





# Vann i jord

Simulering av vann- og energibalansen på Kise markvannsstasjon, Hedmark

*Hervé Colleuille Lars Egil Haugen Trude Øverlie* 



8 2007 R P P Q

フ

# Vann i jord

# Simulering av vann- og energibalansen på Kise markvannsstasjon, Hedmark

Norges vassdrags- og energidirektorat 2007

### Rapport nr 8 - 2007

### Vann i jord

### Simulering av vann- og energibalansen på Kise markvannsstasjon, Hedmark

Utgitt av:	Norges vassdrags- og energidirektorat
Forfatter:	Hervé Colleuille, Lars Egil Haugen og Trude Øverlie
Trykk:	NVEs hustrykkeri
Opplag:	25
Forsidefoto:	Fra venstre til høyere (ovenfra): Gandhals telemåler med snøskala (Ås). Jordprofil på Karasjok. Markvannsstasjon Kise. Klima- og markvannsstasjon Kise. Tensiometer. Stasjon Skurdevikåi med snøpute. Infiltrasjonsmålinger på Groset. Overløp ved Grosettjern (Foto Hervé Colleuille)
ISBN:	978-82-410-638-8
Sammendrag:	Markvannsmodellen COUP er parametrisert og verifisert for markvannsstasjon Kise. Fra simuleringer av vann- og energibalanse for perioden 1988-2006 er det utarbeidet normaler og ekstremer av bl.a. grunnvannsstand, markvannsunderskudd, snø- og teleforhold. Resultatet skal i tillegg til å være et nyttig verktøy i forhold til analyse og prognose av hydrologiske situasjoner, gjennom EACC-prosjektet benyttes til å undersøke effekten av klimaendringer på fysiske forhold i jorda.
Emneord:	Grunnvann, markvann, snø, tele, jordtemperatur, vanninnhold, fordamping, markvannsmodell, COUP, klimaendring

Norges vassdrags- og energidirektorat Middelthunsgate 29 Postboks 5091 Majorstua 0301 OSLO

Telefon: 22 95 95 95 Telefaks: 22 95 90 00 Internett: www.nve.no

Mai 2007

# Innhold

Fo	rord5
Sa	mmendrag6
1	Innledning7
2	Stasjonsbeskrivelse9
3	Klima
4	Jord154.1Kornfordeling154.2.Jordas hydrauliske egenskaper16
5	Metode 19   5.1 Målinger ved Kise markvannsstasjon 19   5.1.1 Snø 19   5.1.2 Tele 19   5.1.3 Jordtemperatur 20   5.1.4 Matrikssug og vanninnhold 20   5.1.5 Grunnvann 21   5.2 COUP-modellen 22
6	Parametrisering246.1Laginndeling i modell246.2Vinterforhold256.2.1Snø- og teledybde266.3Jordtemperatur306.4Vannbalanse356.4.1Vannopptak366.4.2Matrikssug og vanninnhold396.4.1Grunnvannsstand og drenering45

7	Verifi	sering av modellen	.49
	7.1	Snø- og teledybde	. 50
	7.2	Grunnvannsstand	. 51
8	Norm	alverdier	.53
9. <b>F</b>	Conklu	ısjon	.58
Ref	ferans	er	.59
Veo	dlegg	1 Porevolum, jordtetthet og materialtetthet	.61
Veo	dlegg	2 Vannretensjonskurver	.62
Veo	dlegg	3 Parametrisering av snø- og teledyp	.65
Veo	dlegg	4 Parametersetting	.67
Veo	dlegg	5 Vannbalanse 1988-2006	.70

# Forord

Parametriseringen av markvannsmodeller har pågått siden 2003 i tilknytting til NFRs klimaprosjekt EACC "Ecology and economy of agriculture in a changing climate". Prosjektet ledes av professor Lars R. Bakken, Institutt for plante- og miljøvitenskap (IPM) ved Universitet for Miljø- og Biovitenskap (UMB). Formålet med prosjektet er å vurdere effekter av klimaendring på norsk landbruk. Et delprosjekt ledet av førsteamuniensis Lars Egil Haugen (IPM, UMB), har som mål å analysere virkningen av klimaendringene på de fysiske prosessene i jorda. Hydrologisk avdeling, NVE, inngikk i mars 2003 en samarbeidsavtale med IPM. NVE bidrar i prosjektet gjennom parametrisering av modeller for analyse av markvannsforhold. Dette er et nyttig verktøy også for NVE mht. analyse og prognose av ekstreme hydrologiske situasjoner (ras, tørke, kraftsituasjon). Arbeidet er også et ledd i verifiseringen av resultatene fra den distribuerte HBV-modellen (Beldring et al., 2003) og forbedring av modellrutiner tilknyttet beregninger av grunnvannsdannelse, fordamping og markvannsunderskudd.

Den fysisk-baserte modellen COUP er benyttet for simulering av vann- og energibalanse i den umettede sonen i jorda. Parametriseringen baserer seg på NVEs målinger i tilknytting til det nasjonale overvåkingsnettet for grunnvann og markvann. NVE disponerer pr. i dag parametersett for COUP-modeller for Værnes og Kvithamar (Nord-Trøndelag), Ås (Akershus) og Groset (Telemark). Resultater av simuleringene med disse modellene er presentert i flere publikasjoner (Haugen et al., 2004; Haugen og Colleuille, 2004; Beldring et al., 2005; Colleuille, 2006; Øverlie, 2006; Øverlie et al., 2006; Colleuille et al. 2006).

Denne rapporten er den andre av en serie som har til hensikt å dokumentere parametrisering og verifisering av COUP-modeller for ulike klima-, jord- og vegetasjonsforhold. Normalverdier for bl.a. snødybde, teledybde, fordamping, markvannsunderskudd og grunnvannsdannelse for perioden 1988-2006 er utarbeidet.

Rapporten er skrevet av senioringeniør Hervé Colleuille og avdelingsingeniør Trude Øverlie (Hydrologisk avdeling, NVE), sammen med førsteamanuensis Lars Egil Haugen (IPM, UMB). Arbeidet er finansiert gjennom NVEs interne FOU-midler og EACC prosjekt (UMB).

Oppbygging av modeller forutsetter pålitelige og gode observasjoner, og vi retter derfor en takk til alle som har bidratt indirekte i dette arbeidet med feltobservasjoner, drift av stasjonsnett, innlegging og kontroll av måledata. Vi vil også benytte denne anledningen til å takke forsker og professor Hugh Riley (Bioforsk Kise) som har klargjort for oss klimadata og teledypdata.

Oslo, mai 2007

Morten Johnsrud

seksjonssjef

# Sammendrag

Denne rapporten om simuleringer av vann og energibalanse i jord ved NVEs markvannsstasjon på Kise i Hedmark, er den andre av en serie som har til hensikt å dokumentere parametrisering og verifisering av COUP-modeller for ulike klima-, jordog vegetasjonsforhold. Arbeidet er i tilknytting til NFRs klimaprosjekt EACC "Ecology and economy of agriculture in a changing climate". Gjennom parametrisering av modeller representative for ulike områder, utvikles et verktøy for analyse og prognose av mark- og grunnvannstilstand. COUP-modellen for Kise markvannsstasjon vil gjennom EACC prosjektet (UMB) bli anvendt til simulering av markvannsforholdene ved fremtidige klimascenarier for å analysere eventuelle effekter av klimaendringer på fysiske prosesser i jorda. Normalverdier er utarbeidet på grunnlag av simuleringer for perioden 1988-2006.

COUP er en fysisk-basert modell for simulering av vann- og energibalanse i markvannsonen i jorda. Ved valg av modell var en god rutine for simulering av vinterforhold med snø og tele avgjørende. Snødekket er avgjørende for jordoverflatens temperatur og teledybden i jorda om vinteren. Telen spiller en viktig rolle for infiltrasjon av snøsmelting og regn og dermed grunnvannsfornyelse og fuktighetsforhold i jorda.

Markvannsstasjonen ble opprettet i juli 1991 og det er utført målinger av snø, tele, jordtemperatur, grunnvannsstand, matrikspotensial med tensiometer og motstandsblokker, og vanninnhold med nøytronmeter. Det er benyttet klimadata fra den meteorologiske stasjonen på Kise ved simuleringene (tilgjengelig data: 1988-2007).

Simuleringene viser bra overensstemmelse med målingene av både snødyp og teledyp registrert på markvannsstasjonen i parametriseringsperioden ( $R^2$  = henholdsvis 0,82 og 0,88). Resultatet var litt dårligere for teledyp i verifiseringsperioden ( $R^2$  = 0,50). I parametriseringsperioden ble det også funnet en god sammenheng mellom simulert og målt jordtemperatur i ulike dybder ( $R^2$  > 0,94), med 50 % eller mer av avviket innenfor ±1 °C. For begge periodene ble det funnet en god sammenheng mellom målt og simulert grunnvannsstand ( $R^2$ =0,71 (1993-2000) og  $R^2$ =0,53 (2000-2007)).

Det er også en relativ god sammenheng mellom endringen over tid for simulert og observert matrikssug og vanninnhold i jorda. Det er imidlertid en del forskjell for absolutte verdier som skyldes målebegrensninger (tensiometer), dårlig kalibrering og stor heterogenitet i jorda på Kise. Simuleringsresultatene for parametriserings- og verifiserings-perioden viser såpass bra overensstemmelse med måledata at COUPmodellen er et tilfredsstillende verktøy for vurdering av markvannstilstanden på Kise markvannsstasjon.

Totalt i dette arbeidet er det simulert daglige verdier for variable som beskriver markvanns- og grunnvannssituasjonen for perioden 04.1988 til 03.2007. Det er utarbeidet statistikk som beskriver både normaltilstand og variasjonsbredde for bl.a. grunnvannsnivå, jordas lagerkapasitet for vann, fordampning, jordtemperatur, snø og teledybde over en periode på 18 år. Modell-simuleringer skal også kunne foretas månedlig eller ved behov for å gi en oversikt over markvannstilstanden på Kise området. Ved å arbeide frem parametersett for flere representative områder i Norge, vil NVE få et bedre grunnlag for å analysere og følge opp ekstreme hydrologiske situasjoner i Norge.

# 1 Innledning

Arbeidet med parametrisering av den svenske vann- og energibalanse modellen COUP for ulike jordarter og regioner i Norge har pågått siden 2003 i tilknytning til NFRs klimaprosjekt EACC<sup>1</sup>: "Ecology and economy of agriculture in a changing climate". Prosjektet ledes av professor Lars R. Bakken, Institutt for plante- og miljøvitenskap ved Universitet for Miljø- og Biovitenskap (UMB). Formålet med prosjektet er å vurdere hvilken effekt klimaendringene kan ha for norsk landbruk. Analyseverktøyet er simuleringsmodeller tilknyttet fysiske og mikrobielle prosesser i jord, erosjon og plantevekst. En av forskergruppene i EACC, ledet av førsteamanuensis Lars Egil Haugen (IPM/UMB), har som mål å analysere virkningen av klimaendringene på de fysiske prosessene i jorda. I Norge vil klimaendringene ha størst innvirkning om vinteren. Prosjektet setter derfor fokus på endringene i vinterforhold.

Nasjonalt observasjonsnett for markvann er et samarbeid mellom flere institusjoner i Norge. NVE, Hydrologisk avdeling, er hovedansvarlig for oppbyggingen og driften av markvannsstasjonene og samler i dag inn markvannsdata (grunnvannsstand, teledybde, snødybde, jordtemperatur og matrikspotensial) fra 15 stasjoner i Norge. Norges geologiske undersøkelse (NGU), Bioforsk (tidligere Planteforsk), Universitet for Miljøog Biovitenskap (UMB) og regulanter (ØTB, GBL, NLB og Statkraft) er hovedsamarbeidspartnere. Stasjonene er lokalisert i representative områder som dekker flest mulig aspekter av norsk geografi, klima og jord. Stasjonene er spredt over hele landet fra Svanhovd (Finnmark) i nord til Særheim (Rogaland) i syd. Undersøkelsene i markvannsnettet fokuserer på den øvre delen av den umettede sonen i jord (ned til 1,5 m dybde). En nærmere beskrivelse av måleutstyr, måleprosedyrer, og kalibreringer finnes i Colleuille og Gillebo (2002)

Jordas vannbalanse og tele i jord er av stor betydning for landbruk, skogbruk, vannforsyning og også for fylling av kraftmagasiner. Arbeidet har derfor også en klar interesse for Norges vassdrags- og energidirektorat. Hydrologisk avdeling, NVE, er i ferd med å utvikle et operativt system for automatisk oppdatering og prognose av status for grunnvann og markvann. Oppdateringen baseres på en kombinasjon av daglige observasjoner og modellsimuleringer. Sammen med det eksisterende prognose- og overvåkingssystemet for vannføring, vil NVE da bli i bedre stand til å prognosere, varsle, følge opp ekstreme situasjoner som tørke, flom, ras. Arbeidet gir også et bedre grunnlag for formidling av informasjon (seNorge.no, NVEs Hydrologisk månedsoversikt) og analyse av kraftsituasjon.

Et system for fremstilling av grunnvannsstatus basert på simuleringen med den distribuerte HBV-modellen og punktobservasjoner er operativt og allerede tatt i brukt i forbindelse med analyse av tørke- og kraftsituasjon 2006. Parametrisering av COUPmodellen for flere markvannsstasjoner vil også muliggjøre presentasjonen av et landsdekkende kart som viser simuleringer fra den distribuert HBV-modellen inkludert enkeltpunkter med mer detaljerte simuleringer av vann og temperaturforholdene i jord (COUP). Hensikten er at en gjennom modelleringsverktøyet kan få et riktigere bilde av markvannstilstanden her i landet. Vi har tidligere sett at simuleringsresultater fra COUP-modellen gir et mer realistisk bilde av statusen for markvann enn HBV.

