Vann i jord

Simulering av vann- og energibalansen på Groset markvannsstasjon, Telemark

Hervé Colleuille
Lars Egil Haugen
Trude Øverlie

19
2007

RAPPORT

Vann i jord

Simulering av vann- og energibalansen på Groset markvannsstasjon, Telemark

Norges vassdrags- og energidirektorat
2007

Rapport nr 19 - 2007

Vann i jord

Simulering av vann- og energibalansen på Groset markvannsstasjon, Telemark

Utgitt av: Norges vassdrags- og energidirektorat

Forfatter: Hervé Colleuille, Lars Egil Haugen og Trude Øverlie

Trykk: NVEs hustrykkeri

Opplag: 20

Forsidefoto: Fra venstre til høyere (ovenfra): Utsikt mot Møstvatn. Jordprofil (H. Colleuille) og tensiometer. Markvannsstasjon Groset. Snøpute. Skap med logger. Infiltrasjonsmålinger (W.K.Wong og T. Øverlie). Uttak av jordprøver (L.E. Haugen). Overløp ved Grosettjern (Foto Hervé Colleuille)

ISBN: 978-82-410-0651-7

Sammendrag: Markvannsmodellen COUP er parametrisert og verifisert for markvannsstasjon Groset. Fra simuleringer av vann- og energibalanse for perioden 1981-2006 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

November 2007

Innhold

Forord **5**

Sammendrag **6**

1. Innledning **7**

2. Stasjonsbeskrivelse **9**

3. Klima **11**

4. Jord **15**

4.1 Kornfordeling 18
4.2 Jordas hydrauliske egenskaper 19

5. Metode **22**

5.1 Målinger ved Groset markvannsstasjon 22
5.1.1 Snø 23
5.1.2 Tele 23
5.1.3 Jordtemperatur 23
5.1.4 Matrikssug og vanninnhold 24
5.1.5 Grunnvann 25
5.2. COUP-modellen 26

6. Parametrisering **28**

6.1 Laginndeling i modell 28
6.2 Vinterforhold 29
6.2.1. Snø- og teledybde 30
6.3 Jordtemperatur 36
6.4 Vannbalanse 41
6.4.1. Vannopptak 42
6.4.2. Matrikssug og vanninnhold 45
6.4.3. Grunnvannsstand og drenering 47

7. Verifisering av modellen **53**

8. Normalverdier **56**

9. Konklusjon **62**

Referanser 63

Vedlegg 1 Teksturdata 65
Vedlegg 2 Vannretensjonskurver 67
Vedlegg 3 Mettet vannledningsevne 71
Vedlegg 4 Parametersetting 72
Vedlegg 5 Vannbalanse 1981-2006 74
Vedlegg 6 Vekstparameter 75
Vedlegg 7 Grunnvannsdannelse 76
Vedlegg 8 Alternativt parametersett 77

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.

Denne rapporten er den fjerde 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 1981-2006 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.

Oslo, november 2007

Morten Johnsrud
avdelingsdirektør

Sverre Husebye
seksjonssjef

Sammendrag

Denne rapporten om simuleringer av vann og energibalanse i jord ved NVEs markvannsstasjon på Groset i Telemark, er den fjerde av en serie som har til hensikt å dokumentere parametrisering og verifisering av COUP-modeller for ulike klima-, jord- og 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 Groset 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 1981-2006.

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 1989 og det er utført målinger av snø, tele, jordtemperatur, grunnvannsstand, matrikspotensial med tensiometer og motstandsblokker. Det foreligger observasjoner av grunnvannsstand fra 1949 og av snø/teledyp fra 1973. Det er benyttet klimadata fra den meteorologiske stasjonen Møsstrand ved simuleringene (tilgjengelig data: 11.1980-09.2006).

Simuleringsresultatene for parametriserings- og verifiserings-perioden viser såpass bra overensstemmelse med måledata at COUP-modellen er et tilfredsstillende verktøy for vurdering av markvannstilstanden på Groset markvannsstasjon og deler av Møstvatn nedbørfeltet.

Totalt i dette arbeidet er det simulert daglige verdier for variable som beskriver markvanns- og grunnvannssituasjonen for perioden 06-1981 til 09-2006. 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 26 år. Modell-simuleringer skal også kunne foretas månedlig eller ved behov for å gi en oversikt over markvannstilstanden på Groset 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[1]: "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 Miljø- og 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 COUP-modellen 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. Fordampningen simulert med HBV er f. eks. overestimert om høsten og

[1] Faktaopplysninger om EACC finnes på http://www.umb.no/?viewID=4447

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 fjerde av en serie av rapporter "Vann i jord" som har til hensikt å dokumentere parametersettingen av COUP-modellen for ulike klima-, jord- og vegetasjonsforhold. Første del av rapporten gir en kort beskrivelse av markvannsstasjonen Groset med beliggenheten, jordtype, målinger og klimaforhold. Deretter følger en beskrivelse av parametersettet som er valgt for Groset-modellen. Modellen er kalibrert for perioden 06.1994-06.2002 med data innsamlet fra markvannsstasjon Groset. 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 1/6.1981-30/6.2006. Til slutt presenteres normalverdier og ekstremverdier for perioden 1981-2006.

Et først utkast av COUP-modell for markvannsstasjon Groset ble utviklet i 2004 (Colleuille, 2005; Beldring et al. 2006; Colleuille, 2006) og en annen modell i 2005 som en del av Øverlies hovedoppgaven (Øverlie, 2006). De to modellene ble utviklet uavhengig av hverandre og har ulike input data (bl.a. kornfordeling og pF-data) og ulike parametrisering. Modellen som er beskrevet her bruker i utgangspunktet samme input-data som i Øverlie (2006) men parametersettingen er litt forskjellig.

2. Stasjonsbeskrivelse

Forsøksfeltet og markvannsstasjonen Groset ligger øverst i nedbørsfeltet til Møsvatn (vassdragsnr. 016.H5) (figur 1). Stasjonen ligger i høyfjellsterreng, ca 1 km nord for utløpet av Møsvatn i Tinn kommune (figur 2).

Den sørvestlige delen av feltet ligger i Vinje kommune, resten av feltet tilhører Tinn kommune i Telemark. Feltets høyeste punkt er Grønlihovda på vannskillet i NE: 1117.5 moh. Laveste nivå er Grosettjern på 937 moh. (Colleuille, 2006).

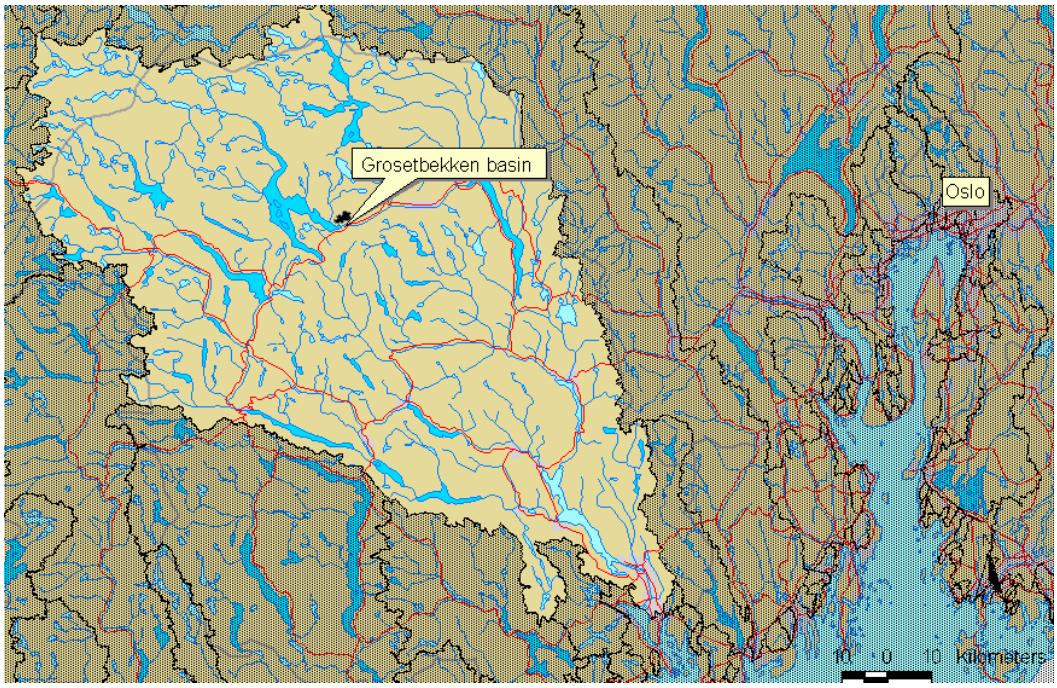
Grosetfeltet er til dels gryteformet. Nedbørfeltets areal er 6.2 km^2 hvorav 6.9 % er innsjøer, 17.4 % er myr og 75.7 % er skog og fjell. Flere tjern finnes spredt omkring i feltet i forskjellige høydelag. Tjernene ligger i forsenkninger mellom flere store og små koller. Myrområdene forekommer oftest i svakt skrånende terreng som til dels er krattbevokst. Bart fjell finnes bare i de nordlige og østlige grenseområdene av nedslagsfeltet. Foruten bjørk som utgjør det meste av skogen, finnes små klynger av gran helt opp til ca. 1000 moh.

Berggrunnen i Grosetfeltet inngår i Telemarkformasjonen og består av bergarter av granittisk eller gneisgranittisk type som nesten er ugjennomtrengelige for vann. Vannet som sirkulerer i disse bergartene beveger seg kun i de åpne sprekkene. Området domineres av et tynt morenedekke. For mer informasjon om Grosetfeltet mht. kvartærgeologi og vegetasjon vises til Colleuille (2006) og Aamodt (1986).

