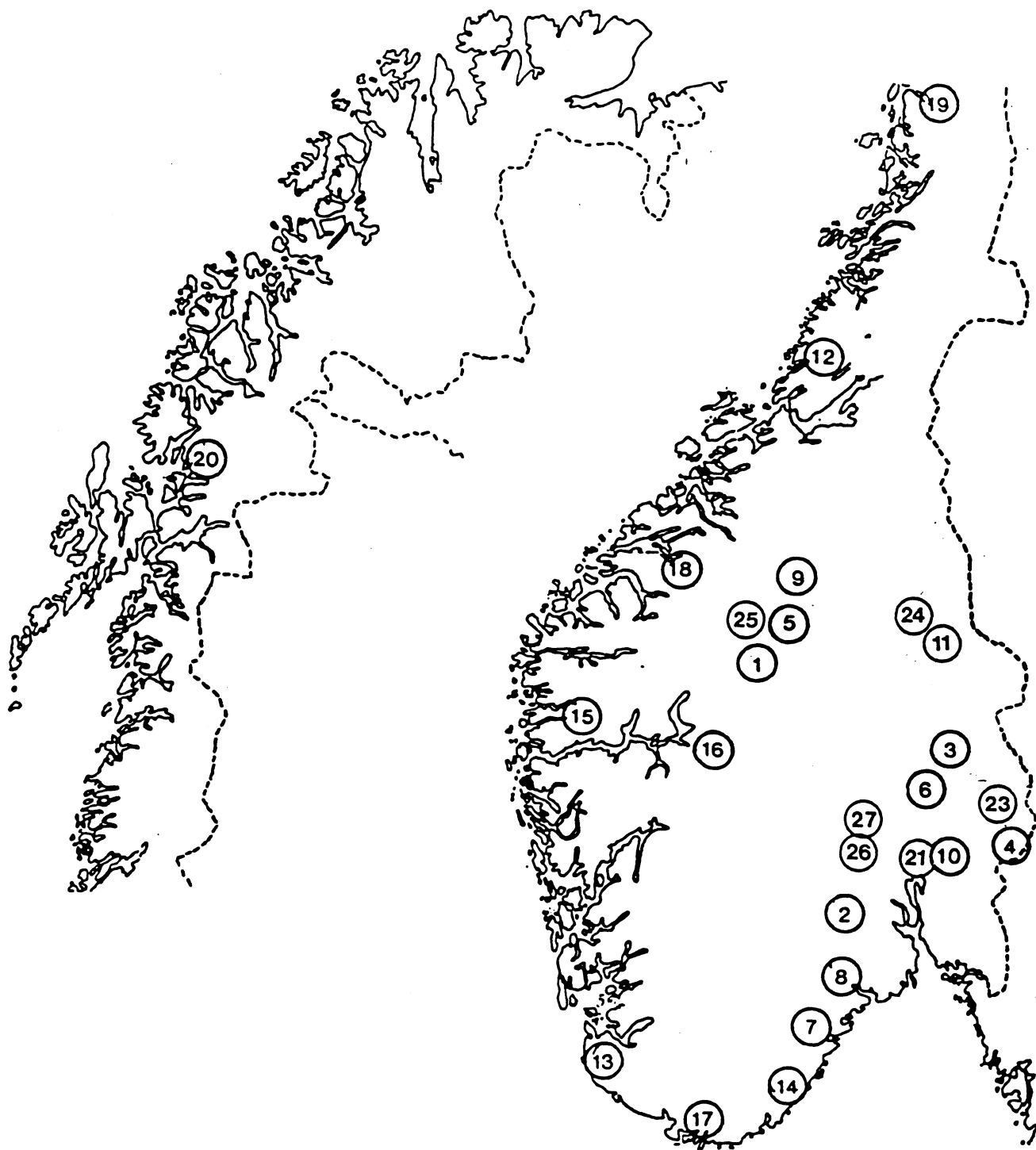


Fig. 11. Oversikt over Hydrologisk avdelings (VHO) primærstasjoner for avløp.