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Faktaopplysninger om EACC finnes på http://www.umb.no/?viewID=4447

Fordampningen simulert med HBV er f. eks. overestimert om høsten og markvannsunderskuddet kan være kraftig underestimert i fjellområdet om vinteren (Beldring et al., 2005; Colleuille et al., 2006).

Hovedformålet med prosjektet er å undersøke hva klimaendringer kan bety for vann- og energibalansen i jorda. Modellen kan brukes som hjelpemiddel for å øke forståelsen av fysiske prosesser i jorda som infiltrasjon av vann, grunnvannsdannelse, vannforbruk, frostdannelse etc. Modellsimuleringene vil gi en bedre oversikt over normalforhold og ekstremer for grunn- og markvann. De første markvannsstasjonene ble opprettet på begynnelsen av 90-tallet, men ble først automatisert i 1999-2000, d.v.s. at vi disponerer maksimalt 6 år med daglige måledata. Modellen gir oss muligheten til informasjon også utover denne perioden.

Denne rapporten er den andre av en serie av rapporter (se Øverlie et al., 2006) som har til hensikt å dokumentere parametersettingen av COUP-modellen for ulike klima-, jordog vegetasjonsforhold. Første del av rapporten gir en kort beskrivelse av markvannsstasjonen Kise med beliggenheten, jordtype, målinger og klimaforhold. Deretter følger en beskrivelse av parametersettet som er valgt for Kise-modellen. Modellen er kalibrert for perioden 04.1993-04.2000 med data innsamlet fra markvannsstasjon Kise. Resultatene er presentert og drøftet for vinterforhold (snø, tele), jordtemperatur og vannbalanse med vannopptak, fuktighetsforhold i jorda og grunnvannsstand. Modellen er deretter testet mot observasjoner i perioden 06.2000-02.2007. Til slutt presenteres normalverdier og ekstremverdier for perioden 1988-2006.

# 2 Stasjonsbeskrivelse

Stasjonen ligger ved Bioforsk Kise som er en avdeling av Apelsvoll forskningssenter. Kise ligger ved Mjøsa i Ringsaker kommune, Hedmark (figur 2-1). Ringsaker er landets største jordbrukskommune, og er en del av de store jordbruksområdene på Østlandet. Området er registrert av NIJOS som fulldyrka, mindre lettbrukt (figur 2-2). Kise ligger 130 m.o.h. Kise har vært forsøksgård siden 1949, da den ble etablert for å drive forsøk innen frukt og bær. Fra 1970 og utover har arbeidsområdet blitt utvidet til å omfatte grønnsaker, urter, jordforskning og næringsutvikling i landbruket.

Stasjonen ligger i et område med tykt morenedekke med et brunjordslignende jordsmonn med relativt høyt innhold av organisk materiale i matjordlaget. Jordarten i område er lettleire til siltig sand (tabell 1). Vegetasjonen på stasjonen er ugjødslet plen som klippes flere ganger i løpet av sommeren.

	1
Stasjonsnavn	Kise
Stasjonsnr. (Hydra II)	2.727.0
Opprettet	06.1990
Automatisert	02.1999
Vassdragsnavn	Glommavassdraget/Mjøsa
Regine/vassdragsnr.	002.DC75
Høyde	127 m o. h.
Kommune	Ringsaker
Fylke	Hedmark
Jordarter/avsetning	Lettleire/siltig sand (morene)

### Tabell 1. Informasjon om markvannsstasjon Kise.



Figur 2-1: Oversiktkart som viser beliggenheten til markvannsstasjonene Kise (ca. 200 m fra Mjøsa). Kart: Arealis portalen.



Figur 2-2: Bonitetskart som viser beliggenheten til Kise stasjon (Kise forsøksgård). Kilde: Arealis/NIJOS

# 3 Klima

Kise har en automatisk værstasjon som er tilknyttet met.no og tidligere NORPREs varslingssystem (nå LMT). Landbruksmeteorologisk tjeneste (LMT) er et prosjekt i regi av Bioforsk Plantehelse. I dette arbeidet er det brukt tilgjengelige klimadataene fra denne stasjonen for perioden 01.01.1988 til 07.03.2007. Dataene er klargjort av forsker Hugh Riley ved Bioforsk Kise.

Kise har typisk innlandsklima, med en årsnedbør på 585 mm og en gjennomsnittlig lufttemperatur på 3,6 °C i normalperioden 1961-1990 (kilde: met.no). Gjennomsnittstemperaturen i perioden mai-september er 12,2 °C, og gjennomsnittlig våronnstart er i slutten av april.

	Lufttemperatur °C	Relativ fuktighet %	Vind m/s	Nedbør mm	Globalstråling MJ/m <sup>2</sup>
Min	2,9	71	1,1	440	2699,2
Maks	6,5	80	1,4	821	3308,3
Gjen.	5,1	75	1,3	593	3132,6

Tabell 3.1. Gjennomsnittlig, lavest og høyest årsmiddel av lufttemperatur, relativ fuktighet, vind, årsnedbør og sum av årlig globalstråling for perioden 1988-2006.

## 3.1 Temperatur og nedbør

Månedsnormal for lufttemperatur og nedbør for denne perioden på 18 år (1988-2006) er vist i figur 3-1 sammen med normal data. Figur 3-2 viser månedssum nedbør i perioden 1988-2006 og normalperioden 1961-1990. Standardavvik for månedsverdiene er inntegnet i figuren.

Årsmiddel av lufttemperatur er 5,0 °C og midlere årsnedbør er 593 mm for perioden 1988-2006. I denne perioden er lufttemperatur 1,4 °C høyere enn i normalperioden 1961-1990 mens nedbørsmengder er lik. Den kaldeste årsmiddeltemperaturen i perioden 1988-2006 var 2,9 °C (1996) og den varmeste 6,5 °C (1997) (tabell 3.1).



Figur 3-1: Månedsmiddel lufttemperatur i perioden 1988-2006 og normal perioden 1961-1990. Standardavvik for månedsverdiene i perioden 1988-2006 er inntegnet i figuren.



Figur 3-2: Månedssum nedbør i perioden 1988-2006 og normalperioden 1961-1990. Standardavvik for månedsverdiene i perioden 1988-2006 er inntegnet i figuren.

Det tørreste året har en årsnedbør på 440 mm (1995) og det fuktigste 821 mm (2000) (tabell 3.1). De mest nedbørrike månedene er juni-august. Nedbørsdata anvendt i dette arbeidet er manuelle målinger. Automatiske målinger med Geonor er ofte lavere enn de manuelle målingene, ukjent av hvilken grunn, og det kan være enkelte feil med dem, forårsaket av forstyrrelser ved tordenvær etc.. (kom. Pers. H. Riley, Bioforsk).

## 3.2 Frost og snø

Tabell 3.2. Antall dager hvor døgnmiddel lufttemperatur (Tp) < 0°C,
frostsum og antall ganger Tp går fra >0°C til <0 °C (fryse/tine-episoder) i
vinterhalvåret 1/10-30/4, for årene 1988- 2007.

		Frostsum	
	Antall dager Tp<0	$\sum (T_p < 0^{\circ}C)$	Antall fryse / tine- episoder
01.1988-1988	66	-201	22
1988-1989	33	-76	26
1989-1990	37	-131	21
1990-1991	66	-433	13
1991-1992	52	-201	23
1992-1993	56	-228	25
1993-1994	76	-777	9
1994-1995	58	-287	27
1995-1996	90	-843	11
1996-1997	53	-340	11
1997-1998	61	-279	23
1998-1999	63	-414	17
1999-2000	55	-227	31
2000-2001	73	-559	15
2001-2002	62	-369	19
2002-2003	67	-585	17
2003-2004	73	-444	13
2004-2005	58	-213	20
2005-2006	80	-527	19
2006-03.2007	49	-281	12
Middel	61	-371	19
Std.avvik	14	205	6
Min	33	-843	9
Max	90	-76	31

Frost er her definert som når døgnmiddel av lufttemperaturen er mindre enn 0 °C og frostsum er døgnmiddeltemperaturer lavere enn 0 °C summert gjennom vinteren (1/10-30/4). Antall dager med frost i vinterperioden og frostsum er i middel for de 18 vintrene i perioden 1988-2006 henholdsvis 62 dager og -385 døgngrader (tabell 3.2). Største antall fryse-/tineepisoder registrert er 27 (vinteren 1994-95) og laveste er 9 (vinteren 1993-94). Halvparten av vintrene har mer enn 18 fryse-/tineepisoder.

For vintrene i perioden 1988-06 er antall dager med snødybde > 5 cm i middel lik 87 dager varierende fra 16 (1989/90) til 151 dager (1993/94). Årlig maksimum snødybde varierer fra 23 cm (1991/92) til 67 cm (1993/94) med en middelverdi på 39 cm.

Figur 3-3 viser observert snødybde presentert som persentiler for perioden 1988-2006. Kurven for 75 prosent persentilen viser at for 75 % av årene er snødybden lavere enn kurven mens 25 % av årene har større snødybde.

Mediankurven for snødybden (50 % persentil) viser at 21/11 er den første dagen med snødekke og at snøen er smeltet 07/4.



Figur 3-3: Observert snødybde presentert som persentiler for perioden 1988-2006.

# 4 Jord

Løsmassene på området ved Kise markvannsstasjon består av tykk morene (kvartærgeologisk kart, NGU). Observasjoner på området viser tydelig heterogene forhold der jorda hovedsakelig grusholdig grovsand med linser og sjikt med leire.

En jordprofilbeskrivelse utført på markvannsstassjon av H. Riley (1993) er vist i tabell 4-1. Sjiktgrensene er tydelige.

Tabell 4-1: Beskrivelse av et jordprofil ved markvannsstasjon Kise	э (Н.
Riley, 1993)	

Sjikt	Dyp, cm	Jordart og innhold av organisk materiale
Ap	0-30	Moldrik, grusholdig lettleire
AB	30-45	Moldholdig, grusrik grovsand
Bwg	45-60	Moldholdig, grusrik grovsand
BCg	>60	Moldfattig finsand/lettleire

## 4.1 Kornfordeling

I forbindelse med nedsetting av nøytronmeterrør ved markvannsstasjonen (1990) ble det utført kornfordelingsanalyse. Rørene ble plassert bare få meter fra lokaliteten av profilet beskrevet i tabell 4-1. Kornfordelingen er vist i figur 4-1 sammen med porevolum beregnet fra gammametermålinger og materialtetthet. Analysen viser sjikt av grovsand og lettleire med grusinnhold varierende fra 30-45 vektprosent.

Figur 4-1 viser at det er store variasjoner i beregnet porøsitet under 1 m dyp fra 10 til 45 %. Dette skyldes sannsynligvis forekomster av lokale linser med leiraktig jord (se også vedlegg 1). Jordvariasjonen innenfor et kort området ved markvannsstasjon er meget stor i følge beskrivelse av H. Riley, noe som også er bekreftet av variasjoner i vanninnhold mellom de to nøytronmeterrørene ved stasjonen.



Figur 4-1: Kornfordelingsanalyser for prøver tatt ut i forbindelse med nedsetting av nøytronmeterrør ved markvannsstasjonen (15.06.90 ser. 3) og porevolum beregnet ut fra gammametermålinger og materialtetthet (kilde NVE).

### 4.2. Jordas hydrauliske egenskaper

#### Vannretensjonsanalyse

Vannretensjons- eller pF-analyse er en metode for å måle porestørrelsesfordeling eller vannets bindingsenergi i jorda på laboratorium. Kurver som viser sammenhengen mellom jordas matrikspotensial og jordas volumetriske vanninnhold kalles pF-kurver, jordas fuktighetskarakteristikk eller vannretensjonskurver. pF er definert som logaritmen med grunntall 10 til tallverdien av matrikssuget gitt som cm  $H_2O$ . Sammenhengen mellom ulike enheter for jordas matrikssug er vist i tabell 4-2. Videre i denne rapporten betegnes matrikssuget som sug i cm  $H_2O$ .

Tabell 4-2: Sammenhengen mellom ulike enheter for jordas matrikss	ug
samt beregnet poreradius.	

	bar	cbar = kPa	$cm H_2O$	pF	Porediameter
					(μ)
Visnegrense	15	1500	15000	4,2	0,2
	3	300	3100	3,5	1
	1	100	1020	3	3
Feltkapasitet	0,1	10	102	2	30
	0,01	1	10.2	1	300
Vannmetning	0	0	0	-	-

Vannretensjonsanalyse for ulike dyp ved markvannsstasjonen (utført ved Planteforsk, 1995) er gitt i tabell 4.3. (se også figur 4.2. og vedlegg 2).

Lag	Dybde							Tørr jordtetthet	Organisk materiale
	(cm)	Vol %	vann	ved uli	ke sug	(cm I	H <sub>2</sub> 0)		(glødetap)
		0	20	102	1020	3000	15000	Mg/m <sup>3</sup>	%
1	5	48	29.3	24.1	18	15.2	6.7	1.31	5.54
2	15	44.4	25.1	20.2	15.8	13.8	6.4	1.457	4.28
3	25	43.9	23.3	19.3	15	12.8	5.3	1.45	3.76
4	45	32.8	9.3	7.9	6.1	5.4	1.6	1.472	2.4
5	60	38.7	14.4	12.6	9.9	8.6	3.3	1.455	2.47
6	75	34.9	25.8	24.8	21.3	18.6	8.3	1.783	1.59
7	90	34.5	29.2	28.9	25	22	11.6	1.83	1.13

Tabell 4-3: Retensjonsdata som vol % vann og sug i cm  $H_2O$  for de ulike sjiktene samt materialtetthet og mengder organisk stoffer. Kilde: Bioforsk v/ H. Riley.