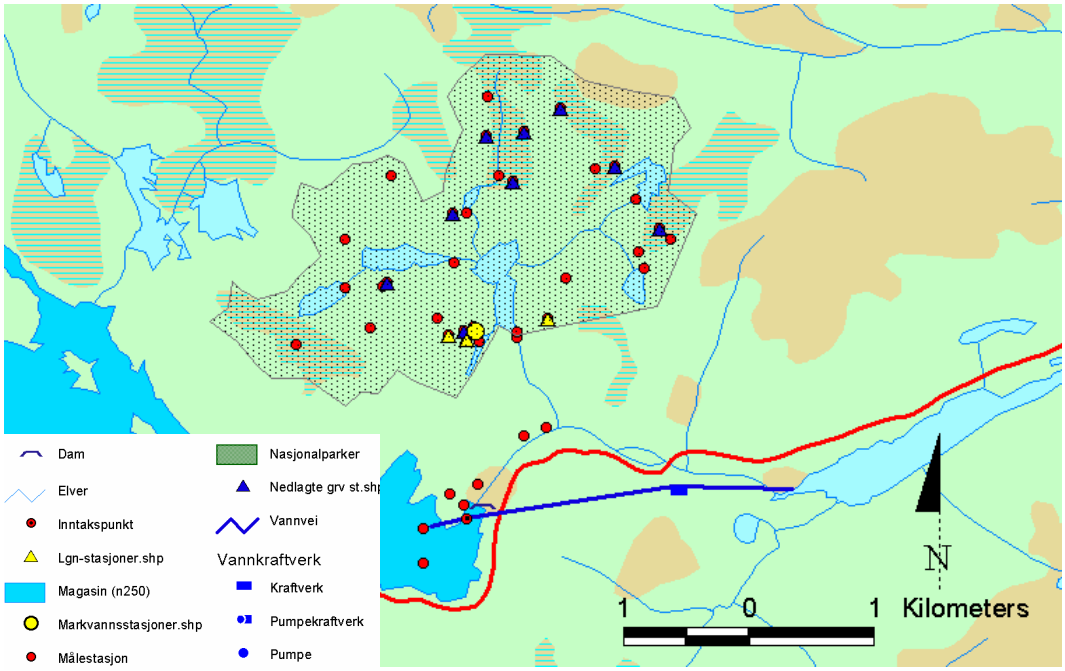
Markvannsstasjonen (se figur 2) ligger i svakt skrånende terreng. Rett ovenfor stasjonen er det fjellbjørkeskog. Vegetasjonstypen på stasjonen kan karakteriseres som Lav-krekling fjellbjørkeskog uten fjellbjørk. Nedenfor stasjonen er vegetasjonen preget av lyng/dvergbjørk/vier som går mot myrvegetasjonen nede ved vannet.

Tabell 1. Informasjon om markvannsstasjon Groset.

Stasjonsnavn	Groset
Stasjonsnr. (Hydra II)	16.233.0 og 16.232.1
Vassdragsnavn	Skiensvassdraget
Vassdragsnummer	016.Z
Areal	6.2 km^2
Høyde	937-1117 moh, markvannsstasjon: 950 moh
Kommune	Tinn/Vinje
Fylke	Telemark
Jordarter/avsetning	Sandig silt, siltig sand / morene



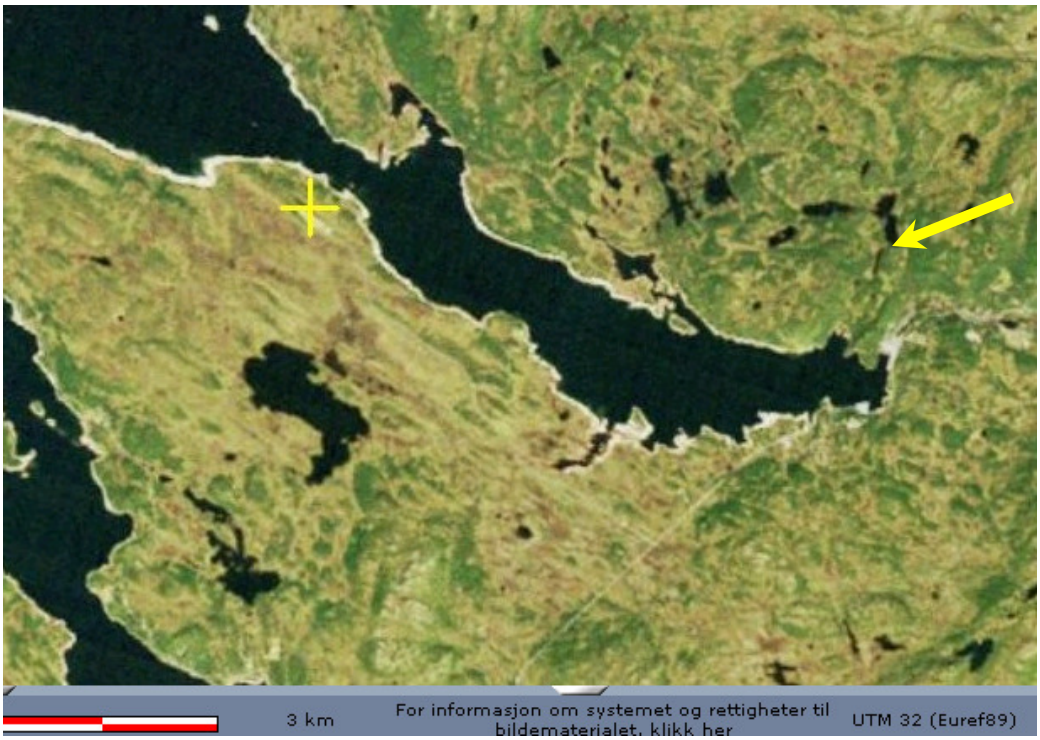
Figur 2-1: Oversiktkart som viser beliggenheten av Groset forsøksfelt i Skiensvassdraget.



Figur 2-2: Oversiktkart som viser beliggenheten av markvannsstasjonen i Grosetbekkens nedbørfelt.

3. Klima

Hydro Energi etablerte i 1990 sin egen klimastasjon på Groset. Stasjonen registrerer lufttemperatur, nedbør, vindhastighet og vindretning. Fra 1997 er kun nedbør registrert. For å kunne dekke et lengre tidsrom enn fra 1990 er det valgt å bruke data fra en nærliggende meteorologisk stasjon Møsstrand II (met.no nr 31620). Møsstrand II ligger ca 8 km fra markvannstasjonen og litt høyere, 977 moh. Versus 950 moh. (se figur 3-1). Mosstrand II er en manuelt betjent klimastasjon med registreringer av lufttrykk, temperatur, fuktighet, vind, nedbør og snødybde, samt skykarakteristikker.



Figur 3-1: Oversiktkart som viser beliggenheten til klimastasjon Møsstrand II (kryss) i forhold til markvannsstasjon Groset (pil). Kilde: www.norgeibilder.no.

Det foreligger data fra Møsstrand klimastasjon fra 1/11-1980 for lufttemperatur, nedbør, relativ fuktighet, vindhastighet og skydekke. Målinger av skydekke er ikke utført etter september 2006[2].

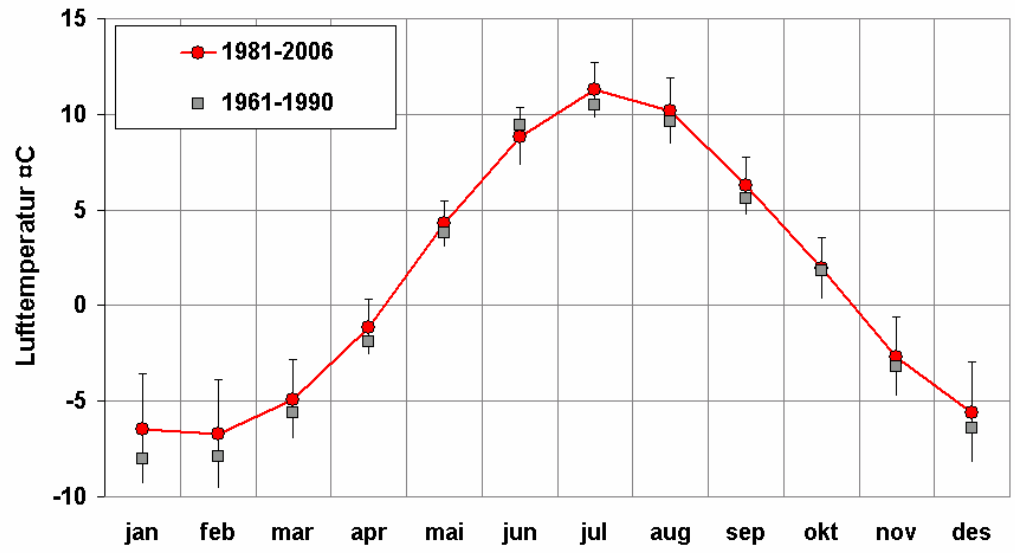
Området har et typisk innlandsklima, med en årsnedbør på 860 mm og en årsmiddeltemperatur på 0,6 °C for normalperioden 1961-1990 (kilde: met.no). Til sammenligning er årsmiddel av lufttemperatur 1.2 °C og gjennomsnittlig årsnedbør 826 mm for perioden 1988-2006. Den kaldeste årsmiddeltemperaturen var -0,4 °C (1985) og den varmeste 2.6 °C (2006). Det tørreste året har en årsnedbør på 623 mm (1991) og

[2] Fra september 2006 kan skydekke fra klimastasjon Tveitsund (nr. 37230, met.no) brukes. Denne stasjonen ligger i Vinje kommune ca. 120 km sør for Groset.

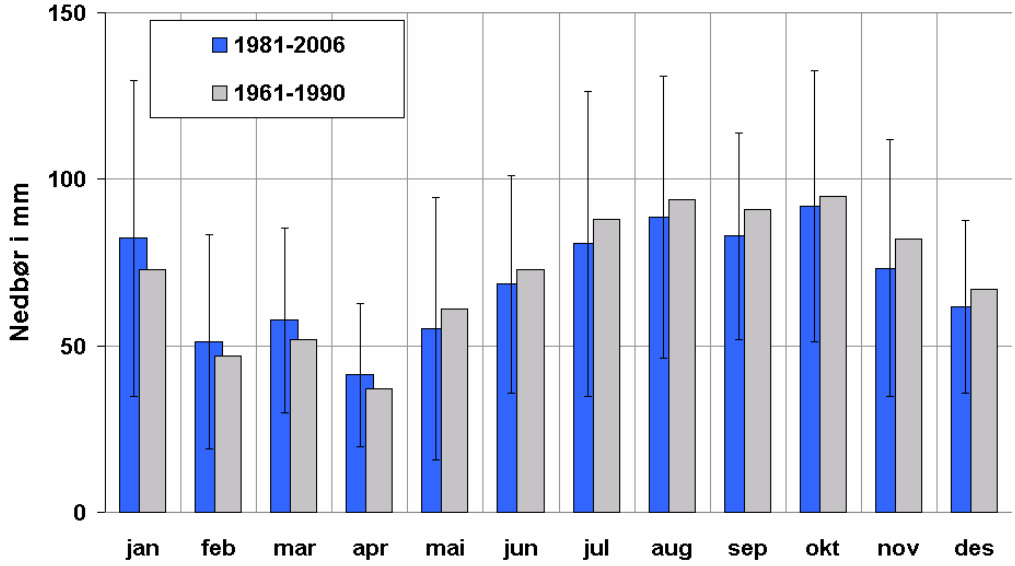
det fuktigste 1092 mm (1988) (tabell 3.1). Månedsnormaler for lufttemperatur og nedbør er vist i figur 3-2 og figur 3-3 sammen med tilsvarende verdier for perioden 1981-2006. Standardavvik for månedsverdiene er inntegnet i figuren. De mest nedbørrike månedene er juli-oktober mens den tørreste er april.