8. Datalagring.

En meget viktig side av et nasjonalt observasjonsnett for markvann er at det kobles til et nasjonalt dataarkiv, hvor både ny-innsamlete data og eksisterende data kan lagres og gjøres lett tilgjengelig for forskning og operativt bruk. Betydningen av dette er m.a. gjenspeilet i konklusjonen fra et møte om systematisering og lagring av markvannsdata, arrangert av NHK 23.8.1983 (NHK, 1984). Konklusjonen lyder:

"En konklusjon og sterk anbefaling fra møtet til bevilgende myndigheter er at støtte til opprettelse av de sentrale databaser må prioriteres høyere enn bevilgninger til enkeltstående prosjekter. Opprettelsen av databasene må være et overordnet mål."

Møtet anslo at det var behov for kr 500000 årlig i tre år for opprydding og systematisering av foreliggende data hos de innsamlende institusjonene før dataene kan overføres til sentrale databaser.

Det er verken regningsvarende eller hensiktsmessig å opprette frittstående arkiver for markvann. Siden markvannsdata naturlig knytter seg til hydrologiske data og klimadata, er de to mest aktuelle arkivene Hydrologisk avdelings dataarkiver og DNMI's Klimaavdelings arkiver. Det tredje tilknytningspunktet er til jord- og arealbrukkartlegging. Her er jordregisterinstituttet den sentrale instans. JRIs datasystemer er imidlertid først og fremst rettet mot lagring av jordparametre og kartframstilling, ikke til lagring av tidsserier (Grønlund, i NHK, 1984).

Vi forutsetter i det følgende at dataene legges til VHs arkiver.

8.1 VHs arkiver.

VHs arkiver er "on-line" databaser på størrelseorden 1Gb. De inneholder

- grunnvannsdata
- vannstandsdata
- vassføring
- tilsig
- vanntemperatur
- snødyp/vannekvivalent
- bredata
- urbanhydrologiske data
- fjorddata

Arkivene vil bli utvidet med

- markvann
- stofftransport i vassdrag
- FREN-databasen (utvalgte data fra nasjonale nett og representative forskningsfelt i Europa)

Dataene er lagret som tidsserier med fri tidsoppløsning, som døgnerverdier og som profiler. De oppdateres ved

- manuell registrering
- digitaliseringssystemer
- fra digitale loggere
- over telemetrisystemer

Systemene er åpne, og har i dag ca 40 brukere utenfor avdelingen. Det har ca hundre oppkoblinger pr dag fra interne brukere og tyve fra eksterne. Brukerene har adgang til ca 60 analyseprogram, inkludert statistiske analyser, grafiske presentasjoner og simuleringsystemer. Eksterne brukere med forretningsdrift betaler bruksavgift for adgang til arkivene.

8.2 Lagring av markvannsdata.

Markvannsdata vil lagres som tidsserier og profiler. De blir identifisert av en stasjons- og måleserieidentifikasjon, og merkes med datatype og måleenhet. De innlemmes i et felles stasjonsbibliotek som m.a. inneholder:

- VHs identifikasjon
- alternativ identifikasjon
- UTM-koordinater, kartbladnummer
- vassdragsnummer (ref. til Vassdragsregisteret)
- eier
- aksesskode
- instrument/sensortype

I tillegg opprettes det register med mulighet for lagring av feltparametere som jordparametre og vegetasjonstype.

8.3 Dataflyt

Som nevnt foreligger det allerede forskjellige innkjøringssystemer. De viktigste er:

Manuell registrering.

Avdelingen har egen registreringsseksjon for "manuelle" målinger og oppdatering av stasjonsinformasjon.

Digitalisering.

Grafer fra skrivende instrumenter digitaliseres og lagres i knekkpunktstruktur, dvs signifikante avvik fra lineær trend lagres. Systemene går i øyeblikket direkte mot NVEs hovedmaskin, men vil bli lagt om til lokal digitalisering og automatisk overføring av ferdigprossesserte og reduserte data på datalinje til arkivene.

Loggersystemer.

Det foreligger innlesningsrutiner for flere loggersystemer; det mest aktuelle for markvann er Aanderaas tape-systemer og digitale loggere (DSU - Data Storing Unit). I disse innkjøringssystemene ligger det primær kvalitetskontroll og datareduksjon.

Telemetrisystemer.

Hydrologisk avdeling har hatt operative telemetrisystemer siden 1979, først og fremst for vannstandsovervåkning i forbindelse med flomvarsling. Avdelingen baserer nå innsamlingen på EDC-protokollen (Environmental Data Collection). Firmaene EDAS, Scanmatic og EB Energi (tidl. Lehmkuhl Elektronikk) støtter denne standarden.