For modellsimuleringene må sammenhengen mellom matrikssug og vanninnhold (vannretensjonskurven – se vedlegg 3) være gitt som en kontinuerlig funksjon. Ved tilpasningen mellom måledata og funksjon i COUP benyttes 3 ulike funksjoner for å dekke hele kurven, se en nærmere beskrivelse i bl.a. Øverlie et al. (2006).



Figur 4-2: Vannretensjonskurver for de 7 sjiktene brukt i COUP-modell for Kise (se også vedlegg 2).

### Vannledningsevne

Vannledingsevne er et mål på jordas evne til å slippe igjennom vann. Mettet vannledningsevne er ikke direkte målt på Kise og er derfor estimert fra kornfordelingsdataene fra de ulike sjiktene. Estimeringer foretatt i jorddatabasen tilknyttet COUP-modellen<sup>2</sup>, (Jansson og Karlberg 2001) ga verdier mellom 60 til 8500 mm/dag. De første simuleringene viste for liten vanntransport gjennom profilet og det ble derfor valgt å bruke høyere verdier av vannledningsevne og samme verdier i hvert lag: Det er kjent at vannledningsevnen er vanskelig å estimere direkte fra kornfordeling fordi strukturen til jordlagene ikke er tatt i betraktning. Beregningene utføres også kun for materiale <2 mm, noe som er problematisk i ei jord med 20-40 vekt % grus (figur 4-1). Matriks-vannledningsevnen er satt nesten lik den som beregnes ut fra teksturdata, mens total vannledningsevnen på 80000 mm/dag, dvs. 80 m/dag eller ca.  $9 \times 10^{-4}$  m/s som er en rimelig verdi for grusrik sand.

Dybde, m	Matriks vannledningsevne	Total vannledningsevne
0-0,8	8000	80000
> 0,8	800	8000

Tabell 4-4. Vannledningsevne (mm/dag) brukt for de ulike dybdene

Figur 4-3 viser sammenhengen mellom matrikspotensial (cm  $H_2O$ ) og vannledningsevne (mm/dag). Den blå kurven er for sjiktet 0-0,8 m mens den grønne kurven er for dypere sjikt.



Figur 4-3: Sammenhengen mellom matrikssug (cm H2O) og vannledningsevne (mm/dag). Den svarte kurven tilsvarer lagene over 0,8 m og den grå kurven er for dypere lag med lavere ledningsevnen.

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> COUP Parameter: Conductivity Function: Power of effective saturation.

# 5 Metode

## 5.1 Målinger ved Kise markvannsstasjon

Markvannsstasjon Kise ble opprettet i juli 1991. Tabell 5-1 gir en oversikt over målte parametere. På denne markvannsstasjonen måles snødybde, teledybde, grunnvannsstand, jordtemperatur, og elektriske motstand (resisstans) med sensorer på ulike dyp i jorda (tabell 5-1). Det er også utført tensiometers- og nøytronmetersmålinger. Fra målingene av elektrisk motstand estimeres verdier for matrikssug, vanninnhold samt teledybde. En kort beskrivelse av målingene benyttet er gitt her. Utstyret og metodene er beskrevet mer detaljert av Colleuille og Gillebo (2002).

	Måledybder i cm	Måleperioder
Jordtemperatur NVE °C	15, 30, 45, 60, 75, 90, 120	02.1999-
Jordtemperatur Bioforsk °C	10, 20, 50, 100	1988-
Resistans ohms	5, 15, 30, 45, 60, 75, 90, 120	02.1999-
Nøytronmeter NVE vol %	15, 30, 45, 60, 75, 90, 120, 150	1992, 1993,1995, 1999
Nøytronmeter Bioforsk vol %	10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80	1990-2001
Tensiometer cm vann	15, 30, 45, 60, 75, 90, 120, 150	06.1991-
Grunnvannsstand m		07.1991- logget fra 03.00
Snødyp m		01.1992-
Teledyp m		11.1991-

#### Tabell 5-1. Observasjoner ved Kise markvannsstasjon.

### 5.1.1 Snø

Det er utført snømålinger ved markvannsstasjonen i tidsperioden 1992-2006. Snødybden måles ved hjelp av en stake ved siden av telemåler. Nøyaktigheten antas å være +/- 1 cm.

### 5.1.2 Tele

De manuelle målinger av teledybde ved markvannsstasjonen er utført i tidsperioden 1992-2006. Telegrensemåleren benyttet er utviklet av Rune Gandahl i Sverige. Den består av et rør som inneholder en indikatorvæske som skifter farge ved frysing/tining slik at telegrensen kan leses av. Forutsetningen for teleregistreringen er at det bare er en horisontal varmeutveksling mellom måleren og grunnen omkring. Målerens nøyaktighet er +/- 5 cm. Vanlige feilkilder er forskyvning av nullpunkt som følge av telehiv og frysing eller tining rundt plastrøret slik at den målte teledybden er forskjellig fra den i terrenget rundt.

Målinger av elektrisk motstand med motstandsblokker gir også et estimat på teledybden i jorda. Motstandsmålinger er beskrevet 5.1.4 i forbindelse med måling av jordas matrikspotensial. Frysing av vann i jord gir samme effekt som en uttørring og når vannet fryser fører dette til betydelige sprang i målt elektrisk motstand. Den øverste motstandssensoren er plassert på 5 cm dybde. Teledybder mindre enn dette vil ikke kunne måles. Fra 15 cm er sensorene satt for hver 15. cm. Med denne metoden registreres det derfor bare hvilke sensorer som ligger i telesjiktet og hvilke som ligger under eller over dette. Det er derfor ikke mulig å registrere nøyaktig teledybde ved denne metoden.

### 5.1.3 Jordtemperatur

Det er utført målinger av jordtemperatur med sensorer på ulike dyp ved markvannsstasjonen siden 09.1999 på timebasis<sup>3</sup>. Dataene benyttet i parametriseringen av modellen er døgnmiddelverdier. Temperatursensorene er plassert på 15 cm, 30 cm, 45 cm, 60 cm, 75 cm, 90 cm og 120 cm dybde. Sensorene registrerer en strøm (4-20 mA) som er en lineær funksjon av temperatur (Tayler og Jackson, 1986). Måleområdet er fra -20 °C til +40 °C. Sensorene har en nøyaktighet på +/- 0,2 °C (Buchan, 1991). Sensorene er imidlertid ikke kontrollert og kalibrert før nedsetting. Feilen kan derfor være betydelig større enn dette. Målingene forutsetter god kontakt mellom sensorene og jorda omkring.

### 5.1.4 Matrikssug og vanninnhold

Elektrisk motstand er målt på markvannsstasjonen siden 1999 for dypene 5 cm, 15 cm, 30 cm, 45 cm, 60 cm, 75 cm, 90 cm og 120 cm. Målingene registreres på timebasis. Sensoren består av en keramisk celle der motstanden måles mellom to innebygde elektroder (elektriske motstandsblokker). Vanninnholdet i den keramiske cellen varierer med jordas matrikssug på det aktuelle dyp. Sensorene har et måleområde fra 10-20 kPa til 200 kPa (Thomson og Armstrong, 1987). Store deler av tiden er det fuktigere enn nedre grense for sensorenes gyldighetsnivå og målingene vil derfor være usikre. I tørre perioder og ved frost vil den øvre grensen overstiges. Området i jorda rundt sensoren som påvirker målingene er estimert til å være innenfor 5 – 15 cm fra sensorens overflate. Motstandssensorene kan benyttes i et temperaturintervall mellom 0 og 80°C. Sensorene påvirkes av temperaturen. Dette fører til at sensorene indikerer et større matrikssug (tørrere jord) ved temperaturer lavere enn  $10 - 15^{\circ}$ C (gir tørrere jord) da det ikke er tatt hensyn til dette i kalibreringen (Thomsom og Armstrong, 1987). I følge Irrometer kan det være +/- 10 % variasjon mellom sensorene. Målingene forutsetter god kontakt mellom motstandsblokkene og jorda omkring. For hver sensor og hvert dyp er det utarbeidet egne kalibreringskurver på grunnlag av samtidige målinger av matrikspotensial med tensiometer. Tensiometermålingene som ligger til grunn for kalibreringskurven er utført i relativt våt jord. Sammenhengen mellom elektrisk motstand og matrikssug for tørr jord dermed svært usikker, spesielt for dypere lag. Dette vil, sammen med sensorenes begrensede måleområde, føre til en betydelig usikkerhet spesielt med hensyn til absolutte verdier.

I perioden 1991-2006 er det utført manuelle målinger av matrikssuget i jorda med tensiometer på markvannsstasjonen for dypene 15 cm, 30 cm, 45 cm, 60 cm, 75 cm, 90 cm, 120 cm og 150 cm. Et tensiometer består av en porøs, vannfylt celle /kopp som gjennom en vannsøyle er forbundet til et manometer. Den porøse koppen plasseres på ønsket dyp med god kontakt med jorda rundt. Når vanninnholdet i jorda avtar vil vann

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> Bioforsk har egne målinger av jordtemperatur på 10, 20, 50 og 100 cm dyp siden 1988.

trekkes ut av tensiometerkoppen på grunn av lavere energinivå i jorda rundt enn inne i koppen. Undertrykket som oppstår registreres med manometeret. Ved bruk av tensiometer settes skalaen slik at atmosfæretrykket tilsvarer en avlesning på null. Tensiometeret virker i den våte delen av markvannets variasjonsområde, det vil si ved sug mindre enn 75 – 85 kPa (Mullins, 1991). I tørrere jord vil luft suges inn i den porøse cellen og tensiometeret vil ikke fungere. Tensiometeret har et influensområde på ca. 5 cm rundt selve cellen (Colleuille og Gillebo, 2002). Tensiometeret påvirkes av temperaturen. Dette fører til en usikkerhet på +/- 2 kPa. Verdiene mellom to streker på manometeret er 2 kPa og med øyemål kan det leses av med ca 1 kPa nøyaktighet. Utstyret tåler ikke kuldegrader og brukes derfor kun i vekstsesongen.

På Kise er det også utført av Bioforsk manuelle målinger av vanninnhold med en nøytronmeter ved 2 ulike adkomst rør. Prinsipp med målinger, bruksområde, nøyaktighet og begrensninger og nødvendige kalibreringer er beskrevet i Colleuille og Gillebo (2002).

### 5.1.5 Grunnvann

Grunnvannsstanden er målt ved markvannsstasjonen siden den ble opprettet i 1991. Målingene ble automatisert ved hjelp av en trykksensor og tilkoblet en logger i 2000. Ved denne markvannsstasjonen benyttes en Wika-sensor. Sensoren har et måleområde på mellom 5 og 10 meter vannhøyde og en nøyaktighet på rundt 0,25 %, det vil si ca. +/- 1cm. Dette inkluderer temperaturpåvirkningen som kan stå for +/- 0,5cm. Manuelle målinger av grunnvannsstand med lodd og målebånd er vanskelig å lese av med bedre enn 0,5 cm nøyaktighet.

## 5.2 COUP-modellen

Den svenske modellen COUP er valgt for simulering av vann- og energibalansen ved markvannsstasjonene. COUP (Jansson og Karlberg, 2001) er en modell sammensatt av flere delmodeller og tar for seg grunnleggende hydrologiske, biologiske og kjemiske prosesser i jord-plante-atmosfære systemet. Figur 5-1 viser en skjematisk oversikt over energi og massebalanse i COUP. I våre simuleringer er den hydrologiske delen som er benyttet.

Utgangspunktet for modellen er et dybdeprofil i jorda med eller uten vegetasjonsdekke. Den sentrale delen av modellen bygger på bevaringsloven av masse og energi og på strømning som følge av gradienter i vannpotensialet (Darcys lov) og temperatur (Fouriers lov). Informasjon om jordas vannretensjonskurve, vannledningsevne, varmekapasitet og varmeledningsevne er nødvendig for løsningen av vann- og energibalansen i jord. For vegetasjonsdekte områder trenges i tillegg informasjon om plantenes vekst og utvikling som funksjon av tid: rotfordeling, bladarealindeks og bestandshøyde. Modellen har en rutine for vinterhalvåret som muliggjør simuleringer av fryse-/tineprosessen i jord. For våre klimaforhold er det nødvendig å ha med en slik prosess i modellen, siden andelen av overflateavrenning i forbindelse med snøsmelting i stor grad styres av teleforholdene i jord.

Meteorologiske data som nedbør, temperatur, luftfuktighet, vindhastighet og globalstråling er drivvariabler for modellen.