Tabell 3.1. Gjennomsnitt, minimum og maksimum årsmiddel av lufttemperatur, relativ fuktighet, vind, årsnedbør og skydekke for perioden 01.1981-12.2006.

	Lufttemperatur ºC	Relativ fuktighet %	Vind m/s	Nedbør mm	Skydekke 8-deler
Min	-0,4	78,5	3,0	623	6,2
Maks	2,6	91,1	4,5	1092	5,3
Gjen.	1,2	84,3	3,7	826	5,6



Figur 3-2: Månedsmiddel lufttemperatur for Møsstrand II i perioden 1981-2006 og normalperioden 1961-1990. Standardavvik for månedsverdiene i perioden 1981-2006 er inntegnet i figuren.



Figur 3-3: Månedssum nedbør for Møsstrand II i perioden 1981-2006 og normalperioden 1961-1990. Standardavvik for månedsverdiene i perioden 1981-2006 er inntegnet i figuren.

Frost og snø

Frost er her definert som når døgnmiddel av lufttemperaturen er mindre enn 0 °C og frostsum er sum av døgnmiddeltemperaturer lavere enn 0 °C for perioden 1/10-30/6. Antall dager med frost i vinterperioden og frostsum er i middel for de 26 vintrene i perioden 1981-2007 henholdsvis 99 dager og -578 døgngrader (tabell 3.2). Største antall fryse-/tineepisoder registrert er 18 (vinteren 1986-87) og laveste er 3 (vinteren 1985-86). Halvparten av vintrene har mer enn 10 fryse-/tineepisoder.

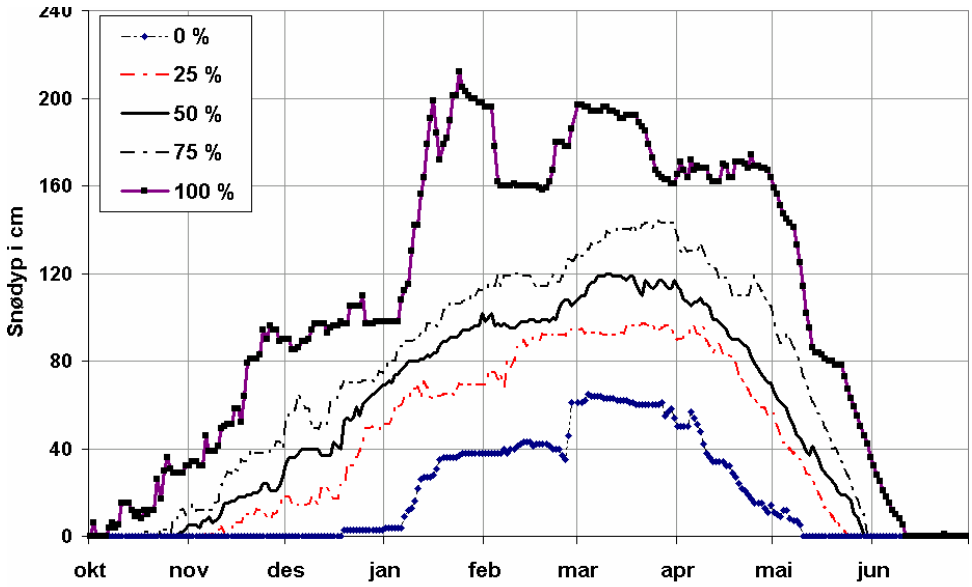
Tabell 3.2. Antall dager hvor døgnmiddel lufttemperatur (Tp) < 0 °C, frostsum og antall ganger Tp går fra >0 °C til <0 °C (fryse/tine-episoder) i vinterhalvåret 1/10-30/6, for årene 1980- 2007.

	Antall dager tp<0	Frostsum	Antall fryse/tine-episoder
11-1980-1981	160	-1173	11
1981-1982	182	-1214	13
1982-1983	163	-838	12
1983-1984	159	-1095	18
1984-1985	173	-1154	12
1985-1986	172	-1395	3
1986-1987	157	-1155	18
1987-1988	167	-874	11
1988-1989	85	-291	17
1989-1990	93	-343	11
1990-1991	98	-566	13
1991-1992	101	-411	15
1992-1993	104	-564	7

1993-1994	108	-791	5
1994-1995	118	-641	9
1995-1996	111	-830	6
1996-1997	103	-591	13
1997-1998	88	-468	11
1998-1999	95	-538	7
1999-2000	91	-444	9
2000-2001	108	-846	10
2001-2002	86	-393	10
2002-2003	95	-527	14
2003-2004	90	-573	9
2004-2005	89	-467	11
2005-2006	107	-717	9
2006-2007	90	-465	10
Middel	**118**	**-717**	**11**
Std. Avvik	**33**	**307**	**4**
Min	**85**	**-1395**	**3**
Maks	**182**	**-291**	**18**

For vintrene i perioden 1981-06 er antall dager med snødybde > 5 cm i middel lik 118 dager varierende fra 85 (1988/89) til 182 dager (1981/82). Årlig maksimum snødybde varierer fra 67 cm (1995/96) til 212 cm (1992/93) med en middelverdi på 133 cm.

Figur 3-3 viser observert snødybde presentert som persentiler for perioden 1981-2006. 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 29/10 er den første dagen med snødekke og at snøen er smeltet 30/5, dvs. snødekkes varighet er i median 214 dager.

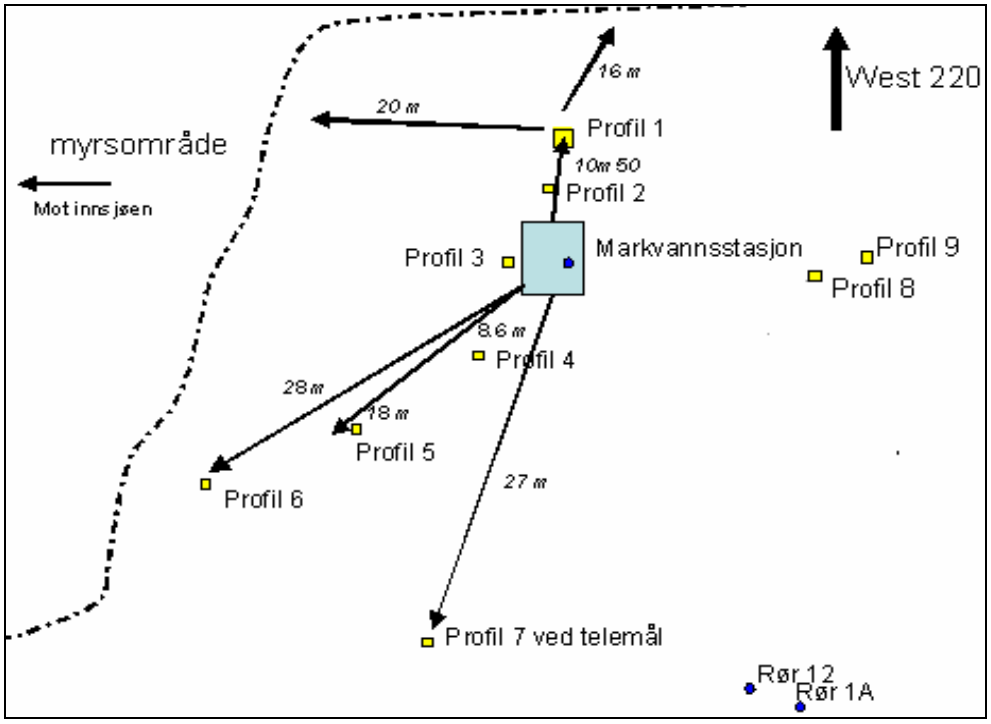


Figur 3-3: Observert snødybde på Møsstrand II presentert som persentiler for perioden 1981-2006.

4. Jord

I forbindelse med feltundersøkelser utført i 2004 ble det beskrevet 9 jordprofiler og tatt jordprøver for pF-analyser, mettet vannledningsevne og kornfordelingsanalyser (Øverlie, 2006). Jordprofilenes beliggenhet er vist i figur 4-1.

Beskrivelsen av jordprofilet som ligger 10 m nord for markvannsstasjon Groset (profil 1 se figur 4-1) er beskrevet i tabell 4.1. Profilet ble gravd ned til 170 cm og bilder fra jordprofilet er vist i figur 4-2. Profilet består av 4 hovedsjikt som er typisk for podsoljordsmonn: Organisk sjikt (O) fra 0-2 cm, lyst utvaskingssjikt (E) fra 2-10 cm, rødbrunt utfellingssjikt (Bhs) fra 10-40 cm med underliggende opphavsmateriale (C). For beskrivelse av de 8 andre jordprofiler (figur 4-1) ved markvannsstasjonen vises til Øverlie (2006).



Figur 4-1: Oversikt over lokalitetene til profilene beskrevet i forbindelse med feltundersøkelser i 2004.