8.4 Eiendomsrett, adgang til data, standardisering.

VHs dataarkiver er i prinsippet åpne. Dataene merkes med eier, og gis aksesskode, slik at adgangen om nødvendig kan begrenses til bestemte brukere.

Data kan overføres til andre dataanlegg, og det er da viktig at man baserer seg på standardformater for datautveksling.

9. Konklusjoner, anbefalinger.

Det anbefales opprettet et nett av operative markvannsstasjoner, primært drevet av Hydrologisk avdeling, med støtte av Norges Landbrukshøgskole og Statens Forskningsstasjoner i Landbruk, og andre faginstitusjoner. Videre anbefales at det opprettes en åpen database for markvannsdata ved Hydrologisk avdeling. Dataene fra de operative stasjonene kompletteres med allerede innsamlete data.

Framdriften bør være:

- * Opprettelse av stasjonsnett: 1989 -
- * Opprettelse av database med presentasjons- og analysesystem: 1990
- * Kartlegging av eksisterende markvannsdata, og overføring av aktuelle datasett til markvannsbasen: 1990 - 1991

I 1989 opprettes de første markvannsstasjoner. Målinger startes på følgende steder i prioritert rekkefølge:

- Nordmoen,
- Grosetbekken tilsigsfelt,
- Kise forskningsstasjon,
- Ås
- Sørheim forskningsstasjon,
- Settalbekken tilsigsfelt.

Forøvrig foretas det undersøkelser og endelig vurdering av om forholdene er tjenlige ved resten av de påtenkte stasjonsplasseringer før ytterligere utplasseringer foretas.

Anbefalt stasjonsutrustning:

Elektriske resistans-blokker med innebygd temperaturføler brukes for måling av jordfukt og temperatur i dybdene 20, 40, 60, 80 og 100 cm. Minst ett profil. Målingene kan gå året rundt. Gir god mulighet for automatisk registrering og overføring av data.

Ved de stasjoner der det er mulighet for kontinuerlig manuell bemaning, suppleres resistans-blokkene med tensiometre i 20, 40, 60, 80 og 100 cm dyp. Gjennom vekstsesongen foretas her i tillegg målinger av arealvariabiliteten med quickdraw-tensiometer en gang i måneden. Målingene kan kun foretas i frostfrie perioder.

De to instrumenttypene supplerer til en viss grad hverandre. Man kan dessuten sammenligne instrumentenes yteevne og anvendelighet for der- ved å få et vurderingsgrunnlag for hvilken av de to typene det endelig bør satses på som standard ved stasjonene.

Minst tre rør for nøytronmålinger. Målingene gjennomføres manuelt fra 20 cm dyp ned til grunnvannsnivå, med avstand 20 cm mellom hver måling. Det er ønskelig at et nøytronmeter er tilgjengelig ved hver stasjon slik at målingene kan foretas en gang hver uke i vekstsesongen og ut- over høsten når profilene dreneres, og minst en gang pr. måned i vin- terperioden. Om hver stasjon skal utstyres med eget nøytronmeter, er hovedsakelig en vurdering m.h.t. tilgjengelige økonomiske ressurser.

Alternativt kan man med færre nøytronmetre legge opp til en regelmessig kontroll og kalibreringsprosedyre hvor de fast installerte markvannsfølere (resistans-blokker el. tensiometre) ved flere stasjoner kontrolleres mot et nøytronmeter med bestemte mellomrom.

Teledybden måles med konvensjonell telemåler, dvs. acrylplastrør fylt med indikatorvæske. En måler ved hver stasjon.

Grunnvannsnivået måles kontinuerlig med limnigraf tilkopleet logger. Minst ett observasjonsrør for hver stasjon.

Klima-observasjoner må omfatte data til beskrivelse av nedbør og fordampning (klimatisk fordampningskapasitet). Nødvendige målinger er nedbør, snødyp, snødekke, potensiell fordampning, temperatur, luftfuktighet, vind, stråling.

Finansiering:

Hydrologisk avdeling bekoster den nødvendig instrumentering. NLH og SFL yter egeninnsats som f.eks. laboratorietjeneste, stasjonstomt, observatørtjeneste og oppsyn med stasjoner på eget område.