Oppbyggingen av en COUP-modell for beskrivelse av vann- og energi-balanse består av følgende oppgaver:

- Tilrettelegging, kalibrering og kvalitetssikring av eksisterende data fra markvannsstasjonene (grunnvannsstand, snødybde, teledybde, jordtemperatur, matrikspotensial og vanninnhold).
- Tilrettelegging og kvalitetssikring av klimadata (Nedbør, lufttemperatur, luftfuktighet, vindhastighet, globalstråling eller skydekke);
- Tilrettelegging av plantevekstvariabler (bladarealindeks, bestandshøyde og rotdybde som funksjon av tid).
- Tilrettelegging, tilpasning og kvalitetssikring av jorddata (kornfordeling, vannretensjonskurve, vannledningsevne);
- Parametrisering ved kalibreringen mot daglige observasjoner.
- Verifisering mot uavhengige observasjoner fra samme sted for en ny tidsperiode

# 6 Parametrisering

Parametriseringen av COUP-modellen for Kise er utført for tidsperioden 1/4-1993 til 30/04-2000 og kalibrert mot måledata fra markvannsstasjonen. Den første delen av dette kapittelet tar for seg parametriseringen av modellen med hensyn på vinterforhold med snø og tele. Deretter omtales jordtemperaturen før den siste delen av kapittelet som omhandler vannbalansen i jorda og simulering av grunnvannstand. Oversikt over hvilke løsninger og parameterverdier som er benyttet i modellen for Kise er gitt i vedlegg 3. Jorda på Kise markvannsstasjon er veldig heterogen (se kapitel 4). Det ble derfor valgt følgende løsningen etter å ha testet flere mulige pF-kurver og Ks-verdier:

- bruke i utgangspunkt pF-målinger fra Bioforsk som inkluderer linser med siltig sand på 75-90 cm dyp;
- legge en høyere hydraulisk ledningsevne som tilsvarer grusig sand lagene fordi vi antar at vann renner i foretrukne veier (mest porøs områder).

## 6.1 Laginndeling i modell

Med utgangspunkt i tilgjengelige profilbeskrivelser og resultater fra målinger av porøsitet og kornfordelingsanalyser er det valgt å benytte 15 lag i modellen.

Laginndelingen er vist i tabellen 6-1. Den øverste meteren i jordprofilet er beskrevet av 7 ulike pF-kurver<sup>4</sup> som er målt på Kise (H. Riley pers. meld.(se tabell 4.2)).

				Planteforsk		NVE	E ser.3
	Øverste	Nederste	Sjikttykkelse	Grus	Porøsitet	Grus	Porøsitet
Lag	dyp (cm)	dyp (cm)	(cm)	Vekt %	Gamma⁵	Vekt %	Vol %
1	0	2.5	2.5				
2	2.5	7.5	5				
3	7.5	22.5	5	29	45	31	51
4	22.5	37.5	5	31	41	45	44
5	37.5	52.5	15	61	33	39	35
6	52.5	67.5	15	42	36	46	38
7	67.5	82.5	15	19	25		
8	82.5	97.5	15	6	30		
9	97.5	112.5	15		19	40	10
10	112.5	127.5	15		18		
11	127.5	142.5	15			36	45
12	142.5	157.5	15			27	16
13	157.5	207.7	50			44	45
14	207.7	257.5	50				
15	257.5	262.5	50				

Tabell6-1.LaginndelingbenyttetiCOUP-modellenforKisemarkvannsstasjon.

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup> I COUP-modell er database 400:1 Kise benyttet.

<sup>&</sup>lt;sup>5</sup> Gjennomsnittlig porøsitet beregnet fra in situ måling av jordtetthet med gammameter i 2 rør på markvannsstasjon Kise.

### 6.2 Vinterforhold

For simulering av jordas vann- og energibalanse for norske vinterforhold kreves det at modellen har en snø- og frostrutine. Det er ikke så mange simuleringsmodeller som har en slik vinterrutine og det var grunnen for å velge COUP-modellen. Tele i jord kan redusere jordas infiltrasjonsevne betydelig og påvirker derfor i stor grad avrenningsmønsteret i vinterhalvåret. Under snøsmelting kan tele medføre at vannet raskere transporteres til vassdrag da det i liten grad går til grunnvannsfornyelse. Snødybde og snøtetthet har stor betydning for temperatur og teleforhold i jordprofilet om vinteren. Et eksempel som tydelig viser samspillet mellom snøsmelting, tele og grunnvannsfornyelse er vist i Haugen et al. (2004). Figur 6-1 viser en oversiktsskisse over viktige prosesser ved simulering av vinterforhold i COUP.



Figur 6-1: Oversikt over viktige faktorer ved simulering av vinterforhold.

### 6.2.1 Snø- og teledybde

Prosessene ved simulering av snøpakken kan deles i 3 hoveddeler:

- Tilførsel av snø funksjon av temperatur og nedbør;
- Endring i snødybde setning som funksjon av tid;
- Smelting av snø funksjon av temperatur, globalstråling og jordvarmefluks.

Hvorvidt nedbøren kommer som snø eller regn estimeres ut fra lufttemperatur. En kritisk temperatur hvor nedbøren skifter fra snø til regn er vanlig i modeller med snørutiner. I COUP-modellen brukes det to grensetemperaturer. Under en bestemt temperatur er all nedbøren snø (parameteren "OnlySnowPrecTemp": tabell 6.2) og over en bestemt temperatur er all nedbør regn (parameteren "OnlyRainPrecTemp" : tabell 6.2). Mellom disse temperatur er det antatt en linear økning i andel flytende vann i snøen fra 0 til 1.

Informasjonen om andelen flytende vann i snøen (nedbørens termiske kvalitet) brukes i beregninger av nysnøens tetthet og påvirker derved også snødybden. I modellen blir snøen behandlet som et homogent lag. Snøpakkens tetthet er et vektet middel av nysnøens og den gamle snøens tetthet. Ulike rutiner finnes i modellen for estimering av endring i snøens tetthet som funksjon av tid. Her er det valgt en rutine som estimerer snøens tetthetsøkning som funksjon av innholdet av vann og is i snøen, trykket fra overliggende snø og snøens alder.

Smelting av snø styres av en funksjon hvor lufttemperatur, stråling og jordvarmefluks inngår. Snøens albedo avhenger av snøoverflatens alder slik at strålingsabsorpsjonen øker med tid etter snøfall. Snøpakken kan holde tilbake en viss mengde flytende vann (snøens retensjonskapasitet). Dersom mengden flytende vann overstiger denne retensjonskapasiteten, vil dette vannet transporteres til jordoverflata. Overstiger smeltevannstilførselen jordas infiltrasjonsevne vil dette føre til en overflateavrenning.

Snøen har stor betydning for temperatur og teleforholdene i jorda om vinteren. Ved parametriseringen av modellen for snø er effekten på simuleringsresultatet for teledybden vektlagt. Det er spesielt lagt vekt på tidspunket for tining av tele om våren da dette er viktig med hensyn til infiltrasjon av smeltevann. Standardparametrene ga relative gode resultater. Alle viktige parametrene ble testet uten at endringer ga særlig bedre resultater. Standardparametrene unntatt for tettheten av nysnø og varmeledningskoeffisient ble bevart (tabell 6-2).

Modellen simulerer noe for stor økning i snødybde ved snøfall, slik at snødybden ble overestimert med standardverdier for paramettersetting. Dette er spesielt synlig for vinteren 1994 som var kald og snørik (figur 6-2). Dette ble korrigert ved å øke tettheten av nysnø fra 100 til 130 (tabell 6-2 og vedlegg 2). Snøens tetthet er viktig for isolasjonseffekten av snøen og effekten på telesimuleringene har vært avgjørende ved valg av parameterverdien for nysnøens tetthet.

I COUP-modellen er det mulig å endre varmeledningsevnen i hvert lag gjennom bruk av en koreksjonskoeffisient (ThScaleLog). Varmeledningsevnen i COUP-modellen er beregnet ved hjelp av Kersten's ligninger; to funksjoner for mineraljord (leir og sand) og en for organisk jord. For hver av jordartene er det i tillegg funksjoner både for frossen og ikke-frossen jord. Den beste tilpasningen til målt teledyp ble funnet ved å redusere varmeledningsevnen for lag 4 til 9 (22 til 122 cm dyp) til 25 % (THScaleLog=-0.6) av startverdien (se vedlegg 3).

Parameter	Verdi	Standard	Enhet
DensityOfNewSnow	130	100	Kg/m <sup>3</sup>
ThScaleLog	-0,6 fra lag 4	0	-
OnlyRainPrec Temp	2	2	°C
OnlySnowPrec Temp	0	0	°C

Tabell 6-2: Parameterverdier i modelltilpassingen for snø og teledyp.

Vedlegg 2 viser at en verdi av ny snøtetthet rundt 130 kg/m<sup>3</sup> er den mest fornuftig selv om simulert snødyp er fortsatt for høy for vinteren 1993-94 (figur 6-2).

Test med ulike verdier for den korreksjonsfaktoren for varmeledningsevnen i jorda viser at en verdi rundt -0,6 gir beste resultater for simulert teledyp ut fra de statistiske målene vist i tabell 6-3. Tilsvarende forbedring er også funnet ved sammenligning av målt og simulert jordtemperatur.

Figur 6-2 viser endringene i simuleringsresultat for snødyp med ulike ny snøtetthet. Figur 6-5 viser simulert teledyp som følge av parametriseringen vist i tabell 6-2 for perioden 04/1993 til 04/2000.



Figur 6-2: Simulert snødyp med snøtetthet lik 100 (standardparameter), 130 og 160 kg/m<sup>3</sup>, samt observert snødyp på markvannsstasjon og klimastasjon Kise i perioden 10.1993-04.1996.

Tabell 6-3 viser statistiske resultater av tilpassingen for snø mot målinger av snødybde ved markvannsstasjonen og ved den meteorologiske stasjonen, samt tilpasningen for teledyp.

Tabell 6-3: Resultat av tilpassing av snø- og teledyp i perioden 01/04.1993 til 30/04.2000.

	Observasjoner	$\mathbf{R}^2$	Intersept	Helningskoef.	<b>RM</b> <sup>(1)</sup>	RMSE (2)
	( <b>n</b> )					
Snødybde	83	0,79	0,06	0,72	-0,012	0,11
Markvann						
Snødybde <sup>6</sup>	880	0,82	0,01	0,79	0,001	0,06
Klimast.						
Teledybde	81	0,88	-0,03	0,95	0,014	0,08

(1): **RM = 1/n** •(sim-målt)

(2): RMSE=  $\cdot(\cdot(sim-målt)^2)/n)$ 





<sup>&</sup>lt;sup>6</sup> Kun data for snødyp >0



Figur 6-4: Simuleringer av målinger av teledyp plottet mot samtidige manuelle telemålinger på markvannsstasjonen Kise i perioden 01/04.1993 til 30/04.2000.



Figur 6-5: Simulert snø- og teledyp samt observert teledyp og snødyp på markvannsstasjon og klimastasjon Kise i perioden 01/04.1993 til 30/04.2000. Simuleringer med standardparameter og med parameter angitt i tabell 6-2.

Simuleringen med parameterverdier angitt i tabell 6-2 gir god tilpasning med observasjoner for alle vintrene i parametriseringsperioden. Tidspunktet for teleløsning er imidlertid litt seint i forhold til observasjonene i 1996 som er året med dypeste observerte teledyp (-0,90 cm)

Bioforsk ved forskerne H. Bonnesmo og H. Riley har utviklet en enkel modell for snø, tele og vanninfiltrasjon. Modellen som er ment å være et beslutningsstøtteverktøy for vurdering av N-syklus i grønnsakomløp har blitt testet bl.a. med data fra Kise (Riley og Bonnesmo, 2005). Denne enkle modellen er delvis basert på arbeidet til Olsen og Haugen (1997). I modellen antas et homogent jordprofil både med hensyn på vanninnhold og termisk ledningsevnen. Denne modellen ga bra resultater for de fleste årene både for tidsforløp og teledyp. Det er bra overstemmelse mellom simuleringer utført med de 2 modellene og avviket er generelt mindre enn 10 cm.

## 6.3 Jordtemperatur

Siden målestasjonen ble automatisert i 1999 har vi kun få målinger for simuleringsperioden vi har brukt hittil (04.1993-04.2000), simuleringsperioden er derfor utvidet til 31.08.2003. Resultater fra simuleringer er vist i figur 6.6 og tabell 6-7. For å få en bedre tilpasning av simulert jordtemperatur på de dypeste dybdene  $(75 \text{ cm})^7$ , ble korreksjonsfaktor for varmeledningsevne endret fra -0,6 til -1 for de dypeste lagene (tabell 6-4). Dette betyr at varmeledningsevnen ble satt til 10 % av varmeledningsevnen i de 3 øverste lagene (Ap-sjiktet). Endringen hadde liten effekt på simulert teledyp.

Tabell 6-4: Endrede parameterverdier i modelltilpassingen av jordtemperatur.

Parameter	Verdi	Standard	Enhet
	-0,6 fra lag 4 (22 cm) til 9 (112 cm),		
ThScaleLog	-1 fra lag 10 (112 cm) til 15 (262 cm)	0	-

Temperatursvingningene over året stemmer godt overens (figur 6-6), men det er en tendens til litt større svingninger ved observasjonene enn simuleringene. Medianverdier, og ekstremer verdier i hvert lag for målinger og simuleringer i perioden er vist i tabell 6-5. Tabell 6-6 viser frostsum og antall dager med jordtemperatur under 0 °C.

Tabell 6-5: Simulert og målt temperatur ved ulike dyp i profilet. Første kolonne viser lagdybde ved simulering og måledybde. Deretter følger median temperaturer, høyeste og laveste temperatur i °C for perioden 02.1999-08.2003.

Dybde (cm)		Median		Kaldest		Varmest	
Simulert	Målt	Simulert	Målt	Simulert	Målt	Simulert	Målt
2.5-7.5	5	6,53	5,97	-6,41	-7,00	21,85	23,55
7.5-22.5	15	6,03	6,13	-5,76	-4,28	21,76	21,42
22.5-37.5	30	5,55	5,43	-3,31	-4,00	19,34	19,42
37.5.52.5	45	5,13	5,86	-0,78	-2,38	17,40	18,81
52.5-67.5	60	4,49	5,42	0,00	-0,54	16,47	17,22
67.5-82.5	75	4,65	5,19	0,56	-0,19	15,42	16,41
82.5-97.5	90	5,17	5,58	0,83	-0,05	14,58	15,51

<sup>&</sup>lt;sup>7</sup> Simulerte temperaturene var mye høyere enn observerte om vinteren og mye lavere om sommeren før korreksjonen.