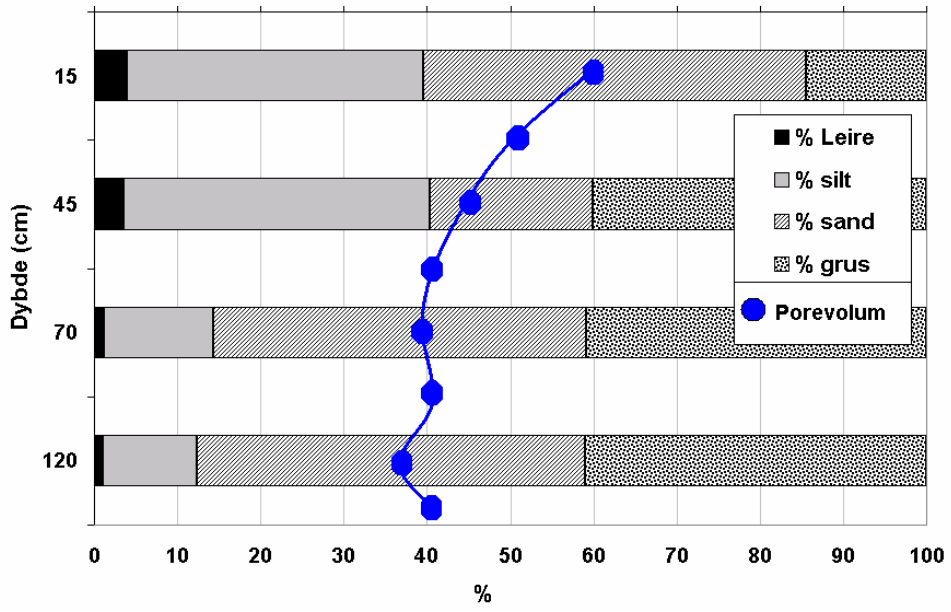
Tabell 4.1. Beskrivelse av jordprofil 1 ved markvannsstasjon Groset .

Sjikt	Dyp, cm	Jordart og beskrivelse
O	0-2	Svart delvis omdannet organisk materiale, mange røtter. Skarp, plan sjiktgrense.
E	2-10	Gråbrun steinholdig siltig mellomsand, mange røtter.
Bhs	10-40	Rødbrun steinholdig til steinrik siltig mellomsand. Svært kompakt med stedvise forekomster av aurhelle. Mange røtter til 30 cm dyp.
C	40-170	Grå til grågrønn steinrik mellomsand. Stor andel av større steiner ved 60-105 cm dyp. Tynt lag med finere materiale ved 120cm (Sandig lettleire – se figur 4.2). Grunnvannspeilet på ca. 180 cm (15.06.2004).

Undersøkelsene av de ni jordprofilene beskrevet i 2004 (Øverlie, 2006) viste store variasjoner i sjikttykkelser og tekstur over et relativt lite område. Profilene ned mot vannet og opp mot skogkanten hadde tykkere organisk sjikt enn profilet ved markvannstasjonen. Ved gravingen av jordprofilene var det tydelige variasjoner over både sted og dyp i innhold av grus, stein og blokk og hvor kompakte de ulike lagene var. Det ble funnet mindre områder med aurhelledannelse i B-sjiktet for flere av profilene, se øverste bilder i figur 4-2. Området er preget av svært heterogen morenejord med mye stein og blokker.

Figur 4.2. Jordprofil 1 ved markvannsstasjon Groset. Laget med sandig lettleire er vist der kniven er stukket inn i profilveggen nederst til venstre (Foto: W.K.Wong, juni 2004)

4.1 Kornfordeling



Figur 4-3: Kornstørrelsesfordeling i ulike dyp i jordprofilet ved markvannsstasjonen Groset i 1999 (H. Colleuille). Porevolum er beregnet ut fra gammametermålinger og materialtetthet (kilde NVE).

I vedlegg 1 er vist resultatene fra kornfordelingsanalyser av prøver tatt ved markvannsstasjonen Groset i 2001 og 2004 samt jordtettheten målt med gammameter. Jorda ved markvannsstasjon består hovedsakelig av siltig mellomsand i den øvre delen av profilet, deretter mellomsand med lokale linser av sandig lettleire ved 120 cm dyp (vedlegg 1 og tabell 4-1). Det er en opphopning av organisk materiale i Bhs-sjiktet. Innholdet av organisk materiale avtar så nedover i profilet. Tabell 4-2 viser teksturdata og glødetap for jordprofilet brukt i modellsimuleringer.

Tabell 4-2: Teksturdata og glødetap for markvannsstasjon Groset benyttet i modellsimuleringene (se også vedlegg 1).

Lag	Øvre grense	Nedre grense	Kornstørrelse (mm), vekt % av materiale < 2 mm							Glødetap
nr.	(m)	(m)	<0.002	0.002 - 0.006	0.006 - 0.02	0.02 - 0.06	0.06 - 0.2	0.2 - 0.6	0.6 - 2.0	g/100g tørr jord
1	0	0.1	3.6	4.0	11.7	14.8	21.0	27.3	16.5	3.2
2	0.1	0.4	1.9	2.3	6.3	8.9	23.2	38.3	18.1	3.5
3	0.4	0.6	1.2	0.6	2.4	5.8	66.3	21.7	1	1
4	0.6	0.8	1.2	0.9	2.8	5.7	34.2	41.9	12.8	0.5
5	0.8	4	6.4	1.4	3.4	7.0	26.1	46.0	9.2	0.5

4.2 Jordas hydrauliske egenskaper

Jordas vannretensjon (pF)

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 4-3. Videre i denne rapporten betegnes matrikssuget som sug i cm H_2O.

Tabell 4-3: Sammenhengen mellom ulike enheter for jordas matrikssug samt beregnet poreradius.

	bar	cbar = kPa	cm H_2O	pF	Porediameter (µm)
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	-	-

Retensjonsdata benyttet i modellsimuleringene er gitt i tabell 4.4. En beskrivelse av alle analyseresultatene er vist i vedlegg 2.

For modellsimuleringene må sammenhengen mellom matrikssug og vanninnhold 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). Ved COUP-simuleringene er Brooks og Corey's (1964) funksjon tilpasset måledataene og i tabell 4.5 er de estimerte parameterverdiene vist.

Tabell 4-4: Retensjonsdata benyttet i modellsimuleringene.

Lag nr.	Øvre grense (m)	Nedre grense (m)	Antall prøver	Volumprosent vann ved ulike sug (cm H_2O)							
				0	**7.5**	**20**	**50**	**100**	**500**	**1000**	**15000**
1	0	0.1	15	47.7	41.6	36.8	29.6	22.3	8.2	8	2.4
2	0.1	0.4	16	62.9	59	51.2	40.4	31.7	25.5	22.4	7.6
3	0.4	0.6	13	37.2	33	28	18.2	11.8	5.7	5.3	1.7
4	0.6	0.8	16	35.6	31.9	26.9	17.5	11.2	5.2	4.8	1.3
5	0.8	4	6	31.1	27.9	23.8	14.8	9.5	2	1.6	0.6

Tabell 4-5: Estimerte parameterverdier til Brooks og Corey's (1964) funksjon i COUP. λ er porestørrelsesfordelings indeks, *ψa* er suget ved første luftfyllte pore ("air-entry value") , *θs* er vanninnhold ved metning, *θwilt* er vanninnhold ved visnegrensa, *θr* er restvann, *θm* er makroporevolum og ψx er øvre grense for tilpassingen til funksjonen.

Lag nr.	λ -	ψ_a cm H_2O	θ_s vol %	θ_{wilt} vol %	θ_r vol %	θ_m vol %	ψ_x cm H_2O
1	0.39	10.3	45	3.6	0.08	4	8000
2	0.33	8.6	60	2.9	12.9	4	8000
3	0.41	6.1	40	2.5	0.05	4	8000
4	0.43	8.0	35	2.5	0.05	4	8000
5	0.64	11.3	30	2.7	0.02	4	8000

Jordas vannledningsevne

Mettet vannledingsevne er et mål på jordas evne til å slippe igjennom vann. Mettet vannledningsevne ble målt direkte i felt på Groset ved hjelp av tensjoninfiltrometer og på uforstyrrede prøver i laboratoriet. I tillegg er mettet vannledningsevne estimert fra kornfordelingsdataene for de ulike sjiktene.

Beskrivelse av analysemetoder for mettet vannledningsevner både i felt og i laboratoriet er beskrevet av Øverlie (2006). Resultatene er vist i vedlegg 3.

Mettet vannledningsevne er målt i laboratoriet på uforstyrrede prøver (100 cm^3) samt estimert ut fra tekstur i følge en rutine i COUP-modellen (Jansson og Karlberg, 2001). Resultatene for ulike dyp er vist i tabell 4-6.

Mettet vannledningsevne målt på laboratoriet viser store variasjoner mellom enkeltprøver. Den indikerte forskjellen mellom målinger med fallende og konstant gradient kan skyldes at prøvene er tatt ut fra ulike profil.

Tabellen 4-6 viser også hydraulisk ledningsevne estimert fra tekstur i modellen (Jansson og Karlberg, 2001).

Tabell 4-6: Vannledningsevne i mm/døgn fra målinger og estimert fra tekstur i modellen.

Lag nr.	Målt - Konstant gradient (mm/dag)			Målt - Fallende gradient (mm/dag)			Estimert fra tekstur (mm/dag)
	Middel.	Min	Max	Middel	Min	Max	
1	15083	6702	33593	2054	507	5507	873
2	21710	6116	63092	19806	6703	68275	6334

3	5090	3274	5000	19806	6703	68275	3210
4	3756	1747	5765	24108	3378	96647	1594
5	1905	1684	3378				573

Den mettede vannledningsevne estimert fra tekstur må anses som svært usikker da det er dårlig korrelasjon mellom tekstur og vannledningsevne i usortert morenejord (Haldorsen et al., 1983).

5. Metode

5.1 Målinger ved Groset markvannsstasjon

Grosetfeltet har siden slutten av femtitallet vært gjenstand for omfattende hydrologiske undersøkelser og har bl.a. hatt status som såkalt tilsigsfelt. Groset forsøksfelt ble etablert i 1949 som et samarbeid mellom Øst-Telemark Brukseierforening og Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen. Undersøkelsene omfattet fra 1970 registrering av snøens vanninnhold ved hjelp av snøpute, registrering av grunnvannstanden, registrering av nedbøren ved hjelp av totalisator, registrering av nedbøren ved hjelp av en pluviograf, observering av vannstanden i samtlige av feltets sjøer.

NVE etablerte en stasjon for studier av markvann i 1989. På markvannsstasjonen foretas målinger tilknyttet jordas vanninnhold og temperatur i den umettede sonen i jorda (over grunnvannsnivå). Stasjonen er siden 1999 automatisert med daglig fjernoverføring. Standardmålinger er jordfuktighet (resistansmålinger (ohms)), jordtemperatur (°C) i ulike dybder, og grunnvannsstand (m) (se tabell 5-1). Registreringer foretas hver time og overføres til NVE over telefon. I tillegg utføres manuelle målinger (tensiometer, nøytronmeter, snødyp og teledyp) for kontroll og kalibrering av automatiske registreringer. Resistansmålingene gir et uttrykk for jordas matrikssug og jordas vanninnhold samt teledybde estimeres fra disse målingene.