HENVISNINGER.

- Baier W. 1968 Relationships between soil moisture, actual and potential evaporation.
in Proc. Hydrol Symp no 6 Soil moisture
pages 155-204
Queen's Printer, Ottawa
- Baier W.
Dyer J.A.
Sharp W.R. 1979 The versatile soil moisture budget.
Tech. Bull 87
Agromet. Section
Land Res. Res. Inst.
Res. Branch Agriculture
Ottawa
- Baier W.
Robertson G.W. 1966 A new versatile soil moisture budget.
Can. J. Plant Sci. 46: 299-315
- Baier W.
Robertson G.W. 1968 The performance of soil moisture estimates as compared with the direct use of climatological data for estimating crop yields.
Agric. Meteorol. 5: 17-31
- Bergstrøm, S. 1976 Development and application of a conceptual runoff model for Scandinavian catchments.
SMHI Reports no RHO 7
- Bringfelt B. 1980 A comparison of forest evapotranspiration determined by some independent methods.
SMHI Reports No RMK 24:1-40
- Bringfelt B. 1982 A forest evapotranspiration model using synoptic data
SMHI Reports No RMK 24:1-62
- Calder I.R 1979 "Do trees use more water than grass?"
Water Services, january 1979
- Calder I.R
Harding R.J.
Rosier P.T.W 1983 An objective assessment of soil-moisture deficit models.
J.Hydr. 60: 329-355
- Davis, L.A
Neuman, S.P. 1983 Documentation and User's Guide:
UNSAT2 - Variably Saturated Flow Model.
Final Report. Fort Collins, Colorado.
- Eagleson P.S. 1978 Climate, Soil and Vegetation

- Erpenbeck J.M. 1982 Irrigation scheduling
rap. no 127 Institutionen for markvetenskap
Uppsala 1982
- FAO 1984 Crop water requirements
FAO irrigation and drainage paper 24: 1-144
Roma
- Freeze, R.A.
Banner, J.A. 1970 An instrumented experimental site for the
investigation of soil moisture, frost, and
groundwater discharge.
Dept. of energy, mines and resources,
Inland water branch; Technical bull. 21.
- Holmes R.M.
Robertson G.W. 1959 A modulated soil moisture budget.
Mon. Weather Rev. 87: 101-106
- Grindley J. 1967 The estimation of soil moisture deficits.
Met. Mag. 96: 97-108
- Jensen M.E. 1972 Programming irrigations for greater efficiency.
In: Optimizing the soil physical environment
toward greater crop yields. D.Hillier (ed.)
pages 133-161
Academic Press, New York.
- Jensen M.E.
Robb D.C.
Franzoy C.E. 1970 Scheduling irrigations using climate-crop-soil
data.
Proc. ASCE, Irrig. Drain.Div. 96(IR1):25-38
- Jensen M.E.
Wright J.L.
Pratt B.J. 1971 Estimation soil moisture depletion from
climate, crop and soil data.
ASAE Trans. 14(5):954-959
- Johanson W. 1974 Metod for berekning av vatteninhåll och
vattenomsettning i odlad jord med ledning av
meteorologiske data
Grundforbettring 26(2-3):57-153
- Kristensen K.J. 1979 A comparison of some methods for estimation of
potential evaporation
Nordic Hydrol. 10: 239-250
- Kristensen K.J.
Jensen S.E. 1975 A model for estimating actual evapotranspira-
tion from potential evapotranspiration
Nordic Hydrol. 6: 170-188
- NHK 1983 Behov for utredning og forskning innen
fagfeltet markvann.