Generelt er det en svak tendens til at median av jordtemperaturen underestimeres i de dypeste lagene. Kaldeste årsmiddel er høyere enn målt (overestimerer temperatur) mens varmest er lavere enn målt (underestimeres). Tabell 6.6 viser at simuleringene av frostsum og antall dager med temperatur under 0 °C er underestimert for alle dypene. Det er nesten dobbelt så mange observert dager med temperatur under 0 °C enn simulert ved 30 og 45 cm dyp. Imidlertid skyldes dette kun en liten forskjell i temperatur på 0.2-0.4 °C.

Tabell 6-6: Simulert og målt temperatur ved ulike dyp i profilet. Første kolonne viser simuleringslag og måledybde. Deretter følger antall dager med temperatur under 0 °C, median temperatur og frostsum for perioden (09.1999-08.2003).

Dybde (cm)		Antall dag	Antall dager T < 0 C		T < 0°C	Sum T < 0°C	
Simulert	Målt	Simulert <sup>8</sup>	Simulert	Målt	Målt	Simulert	Målt
2.5-7.5	5	418	457	-0,40	-0,62	-339	-448
7.5-22.5	15	441	321	-0,35	-0,35	-313	-260
22.5-37.5	30	227	395	-0,09	-0,50	-99	-285
37.5.52.5	45	54	159	-0,16	-0,36	-12	-85
52.5-67.5	60	0	70	-	-0,13	0	-11
67.5-82.5	75	0	22	-	-0,06	0	-2
82.5-97.5	90	0	0	-	-	0	0

Middeldifferensen (RM) mellom simulert og målt viser en svak tendens til at jordtemperaturen for alle dyp underestimeres på ca. 0.2-0.8 °C (tabell 6.7). Usikkerheten i temperaturmålingene er som omtalt i kapittel 5 relativt stor, minst +/- 0,2 °C. Dessuten ble temperatursensorene for denne stasjonen sannsynligvis ikke kontrollert og kalibrert på laboratorium før nedsetting.

Tabell 6-7: Statistiske mål for sammenhengen mellom simulert og målt
jordtemperatur (data kun i perioden 22.09.1999 til 31.08.2003).

Dybde	Observasjoner	$\mathbf{R}^2$	Intersept	Helningskoef.	<b>RM</b> <sup>(1)</sup>	RMSE (2)
Dybue	( <b>n</b> )					
5 cm	1335	0,95	-0,06	1.07	-0,39	1.71
15 cm	1514	0,96	0,49	1.03	-0,70	1.66
30 cm	1519	0,96	-0,02	1.04	-0,24	1.38
45 cm	1525	0,97	0,30	1.08	-0,82	1.49
60 cm	1463	0,97	0,39	1.08	-0,85	1.35
75 cm	1483	0,97	-0,04	1.10	-0,53	1.18
90 cm	1562	0,96	-0,21	1.10	-0,37	1.11

(1): **RM = 1/n** •(sim-målt)

(2): RMSE=  $\cdot(\cdot(sim-målt)^2)/n)$ 

<sup>&</sup>lt;sup>8</sup> Antall dager med observasjoner er forskjellig i de ulike dypene pga. problemer med sensorene.

Figur 6-6 viser simulert jordtemperatur plottet mot målt jordtemperatur med regresjonslinjen inntegnet. Målt og simulert jordtemperatur viser god sammenheng og helningskoeffisienten for regresjonslinjen er svært nær en 1:1 linje. Skjæringspunktet med y-aksen (Intersept) er også nær 0 °C, noe som indikerer en veldig god tilpasning. Histogrammene i nederste rad i figuren viser at 50 % av avvikene mellom målt og simulert ligger innenfor rundt  $\pm$  1 °C, men med enkelte forskjeller opp mot 3 °C.



Figur 6-6: Simulert og målt temperatur i perioden 02.1999-08.2003 for dypene 5 cm, 30 cm, 60 cm og 90 cm.



Figur 6-7: Sammenheng mellom målt og simulert jordtemperatur for 5 cm, 30 cm, 60 cm og 90 cm dybde. Histogrammene viser frekvensen for avviket simulert minus observert.

## 6.4 Vannbalanse

Dette kapitlet tar for seg simulering av de ulike vannbalansekomponentene. Som nedre grensebetingelse i modellen er det satt at ikke noe vann strømmer inn eller ut av nederste laget. Det er ikke tatt hensyn til lateral transport av grunnvann. Alt vann blir tilført profilet fra overflaten i form av nedbør og smeltevann og går ut ved evapotranspirasjon og drenering. Vanntilførsel som overskrider jordas infiltrasjonskapasitet vil føre til overflateavrenning.

Figur 6-8 viser simulerte gjennomsnittsverdier for transpirasjon, evaporasjon, drenering, overflateavrenning og fordamping av vann fanget opp av vegetasjonen (interseptert vann) i parametriseringsperioden (hydrologisk år). Figur 6-9 viser simulerte vannbalansekomponenter i mm/år for hvert år i perioden 1988-2006. Tabell med verdier for de ulike årene, normaler og ekstremer for perioden er gitt i vedlegg 5.

Årlig nedbør i parametriseringsperioden er fra 523 til 726 mm. Gjennomsnittelig årsnedbør i denne perioden er 627 mm/år, hvorav 550 mm infiltreres gjennom jordoverflaten og kun 10 mm overflateavrenning. Den gjennomsnittlige totale evapotranspirasjonen er simulert til 292 mm hvorav 140 mm er fordamping av vann fra jordoverflata (evaporasjon) inkludert tap av intersepsjonsvann. Simulert total evapotranspirasjon er rimelig i forhold til fordamping målt fra fri vannflate (Thorsrud evaporimeter) i perioden mai-september 1987-2007: gjennomsnitt 320 mm med et variasjonsområde fra 260-400 mm (Riley H., 2003).



Figur 6-8: Årlig gjennomsnittlig vannbalanse simulert i parametriseringsperioden (7 hydrologiske år: 1/10.1993-30/04.2000)


Figur 6-9: Vannbalanse simulert for simuleringsperioden 1988-2006 (hydrologisk år 1/10-31/09). Parametriseringsperioden (04.1993-04.2000) er avmerket.

#### 6.4.1. Vannopptak

For simulering av vannbalansen i jordprofilet er det nødvendig med en beskrivelse av planteutviklingen for å kunne simulere vannopptaket i løpet av vekstsesongen. Det foreligger ingen målinger av plantevekst ved markvannsstasjonen. Som på de fleste av markvannsstasjonene, i likhet med de fleste meteorlogiske stasjonene, består vegetasjonen av kortklipt gress (plen). For simulering av vanntapet ved transpirasjon trenges en beskrivelse av plantevekstutviklingen tilknyttet bladarealindeks (LAI), bestandshøyde og rotdybde. Av disse er det rotdybden som funksjon av tid, som det finnes minst informasjon om.

Istedenfor å knytte plantevekstutviklingen til samme dagsnummer hvert år, er det her valgt å relatere plantevekstutviklingen til lufttemperaturen. Denne tilnærmingen brukes blant annet både for korn og gras, men her er datagrunnlaget betydelig bedre enn det en har for plen. Siden det er bedre kjennskap til planteutviklingen for plengras på Ås (Akershus) enn Kise så er det valgt å beregne gjennomsnittlige varmesummer for når plengraset antas å nå ulike utviklingstrinn på Ås. Beregningene er utført for perioden 1961-1990 for klimadata fra den meteorologiske stasjonen på Ås, varmesummer er referert nedenfor. Under antagelsen om at tilsvarende varmesummer er nødvendig for at plengras skal nå de ulike utviklingstrinnene på Kise markvannsstasjon, er tilsvarende beregninger foretatt ut fra klimadata for den meteorologiske stasjonen på Kise.

- 1. Vekststart om våren estimeres til når 7-døgnsmiddel av lufttemperatur passerer 5 °C;
- 2. Utviklingstrinn som funksjon av varmesum (basistemperatur = 0 °C):
  - a. Maksimum bestandshøyde (4 cm) er nådd etter 150 døgngrader;
    - b. Maksimum bladsarealindeks (LAI = 3) er nådd etter 200 døgngrader;
    - c. Maksimum rotdyp (0,5 m) er nådd etter 350 døgngrader.
- 3. Vekstavslutning om høsten estimeres til når 7-døgnsmiddel av lufttemperatur passerer 5 °C;

Ut fra lufttemperaturer målt for perioden 1988-2006 ved den meteorologiske stasjonen på Kise, er gjennomsnittlig vekststart for plengraset 26/4 varierende fra 9/4 til 15/5, se tabell 6-8. Estimert plantehøyde på 4 cm nåes gjennomsnittlig 19/5 varierende fra 16/5 til 30/5. Et rotdyp på 0,5 m antas oppnådd rundt 6/6 varierende fra 4/6 til 13/6 for de ulike årene. Gjennomsnittlig vekstavslutning er estimert til 19/10 varierende fra 2/10 til 7/11.

Eksempel på plengrasutvikling i 1988 estimert fra lufttemperaturmålinger ut fra forutsetningen gitt ovenfor er vist i figur 6-10.

Resultatene fra simuleringene for parametriseringsperioden viser at plantenes vannopptak i gjennomsnitt er 152 mm/år. Dette utgjør i snitt 52 % av det totale simulerte fordampingstapet (292 mm). Simulert rotopptak fra ulike lag i modellen er vist øverst i figur 6-11. Høyeste og laveste årlige vannopptak er henholdsvis 183 og 135 mm. Den største forskjellen mellom årene ligger i vannopptaket fra de dypere lagene, noe som gjenspeiler graden av tørke de ulike årene. For alle årene viser simuleringene at 80 % av vannet tas opp fra de øvre 40 cm i jorda.

Utviklingstrinn	Middel	Standard-	Tidligst	Seinest
		Avvik		
Vekststart	116	9	99	135
LAI=1	26/4		9/4	15/5
Rotdyp=0,1 m				
Plantehøyde=0,001 m				
Plantehøyde = 0,04 m nåes	139	3	136	150
	19/5		16/5	30/5
LAI=3 nåes	145	3	142	153
	25/5		22/5	2/6
Rotdyp= 0,50 m nåes	157	2	155	164
	6/6		4/6	13/6
Vekstslutt	292	9	275	311
LAI=1	19/10		2/10	7/11
Rotdyp=0,1 m				
Plantehøyde=0,001 m				

Tabell 6-8: Dagnummer og dato for ulike utviklingsstadier for plengras estimert for perioden 1988-2006 ut fra lufttemperaturdata målt på Kise.



Figur 6-10: Eksempel på plengrasutvikling med bladarealindeks (LAI), bestandshøyde og rotdybde estimert fra lufttemperaturmålinger (1988).



Figur 6-11: Gjennomsnittlig årlig simulert vannopptak som funksjon av dyp for årene 1993-2000. Standardavvik er tegnet inn.

### 6.4.2. Matrikssug og vanninnhold

I dette arbeidet har vi brukt tensiometermålinger og nøytronmetersmålinger til paramettersetingen. På Kise er det foretatt mange målinger av vanninnhold med nøytronmeter. Disse data betraktes som mer pålitelige enn beregnet vanninnhold ut fra resistansmålinger (se Øverlie et al. 2006) og vil derfor bli brukt her. Imidlertid er det viktig å merke seg at de to nøytronmeterrørene på markvannstasjonen ga konsistente forskjeller i vanninnhold, selv om avstanden mellom dem var bare noen meter (kapittel 4). Middelverdiene fra de to nøytronmeterrør er brukt.

Figur 6-12 viser simulert matrikssug og tensiometermålinger for 4 dyp i 1994. Simuleringene viser større uttørking enn hva sensoren klarer å måle pga. målebegrensninger over 80 cbar for tensiometrene (se kapittel 4). Dette forklarer stort sett avvikene som man ser mellom observasjoner og simuleringer. Unntaket er dypet 45 cm hvor tensiometrene indikerer større vanntap enn simulering. På dette dypet er det planterøttene som fjerner vannet og dette tidlige vannopptaket har ikke modellen klart å simulere.



## Figur 6-12: Simulert og målt matrikssuget<sup>°</sup> ved 15, 30, 45 og 60 cm dyp i 1994.

Denne tendensen vises også i figur 6-13 som viser sammenhengen mellom simulert sug og tensiometermålinger for 3 dyp. For de to dypeste lagene (45 og 75 cm) er det tydelig at i perioder måles en sterkere uttørking med tensiometer enn simulert matrikssug. For 75

<sup>&</sup>lt;sup>9</sup> Betegnelsen "matrikssug" brukes i stedet "matrikspotensiale" fordi det er absolutte verdier som angis.

cm dyp indikerer tensiometermålingene forekomst av planterøtter noe som er dypere enn maks. rotdyp på 50 cm som er brukt i plantevekstfunksjon tilknyttet modelsimuleringene. Resultatene i tabell 6-9 og figur 6-13 viser at det finnes en relativ god sammenheng mellom simulert og observert matrikssug (tensiometer) for de øverste dybdene. Selv om det er avvik på absolutt-verdier så synes de relative endringene brukbart simulert.

Tabell 6-9: Sammenhengen mellom tensiometermålinger og simulert matrikssug i perioden 01/04.1993 til 30/04.2000. Alle verdier med matrikssug under 5 cm vann er fjernet.