Her gis kun en oversikt over de ulike målingene for en nærmere metodebeskrivelse henvises til Colleuille og Gillebo (2002). For en mer detaljert beskrivelse av måledataene for Groset markvannsstasjon henvises til Øverlie (2006).

Tabell 5-1. Observasjoner ved Groset markvannsstasjon.

	Måledybder i cm	**Måleperioder**
Jordtemperatur *°C*	15, 30, 45, 60, 75, 90, 120	07.1999-
Resistans ohms	15, 30, 45, 60, 75, 90, 120, 150	07.1999-
Nøytronmeter vol %	15, 30, 45, 60, 75, 90, 120, 150	1994-2000 noen få punkter
Tensiometer cm vann	15, 30, 45, 60, 75, 90, 120, 150	1989-1994 og 2001-2005
Grunnvannsstand m	Brukes sammenheng mellom grvstd målt i rør 1 og på markvannsstasjon	1949 LGN rør 1 - logget fra 07.2003. Markvannsstasjon: 1989-2003
Snødyp m	Målt ved telemåler	10.1973-
Teledyp m	Telemåler	10.1973-
Snøpute: Snøens vannekvivalent mm		10. 1971-

5.1.1 Snø

Manuelle snømålinger er utført ved markvannsstasjonen Groset siden 1973. Snødybden måles ved hjelp av en stake ved siden av telemåleren. Nøyaktigheten antas å være +/- 1 cm.

Snøens vannekvivalent er målt med snøpute fra 1971. Snøputen er utviklet av NVE og er beskrevet i Engeset et al. (2000) og Colleuille et al. (2001). Snøputen registrerer den daglige utviklingen av snøakkumulasjon og avsmeltingen.

5.1.2 Tele

Manuelle målinger av teledybde ved markvannsstasjonen er utført fra 1973. 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 med motstandsblokker gir også et estimat på teledybden i jorda. Motstandsmålinger er nærmere 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 mellom to elektroder i en porøs keramisk blokk. Det øverste måledypet er 15 cm og deretter for hver 15. cm. Teledybder mindre enn 5 cm vil derfor ikke kunne måles. 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.

Jordtemperaturmålingene brukes ikke direkte til estimering av teledyp pga. usikkerhet tilknyttet kalibreringen av sensorene men brukes indirekte for en sjekk av målingene med elektriske motstandsblokker.

5.1.3 Jordtemperatur

Det er utført målinger av jordtemperatur på timebasis med sensorer på ulike dyp ved markvannsstasjonen siden 07.1999. I denne rapporten benyttes kun 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

Elektriske motstandsblokker

En elektrisk motstandsblokk består av en keramisk celle der motstanden måles mellom to innebygde elektroder. Vanninnholdet i den keramiske cellen varierer med jordas matrikssug på det aktuelle dyp. Målinger på timebasis er foretatt på markvannsstasjonen siden 1999 for dypene 15 cm, 30 cm, 45 cm, 60 cm, 75 cm, 90 cm, 120 og 150 cm.

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 er derfor 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 og dette medfører at sensorene indikerer et større matrikssug (tørrere jord) ved temperaturer lavere enn 10 – 15˚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 matrikssug med tensiometer.

Tensiometermålinger

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 trekkes ut av tensiometerkoppen på grunn av lavere energinivå i jordvannet 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.

Somrene 1989-1994 og 2001-2005 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.

Tensiometermålingene som ligger til grunn for kalibreringskurven er utført i relativt våt jord. Sammenhengen mellom elektrisk motstand og matrikssug for tørr jord er 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.

Nøytronmeter

På Groset er det utført manuelle målinger av vanninnhold med nøytronmeter ved 3 ulike adkomstrør i perioden 1994-2000. Måleprinsipp, bruksområde, nøyaktighet og begrensninger og nødvendige kalibreringer er beskrevet i Colleuille og Gillebo (2002).

Målingene er ikke brukt i denne rapporten siden det foreligger få målinger hvert år og variasjonene mellom de 3 rørene er relativt stort, noe som antagelig skyldes forekomsten av større stein og blokker.

5.1.5 Grunnvann

Grunnvannsstanden er målt ved markvannsstasjonen siden den ble opprettet i 1989. Målingene ble automatisert ved hjelp av en trykksensor og tilkoblet en logger i perioden 07.1999-07.2003. Det er bra sammenhengen mellom grunnvannsstand målt på markvannsstasjon og LGN rør 1 som ligger ca. 30 m fra markvannsstasjon (vedlegg 7). Det foreligger data fra 1949 fra rør 1 og den ble derfor valgt å registrere grunnvannsstand automatisk kun i dette rør fra juli 2003.

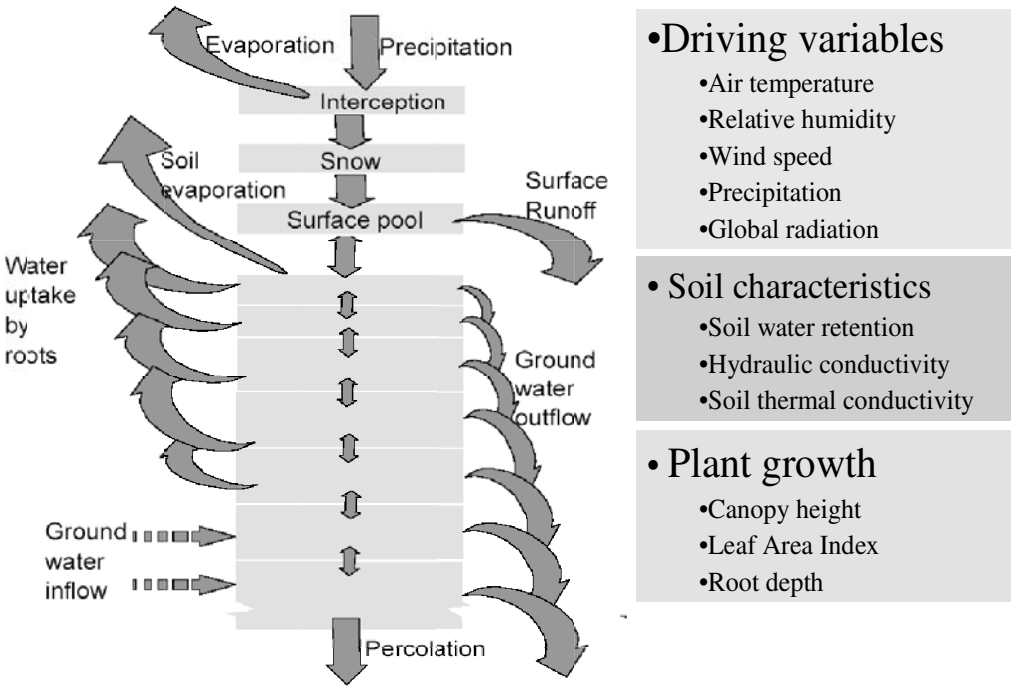
Ved markvannsstasjonen og rør 1 benyttes en Wika-sensor. Sensoren har et måleområde på mellom 5 og 10 meter vannhøyde og en nøyaktighet på rundt 0,25 %, det vil si ca. +/- 1cm. Dette inkluderer temperaturpåvirkningen som kan stå for +/- 0,5cm. Manuelle målinger av grunnvannsstand med lodd og målebånd 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 6-1 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 (Darcy's lov) og temperatur (Fourier's 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.



Figur 5-1: Oversiktsskisse over vannbalanse i COUP-modellen (Jansson og Karlberg, 2001).

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 av COUP-modelen ved kalibreringen mot daglige observasjoner.
- Verifisering mot uavhengige observasjoner fra samme sted for en annen tidsperiode

6. Parametrisering

Parametriseringen av COUP-modellen for Groset er utført mot måledata fra markvannsstasjonen for tidsperioden 1/6-1994 til 30/6-2002. Den første delen av dette kapittelet tar for seg parametriseringen av modellen med hensyn på vinterforhold med snø og tele. Deretter omtales jordtemperaturen før en kommer inn på vannbalanse i jorda og grunnvannstand i den siste delen av dette kapitlet. Oversikt over hvilke løsninger og parameterverdier som er benyttet i modellen for Groset er gitt i vedlegg 4.

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. De første 80 cm i jordprofilet er beskrevet av 5 ulike pF-kurver[3] (se kapitel 4). Ved markvannsstasjonen er det kun et tynt organisk topplag hvor en ikke fikk målt jordas hydrauliske egenskaper og simuleringene er derfor foretatt for kun mineraljordssjiktene.

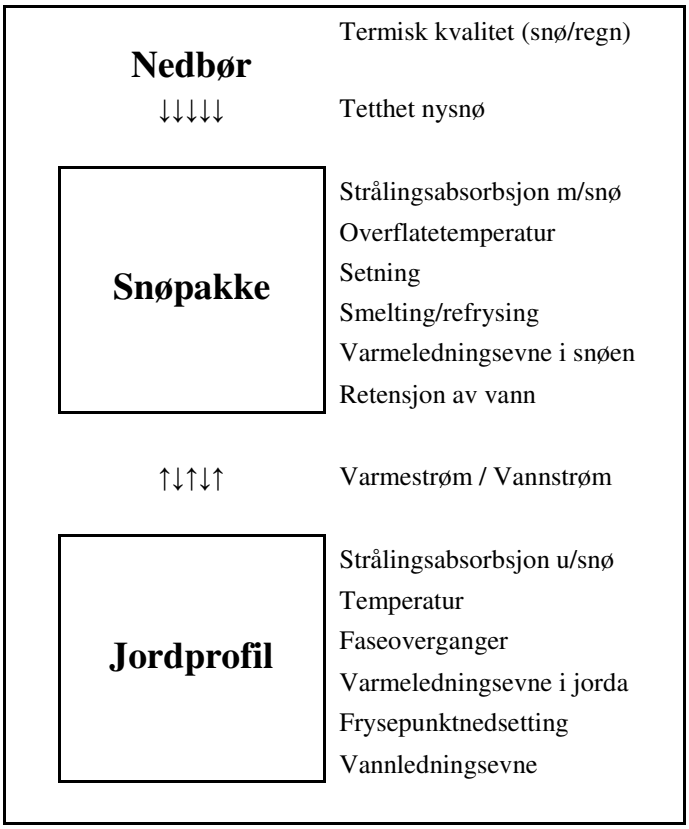
Tabell 6-1. Laginndeling benyttet i COUP-modellen for Groset markvannsstasjon.