- Red. Sylvi Haldorsen NHK rapport 13
- NHK 1984 Aktiviteter på markvannssektoren i Norge.
Red. Tor Ziegler. NHK rapport 16
- Penman H.L. 1948 Natural evaporation from open water, bare soil
and grass.
Proc.Roy.Soc. London (A) 193: 120-145
- Penman H.L. 1949 The dependence of transpiration of weather and
and soil conditions.
J.Soil Sci. Oxford 1: 74-89
- Riley H. 1987 Bruk av klimadata til vurdering av vannings-
behov.
Seminar om forskning i dyrking og utnytting av
forvekster NLVF, SFL Otta 1987
- Robertson G.W 1983 Guidelines on crop-weather models (draft)
to be issued by WMO
Geneva
- Stewart J.B 1977 Evaporation from the wet canopy of a pine
forest.
Water Res. Res. 13:915-921
- Sveistrup T.E 1984 Retningslinjer for beskrivelse av jordprofil.
Jord og Myr nr. 2
- Thompson N.
Barrie I.A.
Ayles M. 1981 The Meteorological Office Rainfall and
Evaporation Calculation System MORECS.
Hydrological Memorandum no 45
Meteorological office 1981
- Thornthwaite C.W. 1948 An approach toward a rational classification
of climate.
Geogr. Rev. 38: 85-94
- Todorov, A.V. 1982 Lecture notes for traning of class IV
agricultural personell.
WMO-593.
- Wingård, B.
Sælthun, N.R.
Killingtveit, Å.
Aam, S 1978 Hydrologiske modeller for tilsigsprognoser
og kraftverkdrift. Rapport til Rådet for den
kraftverkhydrologiske tjenesten.
EFI-rapport: EFI-TR 2314.
Institutt for vassbygging, NTH: B 1-78-15.
- WMO 1981 Guide to hydrological practices.
WMO-168.
- WMO 1985 Commission for instruments and methods of

observations. Abridged final report of the
ninth session. Ottawa, 15-26 july 1985.
WMO-651.

WMO

- 1986 Summary analysis of the responses to WMO
questionnaire on crop-climate models.
WCP-90 (part II) WMO/TD-no. 137
WMO Geneva

Wright J.L.
Jensen M.E.

- 1972 Peak water requirements of crops in southern
Idaho.
ASCE, J.Irrig. Drain.Div. 98(IR2):193-201

Vedlegg

Oversikt over markvannsaktiviteter i Norge,
oppsummering av spørreundersøkelse.

INSTITUSJON/FELT	JORDFUKT				TENSION		ANDRE PARAMETRE								
	Nøytronmeter	BAT-sonde	Stålsylinder	Direkte	Tensiometer	0-tension lysim.	Vannkvalitet	Jordtemperatur	Teledybde	Snødybde	Klimatiske par.	Grunnvann	Grunnvannstemp	Fordampning	Pot. evapor.
GEFO															
- Loding/Hauger i Akershus							Ja		Ja		Ja				
- Ringsaker							Ja		Ja		Ja				
- Verdal							Ja		Ja	Ja *)	Ja				
- Hevikstadbekken/ Timebekken i Rogaland							Ja		Ja		Ja				

INSTITUSJON/FELT	JORDFUKT				TENSION		ANDRE PARAMETRE								
	Nøytronmeter	BAT-sonde	Stålsylinder	Direkte	Tensiometer	0-tension lysim.	Vannkvalitet	Jordtemperatur	Teledybde	Snødybde	Klimatiske par.	Grunnvann	Grunnvannstemp.	Fordampning	Pot. evapor.
NISK															
- Trøgstad						Ja *)	Ja	Ja			Ja	Ja			
- Nordmoen					Ja		Ja	Ja			Ja	Ja			
- Prestebakke					Ja **)		Ja				Ja ***)				
- Birkenes					Ja **)		Ja				Ja ***)				
- Naustdal					Ja **)		Ja				Ja ***)				
- Høylandet					Ja **)		Ja				Ja ***)				

INSTITUSJON/FELT	JORDFUKT				TENSION		ANDRE PARAMETRE								
	Nøytronmeter	BAT-sonde	Stålsylinder	Direkte	Tenslometer	0-tensjon lysim.	Vannkvalitet	Jordtemperatur	Teledybde	Snødybde	Klimatiske par.	Grunnvann	Grunnvannstemp.	Fordampning	Pot. evapor.
NLH, Inst. for hydroteknikk															
- Syverud (Ås)					Ja						Ja	Ja		Ja	pF-kurve
- Dysterud (Sør-Odal)					Ja						Ja (nedbør)	Ja			pF-kurve
- Åsskard (Møre og R.)					Ja						Ja (nedbør)	Ja			pF-kurve
- Nordberg (Skjåk)					Ja			Ja	Ja		Ja	Ja		Ja	pF-kurve
- Fortun (Luster)					Ja						Ja (nedbør)	Ja			pF-kurve
- Lærdal					Ja										pF-kurve

Forsøket tar sikte på å registrere det potensielle vannforbruk til ulike jordbruksvekster med tanke på prognosering av vatningsbehov.