Dybde (cm)		Observasjoner (n)	$\mathbf{R}^2$	Intersept	Helningskoef.	<b>RM</b> <sup>(1)</sup>	RMSE <sup>(2)</sup>
Simulert	Målt						
7.5-22.5	15	47	0,49	88	0,38	275	475
22.5-37.5	30	94	0,69	-25	0,99	40	123
37.5.52.5	45	87	0,52	-83	3.44	-63	178
52.5-67.5	60	70	0,34	-248	4.68	-35	106
67.5-82.5	75	98	0,39	-178	2.99	21	34
82.5-97.5	90	84	0,56	-44	0,89	31	42

(1): **RM** = 1/n •(sim-målt)

(2): RMSE= •(•(sim-målt)^2)/n)

Dybde (cm)		Observasjoner (n)	$\mathbf{R}^2$	Intersept	Helningskoef.	<b>RM</b> <sup>(1)</sup>	RMSE <sup>(2)</sup>
Simulert	Målt						
7.5-22.5	10	138	0,66	-2,61	1,64	-7,5	9,0
7.5-22.5	20	138	0,58	0,77	1,12	-3,0	4,9
22.5-37.5	30	137	0,55	0,47	1,32	-4,8	5,8
37.5.52.5	40	137	0,42	7,60	0,97	-7,3	7,7
37.5.52.5	50	131	0,66	-36,1	3,96	-4,0	4,6
52.5-67.5	60	133	0,47	-10,1	2,17	-5,8	6,2
67.5-82.5	70	133	0,45	-88,7	4,45	2,4	4,7
82.5-97.5	90	133	0.43	-67,8	3,17	4.1	5.2

Tabell 6-10: Sammenhengen mellom målt (med nøytronmeter) og simulert vanninnhold i perioden 01/04.1993 til 30/04.2000.

(1): **RM = 1/n** •(sim-målt)

(2): RMSE=  $\cdot(\cdot(sim-malt)^2)/n$ 

Målt og simulert vanninnhold i 1994 for to dyp, 10 og 50 cm, er vist i figur 6-16 og 6-15. God sammenheng ( $R^2$ =0,66) er funnet for begge dypene (tabell 6-10). En interessant tendens for begge dypene er at simulert vanninnhold er lavere enn målingene både vår og høst, men treffer brukbart midt på sommeren dette året.



Figur 6-13: Sammenheng mellom simulert og målt matrikssuget<sup>10</sup> ved 15 cm, 45 cm og 75 cm dyp.

<sup>&</sup>lt;sup>10</sup> Betegnelsen "matrikssug" brukes i stedet "matrikspotensiale" fordi det er absolutte verdier som angis.



Figur 6-15: Sammenheng mellom simulert og målt vanninnhold (nøytronmeter) ved 15 cm, 40 cm, og 75 dyp.



Figur 6-15: Simulert og målt vanninnhold (nøytronmeter) ved 10 og 20 cm dyp (øverst), 50 og 60 cm dyp (nederst) i 1994.



Figur 6-16: Simulert lager av markvann/grunnvann og snø i parametriseringsperioden (1993-2000). Nederste figuren viser grunnvannsstand i samme perioden.

Figur 6-16 viser total vannmengder i de ulike reservoarene snø, markvann og grunnvann simulert i modellen (0-2.6 m dyp), samt grunnvannsstand. Absolutte verdier for mengden grunnvann i profilet er ukjent da den totale tykkelsen av sedimenter ved markvannsstasjonen ikke er målt. Den aktive delen av vannlageret (vannlagerets variasjonsområde) er ca. 170 mm vann. Snølageret kan være over 200 mm vann. Enkelte år som vinteren 1994-1995, bidrar snøsmeltingen til å fylle opp hele markvannsmagasinet samt nydannelsen av grunnvann som gjør at grunnvannsstand nesten når overflatenivået. Andre år med snøfattig vintrene som 1995-96 bidrar ikke snøsmeltingen til grunnvannsdannelse slik at grunnvannsstand fortsetter å synke utover hele våren. Noe som bidra til ekstremt lavt grunnvannsstand sommeren 1996.

### 6.4.1 Grunnvannsstand og drenering

Modellsimuleringene er satt opp slik at nedre grense i jordprofilet ved 2,56 m er tett og vannet transporteres vekk fra jordprofilet gjennom et dreneringssystem. Sammen med jordas hydrauliske egenskaper er parametrisering av dreneringssystemet avgjørende for god tilpassing av grunnvannsstanden med hensyn til nivå og fluktuasjon. I resultatene fra modellsimuleringene er grunnvannsstanden satt til øverste nivå der jorda er vannmettet.

Parameter	Verdier	Kommentarer
Drain level	-1,8 m	
Drain spacing	400 m	
Surface coefficient	0,8 1/dag	Standard
Total conductivity	8000 mm/dag	Lag 7 (>1 m dyp)
Matrix conductivity	800 mm/dag	Lag 7 (>1 m dyp)
Saturation (pF)	35 %	Lag 7 (>1 m dyp)

Tabell 6-11. Viktigste parameterverdier brukt ved simuleringen avgrunnvannsstand.

Det er valgt en lineær løsning for drenering slik at den horisontale strømningen ut, er lik det aktuelle lagets mettede vannledningsevne multiplisert med høydeforskjellen midt mellom grøftene og grøftedypet og dividert på halv grøfteavstand ("hydraulisk gradient"). Beste tilpassing er funnet ved grøftedyp på 1,8 m og med en grøfteavstand på 400 m, dvs. avstanden fra profilet til drensrørene er da 200 m (tabell 6-11).



Figur 6-17: Simulert og målt snø- og teledyp, samt grunnvannsstand for parametriseringsperioden.

Figurene 6-17, 6-18 viser en god sammenheng mellom målt og simulert grunnvannsstand ( $R^2$ =0.71), se også tabell 6-12. Generelt simulerer modellen et noe høyere nivå enn målingene viser. Selv om middelavviket er ca 0 så viser figur 6-18 at det forekommer avvik opp mot 30 cm, men i over 80 % av tilfellene er avviket under 12 cm. Denne typen avvik har liten betydning for vannbalansen. Den våte perioden etter snøsmeltingen i 1994 og den tørre perioden vinteren 1996 mhp grunnvannsstand er simulert riktig. Dette indikerer at modellen også kan fange opp hva som skjer i ekstreme perioder.

## Tabell 6-12: Resultat av tilpassing av grunnvannsstand mot målinger fra markvannsstasjonen i parametriseringsperioden (04.1993-04.2000).

Observasjoner (n)	<b>R</b> <sup>2</sup>	Intersept	Helningskoef.	<b>RM</b> <sup>(1)</sup>	RMSE <sup>(2)</sup>
302	0,71	-0,53	0,66	-0,004	0,11

(1): RM = 1/n •(sim-målt)
(2): RMSE= •(•(sim-målt)^2)/n)



Figur 6-18: Simulerte verdier for grunnvannsnivå plottet mot samtidige målinger fra markvannsstasjonen. 1:1 linjen er tegnet inn i figuren.



Figur 6-19: Histogram for simulert minus observert grunnvannsstand i parametriseringsperioden.

I simuleringene er vannstrømning mellom lagene (mm/døgn) positiv ved nedoverrettet strømning og negativ ved kapillær stigning. På årsbasis dominerer den nedoverrettede vannstrømmen og den årlige gjennomsnittlig vanntransport mellom lagene er derfor positiv (figur 6-20). Under plantenes maksimale rotdybde (50 cm) er vanntransporten relativt stabil, og ca. 330 mm vann passerer ved 100 cm dybde årlig.



Figur 6-20: Middelverdier for vannstrømning mellom de ulike lagene i modellen gitt i mm vann pr. år for perioden 01.04.1993 til 30.12.2005

Mengder av vannstrømning som passerer 1m dyp og total drenering kan betraktes som et mål for grunnvannsdannelsen. Figur 6-19 og 6-20 viser at høyeste årlige grunnvannsdannelse er på ca. 550 mm/år (2001-02) tilsvarende ca. 65 % av nedbøren, men laveste grunnvannsdannelse er på ca. 180 og 190 mm/år henholdsvis i 2004-2005 (38 % av nedbør) og 1995-1996 (ca. 38 % av nedbør).









# 7 Verifisering av modellen

Ut fra tilpasningen av COUP mot målinger ved markvannsstasjonen, kom en frem til et parametersett som her videre testes mot målinger fra en annen, uavhengig tidsperiode. Parametrisering av modellen ble foretatt for perioden fra og med 01.04.1993 til og med 30.04.2000 mens verifisering av modellen er foretatt for perioden fra og med 01.06.2000 til og med 28.02.2007 (tabell 7.1).

	Start	Slutt	Antall år
Tilgjengelige klimadata	01.01.1988	07.03.2007	18
Paramatriseringsperioden	01.04.1993	30.04.2000	7
Verifiseringsperioden	01.06.2000	28.02.2007	7

Tabell 7.1.	Parametrisering	gsperioden og	verifiseringsp	erioden.



Figur 7-1: Simulert og målt snø- og teledyp, samt grunnvannsstand for verifiseringsperioden.

### 7.1 Snø- og teledybde

Figur 7-1 viser simulert og observert snø- og teledyp for verifiseringsperioden. Simulert snødyp viser god overensstemmelse med målt snødyp (tabell 7-2 og figur 7-2). For markvannsstasjonen er snødybden simulert noe dårligere i verifiseringsperioden enn i parametriseringsperioden ( $R^2$  reduseres fra 0,79 til 0,53). På klimasstasjonen hvor det foreligger flere snømålinger så er simulert snødyp like god i begge periodene ( $R^2 \sim 0.8$ ). Men simulert teledyp i enkelte av vintrene er dårlig.

Teledybden er simulert noe dårligere for verifiseringsperioden enn i parametriseringsperioden (R<sup>2</sup> fra 0,88 til 0,50). Simulert teledyp er større en målt teledyp både i 2002-03, 2003-04, og 2005-06. Avviket er imidlertid på maksimum 10-20 cm (figur 7-2). Den gode sammenhengen mellom resistansmålinger og observert teledyp bekrefter at modellen feiler for disse vintrene. Alle de 3 vintrene er relativt kalde og snørike vintre med frostsum på henholdsvis -585, -444 og -527 (tabell 3-2) så det kan virke som modellen simulerer litt for liten isolasjonseffekt av snødekket. Siden tidsforløpet for simulert teledyp viser godt samsvar med målingene vil et avvik i teledybde ha liten betydning for vannbalansen.

Snø- og teledyp (m)	Observasjoner (n)	<b>R</b> <sup>2</sup>	Intersept	Helningskoef.	<b>RM</b> <sup>(1)</sup>	RMSE <sup>(2)</sup>
Snødyp Markvannst.			[			·
Parametrisering	83	0,79	0,06	0,72	-0,012	0,11
Verifisering	48	0,53	0,09	0,80	-	0,12
Snødyp Klimaet.						
Parametrisering	880	0,82	0,01	0,79	0,001	0,06
Verifisering	2464 <sup>11</sup>	0,79	0,004	0,69	-	0,07
Teledyp						
Parametrisering	81	0,88	-0,03	0,95	0,014	0,08
Verifisering	117	0,50	-0,22	0,58	-	0,18

Tabell 7-2: Sammenheng mellom observert og simulert snø- og teledyp for parametriserings- og verifiseringsperioden.

(1): **RM** = 1/n •(sim-målt)

(2): RMSE= •(•(sim-målt)^2)/n)

<sup>&</sup>lt;sup>11</sup> inkludert snødyp = 0



Figur 7-2. Sammenheng mellom simulert og observert snø- og teledyp for verifiseringsperioden. Kurven 1:1 er tegnet inn i figuren.

Både Riley og Bonnesmos modellen (Riley and Bonnesmo, 2005) og COUP-modellen gir dårlig tilpasning av teledyp for vintrene 2002-03 og 2005-06, men modellen til Riley og Bonnesmo gir bedre resultat for vinteren 2003-2004 av ukjent årsak.

### 7.2 Grunnvannsstand

Simulert og målt grunnvannsstand som funksjon av tid er vist nederst i figur 7-1. Variasjonen i simuleringene er større enn for observasjonene, slik at det simuleres både høyere og lavere ekstreme verdier (se vinter 2005-2006). Simulert grunnvannsnivå er plottet mot målte data i figur 7-3. Linjen 1:1 er inntegnet.

Dataene som ble registrert i perioden 2003-2004 er av dårligere kvalitet pga. tekniske problemer med trykksensoren som gir daglige større fluktuasjoner enn normalt. Sammenhengen mellom simuleringer og observasjoner er imidlertid relativ god (tabell 7-1), men litt lavere for verifiseringsperioden enn parametriseringsperioden ( $R^2$  fra 0,71 til 0,53).

 Tabell 7-1: Sammenheng mellom målt og simulert grunnvannsstand i parametriserings- og verifiseringsperioden

Grunnvann	Observasjoner	$\mathbf{R}^2$	Intersept	Helningskoef.	<b>RM</b> <sup>(1)</sup>	RMSE (2)
	( <b>n</b> )					
Parametrisering	302	0,71	-0,53	0,66	-0,004	0,11
Verifisering	2336	0,53	-0,71	0.58	0.03	0.12

(1): **RM** = 1/n•(sim-målt)

(2): RMSE=  $\cdot(\cdot(sim-målt)^2)/n)$ 



Figur 7-3. Sammenheng mellom simulert og målt grunnvannsstand i verifiseringsperioden 01.04.2000-28.02.2006. Linjen 1:1 er tegnet inn.