Lag	Øverste dyp (cm)	Nederste dyp (cm)	Sjikttykkelse (cm)	pF-kurve	Sjikt
1	0	2.5	2.5	1	E
2	2.5	7.5	5	1	E
3	7.5	22.5	15	2	B
4	22.5	37.5	15	2	B
5	37.5	52.5	15	3	C
6	52.5	67.5	15	3	C
7	67.5	82.5	15	4	C
8	82.5	97.5	15	5	C
9	97.5	112.5	15	5	C
10	112.5	127.5	15	5	C
11	127.5	142.5	15	5	C
12	142.5	157.5	15	5	C
13	157.5	207.7	50	5	C
14	207.7	277.5	70	5	C
15	277.5	377.5	100	5	C

[3] I COUP-modell er database 900:2 Groset 2007 benyttet.

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 valget av COUP-modellen. Tele i jord reduserer jordas infiltrasjonsevne betydelig og påvirker derfor i stor grad avrenningsmønsteret i vinterhalvåret. Under snøsmelting på jord med tele så vil vannet raskere transporteres til vassdrag og svært lite vil gå til grunnvannsfornyelse. Ved siden av lufttemperatur så har snødybde og snøtetthet stor betydning for teleforholdene i jordprofilet om vinteren. 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 – nysnøens tetthet, 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”) og over en bestemt temperatur er all nedbør regn (parameteren ”OnlyRainPrecTemp”). 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 nedbøren 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 (Jansson og Karlberg, 2001).

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 fører dette til 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 siden dette er viktig med hensyn til infiltrasjon av smeltevann.

Tabell 6-2 viser parameterverdier i modelltilpasningen for snø og teledyp. Begrunnelser for valg av disse parametrene er beskrevet i Øverlie (2006). ”MeltCoefGlobRad” og ”MeltCoefAirTemp” er empiriske parametrene som kontrollerer snøsmeltingen.

Grensebetingelsene for å løse energibalansen i jorda er ved simuleringene satt til:

- Øvre grense: Jordoverflatetemperaturen er lik lufttemperaturen for ikke snødekt mark, mens den er estimert ut fra lufttemperatur, snødekkets tykkelse og simulert jordtemperatur i øverste lag når det foreligger et snødekke

- Nedre grense: Konstant varmestrøm inn i jordprofilet

For en mer detaljert beskrivelse av grensebetingelsene henvises til Jansson og Karlberg (2001). Det finnes andre muligheter for å sette grensebetingelsene men det er disse som i våre simuleringer har virket mest stabile.

Parametersettingen, som er vist for enkelte viktige parametre i tabell 6-2, medførte for de fleste årene at simulert teledyp var dypere enn målingene viste. En bedre parametrisering vil da innebære enten å nedsette transporten av varme ut av profilet eller øke transporten av varme inn i profilet eller varmemengden i profilet. Flere ulike alternativer ble prøvd for en forbedring av simulert teledyp, som eksempler kan nevnes: Endring i snødekkets varmeledningsevne enten direkte eller indirekte gjennom endring av snøens tetthet, overflatetemperaturen estimert ut fra løsningen av en forenklet energibalanse ved overflaten, økt varmestrøm inn i jordprofilet nedenfra, økt varmelager i de dypere jordlagene.

Den enkleste måten å begrense teledypet var å øke jordas volumetriske varmekapasitet (”Heat capacity of solid”) for de 3 dypeste lagene (mellom 1.6 og 4 m dyp). Jordas varmekapasitet er et uttrykk for den treghet materialet har mot å forandre temperatur og den angir hvor mye energi (varmemengde) som skal til for å varme opp en volumenhet på 1 °C. En oversikt over volumetrisk varmekapasitet for ulike stoff er vist i tabell 6-1b:

Tabell 6-1b: Volumetrisk varmekapasitet for ulike stoff er vist nedenfor (Hillel 1980)

Komponent		J/m^3 °K
Vann	Flytende	4.2E+06
	Fast (Is)	1.9E+06
Fast materiale	Mineralmateriale	2.0E+06
	Organisk materiale	2.5E+06
Luft		1.25E+03

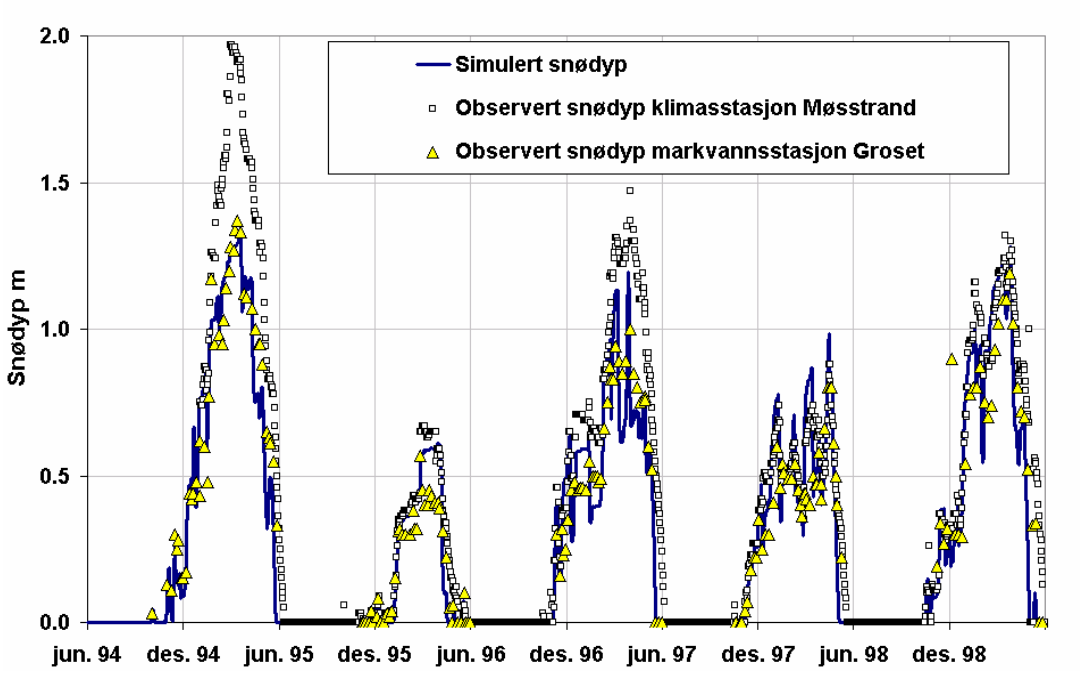
Standardverdier for volumetrisk varmekapasitet i modellen er 2.0E+06 J/m^3 og °K. En vannmettet jord med 30 vol % porer vil ha en volumetrisk varmekapasitet på ca 2.7E+06 J/m^3 og °C.

En økning kun av varmestrømmen inn i profilet ga knapt synbare endringer i jordvarmefluks og temperatur med unntak av det aller nederste laget. Fordelen med å endre varmekapasiteten er at en får et varmelager som stabiliserer temperaturen spesielt i dypere lag, noe som virker rimelig når en vurdere det opp mot at grunnvannstemperaturen er relativt stabil gjennom året. Bakdelen er at det også gir mindre temperatursvinginger i ovenforliggende lag sammenlignet med målt jordtemperatur (se senere sammenligninger målt og simulert jordtemperatur). Uten økt varmekapasitet nåes den maksimale oppoverrettede jordvarmefluksen mellom nederste og nest nederste jordlag minimum i november/desember og er null rundt førsten av mai. Med økt varmekapasitet men med samme konstante jordvarmefluks inn i profilet er tilsvarende jordvarmefluks tilnærmet stabil fra slutten og resten av vinteren. For det første gir denne økte varmetilførselen nedenfra et mindre teledyp samtidig som den også medfører en økende betydning av jordvarmefluksen for tiningen av tele i jorda. Selv om det i utgangspunktet kunne virke litt merkelig å øke jordas varmekapasitet i dypere jordlag siden det ikke foreligger slike endringer i jordprofilet, så har det vist seg som en effektiv metode for en forbedret tilpasning av både teleforholdene og derigjennom også grunnvannsstand. I tillegg har en slik endring i jordas varmekapasitet gitt effekter på jordvarmefluksen som virker sannsynlige (se ovenfor) noe som indikerer at det kan

være svakheter i enkelte prosessbeskrivelser i modellen. Vi vil senere trekke inn også grunnvannstemperaturer, ev. målinger av temperaturer i dypere jordlag for å se om dette understøtter en slik parametrisering. Et alternativ løsning uten endringen i jordas varmekapasitet er presentert i vedlegg 8.

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

Parameter	Benyttet verdi	Standardverdier i COUP	Enhet
DensityOfNewSnow	**110**	100	Kg/m^3
MeltCoefAirTemp	**3**	2	-
MeltCoefGlobRad	**4.5 e^{-7}**	1.5 e^{-7}	Kg/J
OnlyRainPrec Temp	2	2	°C
OnlySnowPrec Temp	0	0	°C
Heat Capacity of solids	**2 e+7 i lag 13-15** 2 e+6 i lag 1-12	2e+6	$J/m^3/°C$



Figur 6-2: Simulert og observert snødyp på markvannsstasjon Groset og klimastasjon Møsstrand i perioden 06.1994-06.1999.