INSTITUSJON/FELT	JORDFUKT				TENSION		ANDRE PARAMETRE								
	Nøytronmeter	BAT-sonde	Stålsylinder	Direkte	Tensiometer	0-tension lysim.	Vannkvalitet	Jordtemperatur	Teledybde	Snødybde	Klimatiske par.	Grunnvann	Grunnvannstemp.	Fordampning	Pot. evapor.
NLH, Inst. for jordfag															
- Haslemoen	Ja				Ja		Ja					Ja			
- Forsøksst., NLH	Ja				Ja			Ja			Ja (nedbør)			Ja	
- Ås	Ja				Ja		Ja	Ja			Ja				
												</			

pF-kurve
hysimeter

INSTITUSJON/FELT	JORDFUKT				TENSION		ANDRE PARAMETRE								
	Nøytronmeter	BAT-sonde	Stålsylinder	Direkte	Tensiometer	0-tension lysim.	Vannkvalitet	Jordtemperatur	Teledybde	Snødybde	Klimatiske par.	Grunnvann	Grunnvannstemp.	Fordampning	Pot. evapor.
NVE/NGU, Landsomfattende grunnvannsnett (LGN)															
55 felt/områder							34 *)		20 *)	20 *)		159 *)	34 *)		

*) Antall observasjonsrør

INSTITUSJON/FELT	JORDFUKT				TENSION		ANDRE PARAMETRE								
	Nøytronmeter	BAT-sonde	Stalsylinder	Direkte	Tensiometer	0-tension lysim.	Vannkvalitet	Jordtemperatur	Teledybde	Snødybde	Klimatiske par.	Grunnvann	Grunnvannstemp.	Fordampning	Pot. evapor.
Statens forskningsstasjoner for landbruk (SFL)															
- Apelsvoll								Ja	Ja	Ja	Ja	Ja			
- Fureneset							Ja	Ja			Ja				
- Holt					Ja			Ja	Ja	Ja	Ja				
- Kise	Ja				Ja			Ja			Ja				
- Kvithamar			Ja		Ja			Ja	Ja (?)		Ja				
- Landvik				Ja	Ja			Ja		Ja	Ja			Ja	
- Løken				Ja	Ja			Ja			Ja	Ja			
- Særheim								Ja			Ja			Ja	
- Tjøtta								Ja			Ja				
- Vågønes								Ja			Ja				

INSTITUSJON/FELT	JORDFUKT				TENSION		ANDRE PARAMETRE								
	Nøytronmeter	BAT-sonde	Stålsylinder	Direkte	Tensiometer	0-tension lysim.	Vannkvalitet	Jordtemperatur	Teledybde	Snødybde	Klimatiske par.	Grunnvann	Grunnvannstemp.	Fordampning	Pot. evapor.
SINTEF, Avd. for bergteknikk												Ja	Ja		

INSTITUSJON/FELT	JORDFUKT				TENSION		ANDRE PARAMETRE								
	Nøytronmeter	BAT-sonde	Stålsylinder	Direkte	Tensiometer	0-tension lysim.	Vannkvalitet	Jordtemperatur	Teledybde	Snødybde	Klimatiske par.	Grunnvann	Grunnvannstemp.	Fordampning	Pot. evapor.
TELEMARK DH, Bø															
- Eika	Ja *)								Ja		Ja	Ja			

*) Trøxler, modell 104/2651; en gang pr. måned, 3 observasjonspunkter.

[illegible]

INSTITUSJON/FELT	JORDFUKT				TENSION		ANDRE PARAMETRE								
	Nøytronmeter	BAT-sonde	Stålsylinder	Direkte	Tensiometer	0-tension lysim.	Vannkvalitet	Jordtemperatur	Teledybde	Snødybde	Klimatiske par.	Grunnvann	Grunnvannstemp.	Fordampning	Pot. evapor.
U i O, Inst. for geofysikk															
- Sæterbekken					Ja *)					Ja	Ja	Ja **)			

*) 8 manuelle og ett med datalogger. **) Logger
 Avløpet observeres hver time. Det er tatt jordprøver ved tensiometrene og grunnvannsrørene.