## 8 Normalverdier

Siden det foreligger ikke klimadata for den normale perioden 1961-1990, presenteres her foreløpig resultater for hele perioden 1988-2006.



## Figur 8-1: Simulert snø- og teledyp, samt grunnvannsstand i perioden 1988-2006

Figur 8-1 viser at variasjonen mellom årene både for snø- og teledyp, samt grunnvannsstand er relativt stor. Det er noen få perioder som skiller seg med ekstreme hydrologiske anvendelser. Man kan f. eks. merke seg:

- vinteren 1994-1993 med mye snø, lite teledyp og følgende ekstremt høy grunnvannsstand ved snøsmeltingen som følges av en tørr sommer;
- vinteren 1995-1996 med lite snø, veldig dyp tele og ekstremt lavt grunnvannsstand (figur 8-2);
- veldig høy grunnvannsstand i 2001 pga. stor nydannelse av grunnvann (figur 8-2) som følge av mye nedbør høsten 2006;
- ekstremt lavt vannstand om sommeren 2006 etter en vår med høyt grunnvannsstand og grunnvannsdannelse (figur 8-2).

Figur 8-2 viser medianverdier for snødyp, teledyp og grunnvannsstand som funksjon av dagsnummer samt andre persentiler for perioden 1988 til 2006.



Figur 8-2: Forløp for snø- og nedre teledyp, samt grunnvannsstand i perioden 1988-2006. Kurver for persentiler 0, 25, 50, 75 og 100 % er tegnet inn.



Figur 8-3: Årlig gjennomsnittlig vannbalanse simulert i perioden 1988-2006 (18 hydrologiske år: 1/10.1988-31/04.2006).

Figur 8-3 viser simulerte gjennomsnittsverdier for transpirasjon, fordamping fra jordoverflaten (evaporasjon), drenering, overflateavrenning og fordamping av vann fra intersepsjonsvann for perioden 1988-2006 (hydrologiske år). Simuleringene viser at ca halvparten av årsnedbøren (317 mm) transporteres årlig gjennom jordprofilet til de antatte drensgrøftene. Den andre halvparten tapes ved fordamping hvorav ca halvparten tapes ved transpirasjon. Simulert overflateavrenning er svært lav for denne jordarten under de gjeldende klimaforhold. Figur 8-4 viser tilsvarende verdier for vannbalansekomponenter for hvert av årene i perioden. Tabell med verdier for de ulike årene er gitt i vedlegg 5. Figur 8-4 viser tydelig forskjellen mellom 2 ekstreme år i periode: 1995-1996 og 2000-01. Det første et tørt år og med en vinter med lite snø, liten drenering og normal evapotranspirasjon. Det andre året et vått år med mye nedbør, tilnærmet normal evapotranspirasjon og derved en ekstrem høy drenering. Den laveste evapotranspirasjonen er simulert for 1993-94.



Figur 8-4: Simulert vannbalanse i perioden 1988-2006.



Figur 8-5: Simulert årlig grunnvannsdannelse (beregnet som total vannstrøm ved 100 cm dyp) rangert etter årsverdier for hvert av årene i perioden 1988-2006 (tilsvarende persentiler er angitt).

Figur 8-5 viser at over 50 % av årene har en grunnvannsdannelse større enn 250 mm, 25 % over 400 mm og 25 % under 220 mm. Tabell 8-1 viser at høyeste grunnvannsdannelse er simulert i årene 2000-01 (547 mm, tilsvarende 63 % av nedbør), den laveste i 2004-05 (169 mm, tilsvarende 35 % av nedbør).

	Grunnvanns-	Nodbar	Dronoring	Grunnvanns- dannelse	Drenering
	dannelse	Neadør	Drenering	% neadør	% neadør
87-88	398	724	418	55 %	58 %
88-89	281	589	312	48 %	53 %
89-90	223	589	224	38 %	38 %
90-91	194	532	223	37 %	42 %
91-92	239	586	233	41 %	40 %
92-93	370	684	380	54 %	56 %
93-94	448	726	475	62 %	65 %
94-95	278	571	297	49 %	52 %
95-96	201	523	193	38 %	37 %
96-97	251	569	262	44 %	46 %
97-98	368	677	364	54 %	54 %
98-99	376	726	389	52 %	54 %
99-00	274	597	297	46 %	50 %
00-01	547	873	563	63 %	65 %
01-02	302	622	330	49 %	53 %
02-03	243	628	220	39 %	35 %
03-04	400	707	409	57 %	58 %
04-05	169	481	188	35 %	39 %
05-06	316	601	339	53 %	57 %

# Tabell 8-1: Årlig grunnvannsdannelse (beregnet som vannstrøm ved 100 cm dyp), nedbør, drenering, samt grunnvannsdannelse og drenering i prosentdel av nedbør i perioden 1988-2006.

Figur 8-6 viser simulert vannlager og lagerkapasitet for vann i perioden 1988-2006. Utgangspunktet for beregningen av lagerkapasitet for vann er differansen mellom jordas aktuelle vanninnhold og vanninnhold ved feltkapasitet (estimert). Feltkapasitet er definert som den vannmengde en har i jorda 2-3 dager etter at jorda har vær vannmettet, d.v.s. når vanntransporten ut av jorda er tilnærmet null.

Figur 8-6 viser at den generelle trenden er markvannsunderskudd (positiv verdi for lagerkapasitet) i vekstsesongen (mai-september) og markvannsoverskudd (negativ verdi for lagerkapasitet) om vinteren og spesielt tidlig vår (mars-april). Det er altså i vinterhalvåret og særlig ved snøsmeltingen at det meste av grunnvannsfornyelsen og største avrenningen forekommer.

Variasjonen i lagerkapasiteten er på maksimum 180 mm: Markvannsunderskudd når maksimum om sommeren og kan på denne jordarten gå over 70 mm, mens det kan forekomme overmetning ved snøsmeltingen (april) på over 110 mm. Det er forholdsvis liten lagerkapasitet for jorda på denne markvannsstasjonen sammenlignet med markvannsstasjonene på Værnes og Groset (ca. 500 mm).



Figur 8-6: Simulert vannlager (øverst) og lagerkapasitet for vann (nederst) i perioden 1988-2006 (Persentiler er angitt).

# 9. Konklusjon

Parametrisering av COUP-modellen ble foretatt i tilknytning til måleserier fra Kise markvannsstasjon for perioden fra og med 04.1993 til og med 04.2000, og til og med 08.2003 for jordtemperatur. En fullstendig oversikt over valgte prosesser og parameterverdier ved modellsimuleringene med COUP er vist i vedlegg 4. De viktigste parametrene som ble endret fra "default-verdiene" i modellen var tilknyttet vinterforholdende (her kan nevnes tetthet av nysnø og varmeledningsevnen for jorda), og drenering av jordprofilet.

Den parametriserte modellen ble deretter testet mot et uavhengig datasett fra Kise markvannsstasjon for perioden fra og med 06.2000 til og med 02.2007. For begge perioden ble det benyttet meteorologiske data fra Kise (Bioforsk LMT).

Simuleringene viser bra overensstemmelse med målingene av både snødyp og teledyp registrert på markvannsstasjonen i parametriseringsperioden ( $R^2$  = henholdsvis 0,82 og 0,88). Resultatet var litt dårligere for teledyp i verifiseringsperioden ( $R^2$  = 0,50) og skyldes i første rekke 3 vintre hvor simulert teledyp var for lavt. Avviket var på maksimum 10-20 cm. I parametriseringsperioden ble det også funnet en god sammenheng mellom simulert og målt jordtemperatur i ulike dybder ( $R^2$  > 0,94), med 50 % eller mer av avviket innenfor ±1 °C. For begge periodene ble det funnet en god sammenheng mellom målt og simulert grunnvannsstand ( $R^2$ =0,71 (1993-2000) og  $R^2$ =0,53 (2000-2007)).

Det er også en relativ god sammenheng mellom endringen over tid for simulert og observert matrikssug og vanninnhold i jorda. Det er imidlertid en del forskjell for absolutte verdier som skyldes målebegrensninger (tensiometer), dårlig kalibrering og stor heterogenitet i jorda på Kise (omtalt i kapittel 4).

Simuleringsresultatene for parametriserings- og verifiserings-perioden viser såpass bra overensstemmelse med måledata at COUP-modellen er antatt å være et tilfredsstillende verktøy for vurdering av markvannstilstanden på Kise markvannsstasjon Det er foretatt simuleringer for perioden 1988-2007 (det mangler klimadata for tidligere år) med det formål å beskrive dagens tilstand med normaler og variasjonsbredde for ulike variabler som beskriver jordas mark- og grunnvannstilstand (kapittel 8). En slik oversikt over tilstanden med dagens klima er nødvendig med hensyn på vurdering av effekten av fremtidige klimaendringer.

Totalt i dette arbeidet er det simulert daglige verdier for variable som beskriver markvanns- og grunnvannssituasjonen for perioden 04.1988 til 03.2007. Det er utarbeidet statistikk som beskriver både normaltilstand og variasjonsbredde bl.a. grunnvannsnivå, jordas lagerkapasitet for vann, fordampning, jordtemperatur, snø og teledybde over en periode på 18 år. Modell-simuleringer skal også kunne foretas månedlig eller ved behov for å gi en oversikt over markvannstilstanden på Kise området. Dette er antatt å gi en mer detaljert og realistisk status av markvannsituasjon enn informasjonen fra den distribuert HBV modellen (Beldring et al., 2005; Colleuille et al., 2006). Ved å arbeide frem parametersett for flere representative områder i Norge, vil NVE få et bedre grunnlag for å analysere og følge opp ekstreme hydrologiske situasjoner i Norge.

### Referanser

Beldring, S. Colleuille H., Haugen L.E., Roald L.A., Øverlie T., 2005. Climate change impacts on hydrological processes in headwater catchments. HEADWATER CONTROL IAHC konferanse. Bergen, juni 2005.

Buchan G. D., 1991: Soil Temperature Regime. I: Smith, K.A. & Mullins C.E. (Eds.) 1991: Soul Analysis, Physical Methods. Marcel Dekker, Inc. 13 s 551-612

Colleuille, H. og Gillebo E., 2002. Nasjonalt observasjonsnett for markvann. Etablering og vedlikehold av målestasjoner. Måleprosedyrer. Datautarbeiding og dataformidling. NVE rapport 6-2002.

Colleuille, H. 2006. Groset forsøksfelt (016. H5). Grunnvanns- og markvannsundersøkelser. Tilstandsoversikt 2005-06. NVE oppdragsrapport 12-2006.

Colleuille, H. Beldring S., Mengistu Z., Wong W.K., Haugen L.E., 2006. Groundwater and Soil Water for Norway based on daily simulations and real-time observations. International Symposium, IAH, Dijon France, 30 mai – 01 juni 2006.

Colleuille, H. Beldring S., Mengistu Z., Wong W.K., Haugen L.E., 2007. Groundwater and Soil Water for Norway based on daily simulations and real-time observations. Chapter 43 (567-579). Series IAH-Selected papers. Aquifer Systems Management Darcy's Legacy in a World of Impending Water Shortage. Ed. L. Chery and G. de Marsily.

Jansson, P-E & Karlberg, L., 2001. Coupled heat and mass transfer model for soilplant-atmosphere systems. Royal Institute of Technology, Stockholm (ftp://www.lwr.kth.se/COUPModel/CoupModel.pdf)

Haugen, L.E. and Colleuille H., 2004. Impacts of global change on agro ecosystems, preliminary analyses for Southeast Norway: Energy and water balances in soil. EACC project. Report N 4/2004. Agricultural University of Norway, March 2004.

Haugen, L.E., Colleuille H., and Bakken L.R., 2004. Higher Soil Frost Frequencies in a Warmer World? EGU, Nice, France 25-30 april 2004.

Olsen P.A: og Haugen L.E. (1997): NLH Inst jord- og vannfag, rapport nr. 8.

Riley H. og Bonnesmo H., 2005. Modelling of snow and freeze-thaw cycles in the EU-rotate\_N decision support system. Planteforsk Grønn kunnskap Vol.9 Nr.112 – 2005.

Riley H., 2003. Estimation of pan evaporasjon from weather data. Planteforsk Research note 23.10.2003.

Tayler & Jackson, 1986: Temperature. I: Klute, A. (Ed.), 1986: Methods of soil Analysis – Part1, Physical and mineralogical Methods, 1986. American Society of Agronomy, Second Edition. 37. s 927-940

Thomsom, J. & Armstrong, C. F., 1987: Calibration of the Watermark Model 200 Soil Moister Sensor. American Society of Agricultural Engineers, Vol. 3, No 2. s. 186-189 Øverlie, T 2006. Vann- og energitransport i fjellbjørkeskog – målinger og modellsimuleringer for Groset markvannsstasjon. Universitetet for miljø- og biovitenskap. Mastergragsoppgave 60 stp.

Øverlie T., Colleuille H. og Haugen L.E., 2006. Vann i jord. Simulering av vannog energibalansen på Værnes markvannsstasjon, Nord-Trøndelag. NVE Rapport 15-2006.