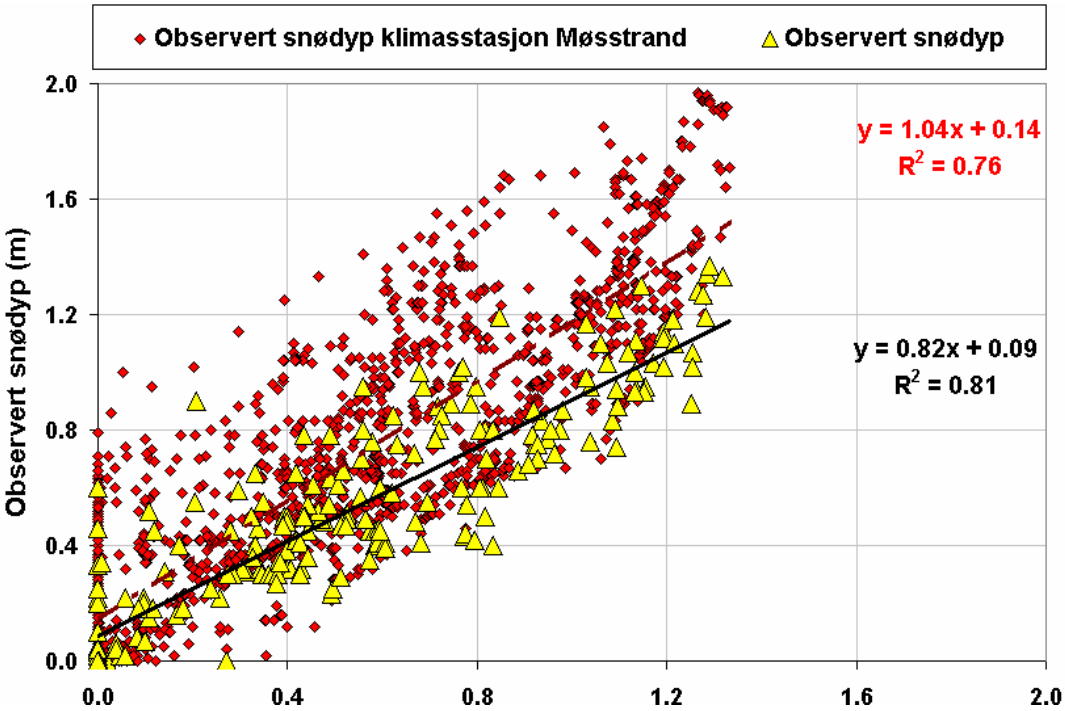
Tabell 6-3 viser statistiske resultater av tilpassingen for snø mot målinger av snødybde ved markvannsstasjonen og ved den meteorologiske stasjonen, samt tilpasningen for teledyp (manuelle målinger) og snøens vannekvivalent (snøpute).

Tabell 6-3: Resultat av tilpassing av snøens vannekvivalent (snøpute), snødyp og teledyp i perioden 01/6.1994 til 30/6.2002.

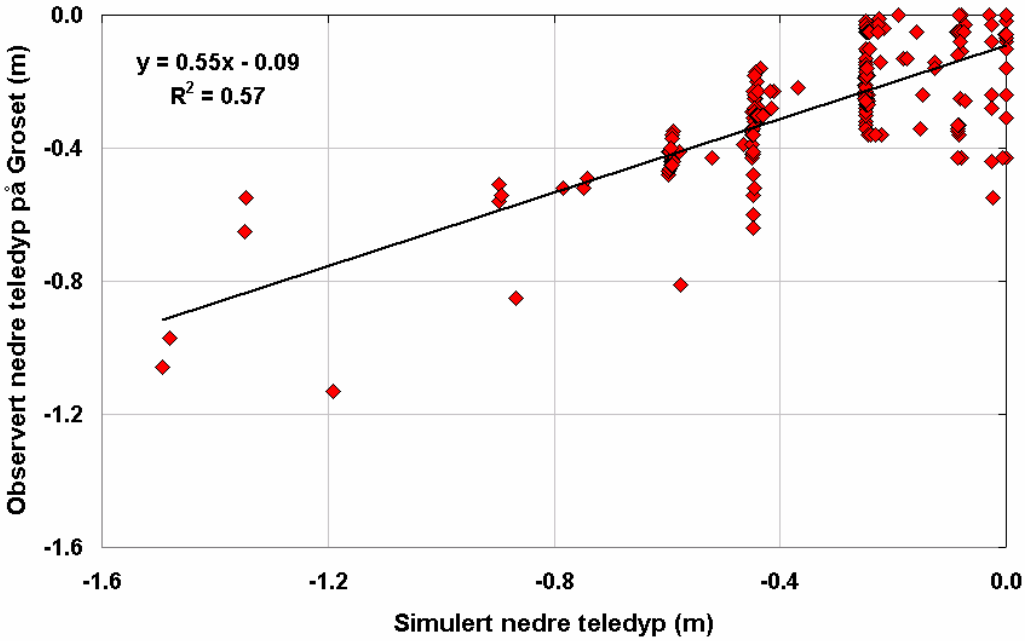
	Observasjoner (n)	R^2	Intersept	Helningskoef.	RM (1)	RMSE (2)
Snødybde Groset	238	0,81	0,09	0,82	0,11	0,35
SnødybdeKlimastas.	1667	0,76	0,14	1,04	-0,16	0,28
Snøens vann-ekvivalent (snøpute)	1792	0,84	13,71	0,93	-3	57
Teledybde	231	0,57	-0,09	0,55	-0,05	0,17

(1): RM = 1/n ∑(sim-målt)

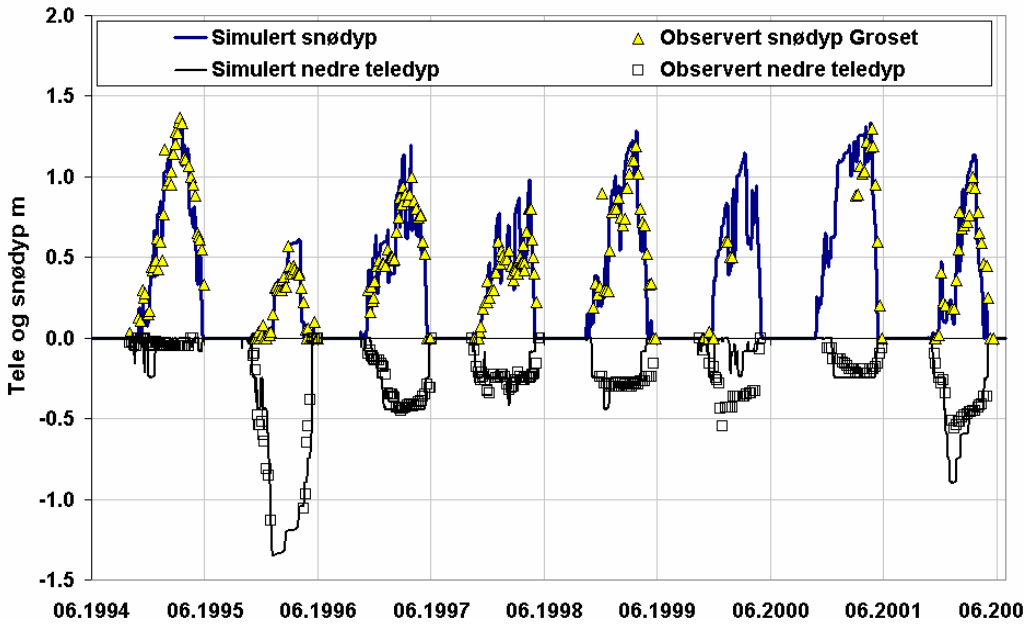
(2): RMSE= √(∑(sim-målt)^2)/n)



Figur 6-3: Simuleringer av snødybde plottet mot samtidige snømålinger på markvannsstasjonen Groset (triangler) og den meteorologiske stasjonen Møsstrand II (romber) i perioden 01/6.1994 til 30/6.2002. Linjene viser regresjonslinjene for henholdsvis markvannstasjon og meteorologistasjon (stiplet).



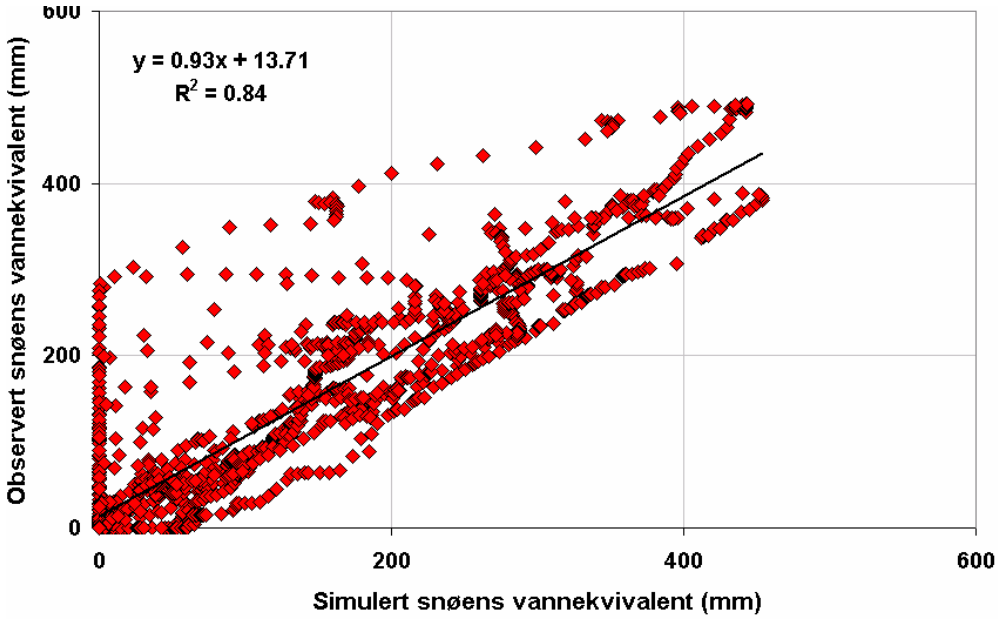
Figur 6-4: Simuleringer av teledyp plottet mot samtidige manuelle telemålinger på markvannsstasjonen Groset i perioden 01/6.1994 til 30/6.2002. Linjen er regresjonslinjen.



Figur 6-5: Simulert og observert snø- og teledyp på markvannsstasjon Groset i perioden 01/6.1994 til 30/6.2002. Simuleringer med parameter angitt i tabell 6-2.