# Vedlegg 1 Porevolum, jordtetthet og materialtetthet

Tabell 1. Porevolum i % beregnet fra tørr jordtetthet og materialtetthet målt i laben fra uforstyrrede prøver tatt på Kise 16.06.1990 (serie 2 NVE).

dybde			
cm	Tørr tetthet	Materialtetthet	Porøsitet
	g/cm3	g/cm3	%
0-8	0.88	2.27	61.2
8-15c	2.35	2.79	15.8
15-25	1.45	2.48	41.5
25-35	1.43	2.66	46.2
35-45	1.75	2.59	32.4
45-55	1.65	2.79	40.9
72-79	1.81	2.57	29.6
79-87	1.92	2.69	28.6
87-100	1.63	2.78	41.4
97-128	2.12	2.79	24.0
148-190	2	2.6	23.1

# Tabell 2. Porevolum i % beregnet fra tørr jordtetthet og materialtetthet målt i laben fra uforstyrrede prøver tatt på Kise 15.06.1990 (serie 3 NVE).

dybde			
cm	Tørr tetthet	Materialtetthet	Porøsitet
	g/cm3	g/cm3	%
9	1.34	2.75	51.3
26	1.47	2.62	43.9
36	1.82	2.78	34.5
65	1.57	2.53	37.9
60	2.03	2.81	27.8
109	2.23	2.47	9.7
137	1.53	2.77	44.8
157	2.07	2.45	15.5
178	1.35	2.43	44.4





Lag 2 (15 cm dyp)



Lag 3 (25 cm dyp)



Lag 4 (45 cm dyp)



Lag 5 (60 cm dyp)







Lag 7 (90 cm dyp)

## Vedlegg 3 Parametrisering av snø- og teledyp



Figur 1: Effekt av parameter "tettheten av ny snø" på simuleringer av snødyp og teledyp. RMSE og R2







Figur 3: Effekt av parameter "ThScaleLog" (korreksjonsfaktor for varmeledningsevne) på simuleringer av teledyp. Samme verdien er satt i den nederste delen av jordprofilet (<25 cm). Figuren viser en begrenser del av figur 2 (ThScaleLog mellom 0 og 1). Denne faktoren en angitt som negative verdier i modellen.

# Vedlegg 4 Parametersetting

# Was run (March 20, 2007. 22:37:11) as Simulation # 109 with Version 2.42, 21 Septem Started from 1993-04-01 00:00 to 2000-04-30 00:00

Stored output data every 1440 minutes and used a minimum of 256 iterations per day

Model Kise HEC feb2007

Data base selections	5					
Soil	400: 1 Kise			12	/14	C SE
Switches						
SnowPack	NewSnowDensity	Expone	ntial f(air temp)			
Interception	PrecInterception	on				
Potential Transpiration	Displacement	f(canopy	/)			
	Roughness	f(canopy	/)			
Meteorological Data	CloudInput	Estimate	d			
	HumRelInput	Read fro	om PG-file			
	PrecInput	Read fro	om PG-file			
	TempAirCycle	Annual				
	TempAirInput	Read fro	om PG-file			
	VapourAirInput	As relati	ve humidity			
Plant	CanopyHeightInput	Driving	/ariable			
	Lailnput	Driving	/ariable			
	RootInput	Drivina	/ariable			
Soil heat flows	Convection flow	Not acc	ounted for			
	Lower Boundary	Constan	t heat flow			
Model Structure	Evaporation	Radiatio	n input style			
	GroundWaterFlow	on				
	PlantType	Explicit	single big leaf			
	SnowPack	on				
	WaterEq	on				
Soil Hydraulic	Conductivity Function	Power c	of effective saturatio	n		
Technical	PressureHeadSign	Positive				
Soil frost	FrostSwelling	Off				
	Infiltration	Low+Hig	gh FlowD			
	LoadPotential	Off				
Soil evaporation	Evaporation Method	PM-eq,	Rs(3Par)			
	Surface Temperature	f(PM-eq	uation)			
Drainage and deep percolat	i/PhysicalDrainEq	Linear N	lodel			
Water uptake	DemandRedistribution	Without	flexible roots			
Parameters						
SnowPack	DensityOfNewSnow	130	Kg/m3			
Interception	WaterCapacityPerLAI	0.5	mm/m2			
Soil heat flows	SoillnitTempConst	2	øC			

Parameters									
SnowPack DensityOfNewSnow					130	Kg/m3			
Interceptio	terception WaterCapacityPerLAI		erLAI	0.5	mm/m2				
Soil heat flows SoilInitTempConst		nst	2	øC					
Drainage	and deep p	ercolatiDraiı	nLevel		-1.8	m			
		Draii	nSpacing		400	m			
Water upt	ake	Non	DemandRe	lCoef	0	Kg/m2day			
Soil water	flows	Initia	lGroundWa	ter	-1.65	m			
		Initia	lPressured	Head	600	cm water			
Parame	eters Tal	oles							
Soil The	rmal	Scaling	coefficien	1		15 e	lements		
		-							
ThScaleL	og (1-15)								
0	0	0	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6		
-0.6	-1	-1	-1	-1	-1	-1		(109)	
Soil Prof	file	Compa	rtment Size	95		15 e	lements		
Thickness	s Laye(1-15)								
0.025	0.05	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15		
0.15	0.15	0.15	0.15	0.5	0.5	0.5		(109)	
Sout Lud		- ·	-	tor rotor			amante		
Son Hyu	Lower De	DI UUAS-	Air Entry		\\/iltin	a Doint	Macro Po	ro	
Unner De	nth	l ambda		Saturatio	, 1911, 19 00	Besidual	Water	Upper Boundary	
0	01	0 274429	3 97942	48	6.95	9 0297	4	8 000e+3	
01	02	0.354605	3 54465	45	6.5	10 7941	4	8.000e+3	
0.2	0.3	0.260114	1.59406	44	6.05	7.85743	4	8.000e+3	
0.3	0.5	0.305824	0.175723	33	3.35	3.95644	4	8.000e+3	
0.5	0.7	0.190474	0.0760809	39	4.7	4.00198	4	8.000e+3	
0.7	0.8	0.075737	0.98514	35	8.75	0.186139	4	8.000e+3	
0.8	1	0.0690664	4.85691	35	9.2	0.217822	4	8.000e+3	
<i>3011 H</i> ya	<i>raunc</i> Lower Do	Hyorau.	Tatal Cana	<i>livity, me</i> Luctivitu	easurea. Moore	norizons / en	ements		
Linner De	Lower De nth	pun Matrix Con	ductivity	n Power	iviacio r (SatEffo	o Fore			
0 0	01	8 000e+3	8 000e+4	8 29592	1 (Oai∟iie) 4	cuve)	(109)		
01	0.1	8.000e+3	8 00000+4	8 06226	4		(109)		
0.1	0.2	8.000e+3	8 00000+4	7 90106	4		(100)		
0.2	0.5	8.000e+3	8 00000+4	6 61048	4		(100)		
0.5	07	8 000e+3	8 000e+4	7 2897	4		(109)		
0.7	0.8	8.000e+3	8.000e+4	8.32389	4		(109)		
0.8	1	800	8.000e+3	8.69456	4		(109)		
Model Input Files									
Meteorological Data Meteorological data C1COURDATA/KISE/AKUMKIS PIN									
Meteorological Data Meteorological data			ua C.1						
Mani Crop data			C.1						
vanuation	Validation Validation File C.\COUPDATA\KISE\AOBSA.BIN								

Measured		Simulatern	r2 ir	tercent	slone	ME	RMSE	M-Sim	M-Mose
Weasured		Sindlateth	12 11	nercept	siope		INVISE	WI-5111.	IVI-IVICas
Teledyp	m	FrostLowerB(78ndary1	0.821568	0.0081158	3:0.963993	-0.026266	40.107486	-0.504087	-0.477821
Snodyp Mark	n	n Snow Depth 76	0.795276	0.0575225	50.706 <b>2</b> 03	3.831e-4	0.116957	0.197094	0.196711
Snodyp klim	m	Snow Depth 2586	0.833956	0.0124898	30.760981	0.0026036	0.0621304	0.0631477	0.0605441
Grvstd	m	(SaturationLev305	0.751219	-0.392949	0.758226	-2.793e-3	0.114471	-1.63683	-1.63403
Tens 15cm	cr	n'PressureHea743)	1.431e-5	183.338	-7.469e-4	920.792	1.789e+3	1.103e+3	182.514
Tens 30cm	cr	n'PressureHea954)	0.0590135	5117.946	0.204216	186.092	423.268	382.06	195.968
Tens 45cm	cr	n'PressureHea104	0.128123	46.0428	1.53394	-99.0736	271.866	99.3206	198.394
Tens 60cm	cr	n'PressureHea107	0.064232	-68.6154	1.80301	4.12879	138.7	80.3064	76.1776
Tens 75cm	cr	n'PressureHea109	0.32667	-171.095	2.7728	28.3526	89.053	80.5178	52.1651
Tens 90cm	cr	n'PressureHea109	0.37159	-58.2097	1.03828	55.3783	61.4611	73.9746	18.5963
Jordtp 90cm	С	Temperature374	0.977288	0.362172	0.972305	-0.234241	0.663034	4.61934	4.85358
Jtp 75 cm	С	Temperature373	0.973897	0.133939	1.02127	-0.232126	0.804669	4.61696	4.84909
Jtp 60 cm	С	Temperature374	0.968323	0.478639	1.04818	-0.701668	1.23722	4.62932	5.33099
Jtp 45 cm	С	Temperature374	0.960146	0.302714	1.04825	-0.528249	1.37889	4.67389	5.20214
Jtp 30 cm	С	Temperature374	0.956221	-2.254e-4	1.00253	-0.011838	(1.39362	4.77017	4.78201
Jtp 15 cm	С	Temperature374	0.959209	0.326397	0.991096	-0.281798	1.5037	5.00884	5.29064
Jtp 5 cm	С	Temperature 345	0.966045	-0.049328	21.00941	-3.433e-3	1.41315	5.60642	5.60986
Neuto 10cm	%	TotalWaterCc138nt(3)	0.619796	0.360724	1.37212	-7.32778	8.82748	18.7226	26.0504
Neut 20cm	%	TotalWaterCc138nt(3)	0.549659	2.83243	0.999113	-2.81582	4.82174	18.7226	21.5384
Neut 30cm	%	TotalWaterCc138nt(4)	0.402782	7.14871	0.82026	-4.64214	5.82743	13.9455	18.5877
Neut 40cm	%	TotalWaterCc138nt(5)	0.444897	7.73443	0.950654	-7.22514	7.69906	10.3209	17.546
Neut 50cm	%	TotalWaterCc138nt(6)	0.191742	11.3803	0.458018	-3.79611	4.80181	13.9934	17.7895
Neut 60cm	%	TotalWaterCc138nt(6)	0.188206	13.3047	0.44395	-5.52365	6.24661	13.9934	19.517
Neut 70cm	%	TotalWaterCc138nt(7)	0.0966474	6.02024	0.65676	2.71051	5.08742	25.4362	22.7257
Neut 90cm	%	TotalWaterCc138nt(8)	0.436587	-71.5008	3.29831	3.94358	5.13277	29.3943	25.4507
Tp10	С	TTemperature2586	0.942703	-0.309406	0.929732	0.714256	1.89043	5.76151	5.04725
tp20	c ·	T¡Temperature 2586	0.939379	0.231014	0.870935	0.512592	1.93901	5.76151	5.24892
tp50	C I	pTemperature2586	0.943937	0.574529	0.939341	-0.229077	1.40183	5.69501	5.92409
tp100cm	С	Temperature 2586	0.915591	0.38455	1.05617	-0.698119	1.48	5.58247	6.28059

# Vedlegg 5 Vannbalanse 1988-2006

Hydrologisk år: 1/10-31/09

	Evaporasjon	Transp.	Evapotransp.	Drenering	Overflateavr.	Intersep.
87-88	68	130	275	418	0	78
88-89	82	160	315	312	12	72
89-90	82	164	340	224	6	94
90-91	68	144	293	223	17	82
91-92	82	136	303	233	28	83
92-93	81	146	303	380	1	77
93-94	56	129	246	475	1	61
94-95	78	148	291	297	10	64
95-96	65	162	283	193	7	57
96-97	86	183	337	262	6	68
97-98	75	137	292	364	1	80
98-99	70	148	280	389	27	63
99-00	82	159	318	297	17	78
00-01	73	152	299	563	2	74
01.02.	79	179	323	330	4	65
02.03.	91	181	340	220	9	69
03.04.	77	160	307	409	4	69
04.05.	77	156	311	188	5	78
05.06.	57	137	254	339	2	60
Gjen. 88-06	75	153	300	322	8	72
Gjen. 93-00	73	152	292	325	10	67

Denne serien utgis av Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE)

### Utgitt i Rapportserien i 2007

- Nr. 1 Knut Hofstad: Vindkraftpotensialet utenfor norskekysten (offshore)
- Nr. 2 Hervé Colleuille, Ingvill Stenseth: Nasjonalt overvåkingsnett for grunnvann og markvann Drift og formidling 2006. Status pr. februar 2007
- Nr. 3 Tor Arnt Johnsen (red.): Kvartalsrapport for kraftmarkedet, 4. kvartal 2006 (77 s.)
- Nr. 4 Britt-Mari Langåsen, Anders E. Grønstvedt, Asle Tjeldflåt, Stig Haugen: Utnyttelse av det norske kraftnettet
- Nr. 5 Anders Bjordal og Mads Johnsen: Stabilitet langs Namsen. Utbedring av gamle sikringstiltak (168 s.)
- Nr. 6 Halvor Kr. Halvorsen (red): Tilsynsrapport for 2006. NVEs tilsyn (25 s.)
- Nr. 7 Tor Arnt Johnsen (red.): Kvartalsrapport for kraftmarkedet, 1. kvartal 2007 (74 s.)
- Nr. 8 Hervé Colleuille, Lars Egil Haugen, Trude Øverlie: Vann i jord. Simulering av vann- og energibalansen på Kise markvannsstasjon, Hedmark (70 s.)