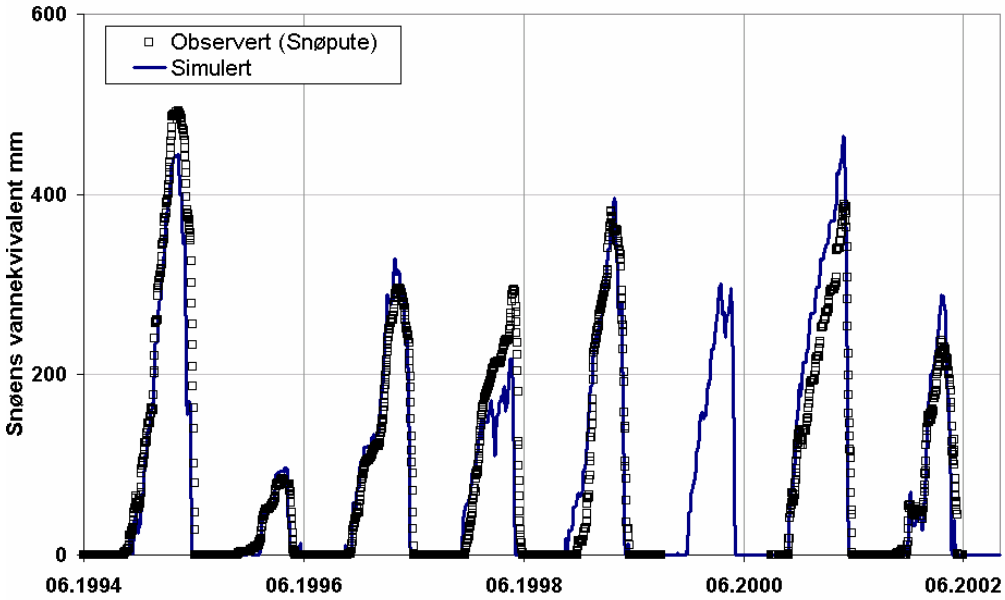
Vedlegg 6 viser simulert og observert snø- og teledyp med standardverdien for jordas varmekapasitet. Med standardverdien er simulert teledyp dypere enn observert spesielt i årene med dyp tele. Simuleringen med parameterverdier angitt i tabell 6-2 gir relativt

god tilpasning med observasjoner for alle vintrene i parametriseringsperioden (figur 6-3 til 6-6 og tabell 6-3).



Figur 6-6: Simuleringer av snøens vannekvivalent plottet mot samtidige målinger fra snøputen på Groset i perioden 01/6.1994 til 30/6.2002.

Figur 6-6 viser at det er ikke simulert snø i perioder hvor det er målt snø. Modellen ser ut å simulere raskere smeltingen enn observasjonene viser slik at jorda blir snøfri ca. 1 uke før observasjonene.



Figur 6-7: Simulert og observert snøens vannekvivalent på Groset i perioden 1/6-1994-30/6-2002.

Figur 6-6 og 6-7 viser bra tilpasningen mellom simulert og observert snøens vannekvivalent (snøpute). Det er observert større mengder vannekvivalent om vinteren

1997-1998 og mindre om vinteren 2000/2001 enn simulert. Det er vanskelig å vurdere om det er modellen som feiler eller om det er feil i snøputeregistreringene pga tekniske problemer (se bl.a Colleuille et al. 2001).

6.3 Jordtemperatur

Målestasjonen ble automatisert i 1999 og observasjoner av jordtemperatur er tilgjengelig fra juli 2000 for alle dybder. Det er kun få målinger for parametriseringsperioden og vi har derfor utvidet perioden fra 30/6-2002 til 31/12-2003.

I tilknytning til beskrivelsen av simuleringer av snødybde (6.2.1) ble det nevnt at endringer i de dypere lagenes varmekapasitet gir utslag også på jordtemperaturen i ovenforliggende lag. For å få et innblikk i effekten av en slik endring i varmekapasiteten er resultatene både med og uten endringer i varmekapasitet gjengitt her. Median og ekstremverdier i hvert lag for målinger og simuleringer i perioden er vist i tabell 6-4.

Tabell 6-5 viser frostsum og antall dager med jordtemperatur under 0 ºC.

Tabell 6-4: 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 07.2000-12.2003. I parenteser er resultatene med standardverdien for varmekapasitet angitt.

Dybde (cm)		Median		Kaldest		Varmest	
Simulert	Målt	Simulert	Målt	Simulert	Målt	Simulert	Målt
7.5-22.5	**15**	0,9 (1,0)	0,6	-5,9 (-5,9)	-2,8	13,8 (14,8)	15,6
22.5-37.5	**30**	1,4 (1,5)	0,8	-3,6 (-3.8)	-1,7	11,8 (13,4)	13,5
37.5-52.5	**45**	4,1 (5,2)	4,2	0,3 (0,0)	0,2	10,6 (12,4)	12,4
52.5-67.5	**60**	2,2 (2,5)	1,6	-0,1 (-1,4)	-0,1	9,6 (11,7)	11,2
82.5-97.5	**90**	2,7 (3,2)	3,0	0,1 (-0,4)	0,9	8,3 (11.2)	10,2

OBS: det er lite data for 45 cm dyp. Antall dager med data er forskjellig for de ulike dybder (se tabell 6-6).

Det er relativt bra overensstemmelse mellom medianverdiene. Ekstremverdiene indikerer en mindre amplitude for simuleringen med økt varmekapasitet i dypere lag.

Tabell 6.5 viser at simuleringene av frostsum og antall dager med temperatur under 0 ^{o}C er overestimert for det øverste dypet (15 cm), men er relativt lik for de andre dypene. Det er nesten dobbelt så mange observert dager med temperatur under 0 ^{o}C enn simulert ved 15 cm dyp. Selv om det er store forskjeller i antall dager så er det liten forskjell i medianverdier. Likeledes skal en være klar over at temperaturfølerene ikke har vært kalibrert etter nedsetting.

Tabell 6-5: 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 07.2000-12.2003. I parenteser er resultatene med standardverdien for varmekapasitet angitt.

Dybde (cm)		Antall dager T < 0 C		Median T < 0 °C		Sum T < 0 °C	
Simulert	Målt	Simulert	Målt	Simulert	Målt	Simulert	Målt
7.5-22.5	**15**	590 (537)	343	-0,3 (-0,2)	-0,2	-298 (-261)	-146
22.5-37.5	**30**	282 (333)	319	-0,2 (-0,1)	-0,3	-96 (-124)	-125
52.5-67.5	**60**	32 (152)	30	-0,2 (0,0)	0,0	-10 (-28)	-1
82.5-97.5	**90**	0 (138)	0	-	-	0 (-12)	0

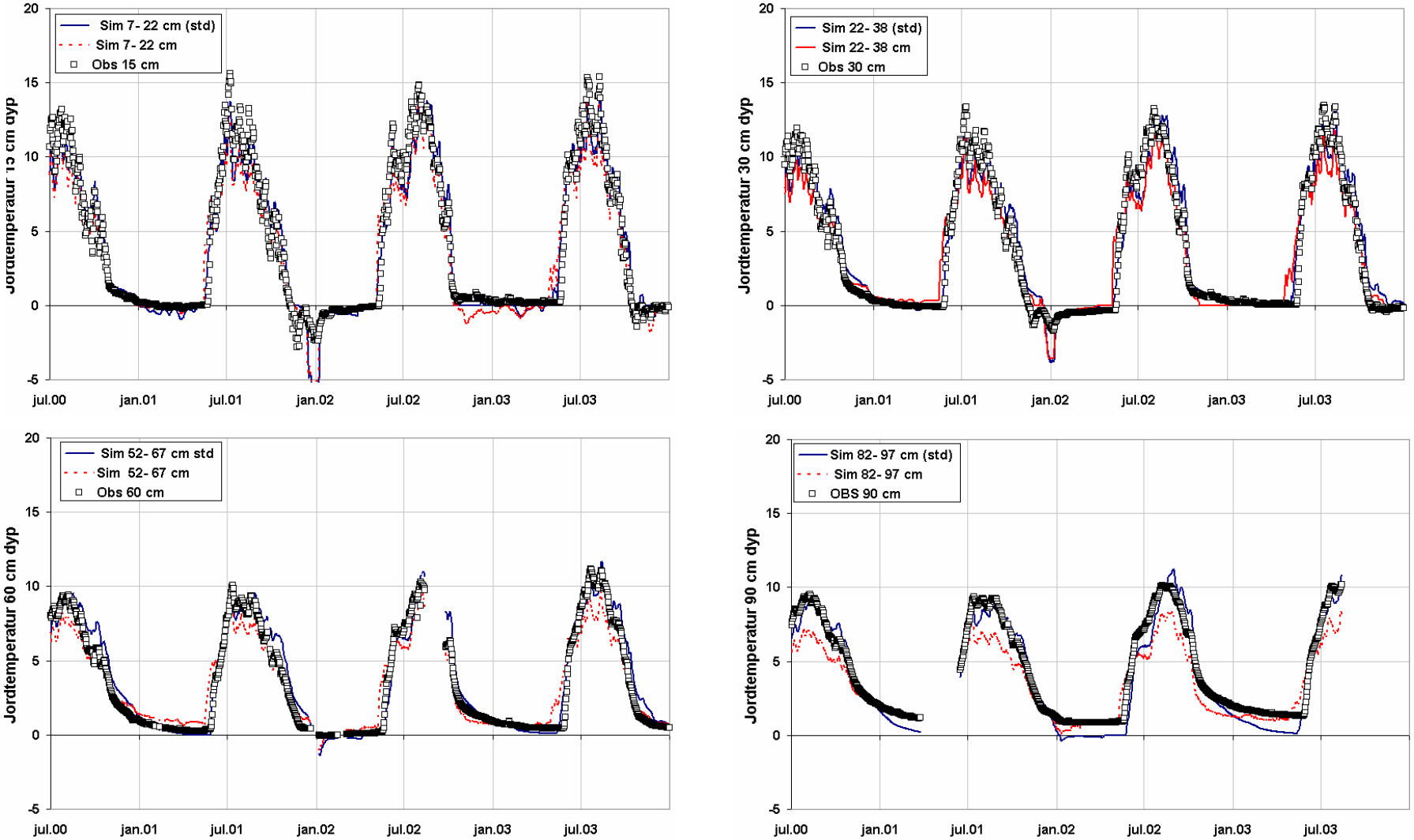
Tabell 6-6 viser resultatene fra statistiske analyser mellom observasjoner og simuleringer. Tabellen viser at simuleringene med standardverdien for varmekapasitet som oftest gir litt bedre tilpasning til målingene enn simuleringer med økt varmekapasitet. Middeldifferensen (RM) mellom simulert og målt viser en svak tendens til at jordtemperaturen for alle dyp underestimeres (0,1-0,9) °C med økt varmekapasitet i jorda, mens med standardverdier for varmekapasitet er differensen mindre og varierer mellom -0,4 °C (underestimert) og +0,3 °C. Usikkerheten i temperaturmålingene er som omtalt i kapittel 5 relativt stor, minst +/- 0,2 °C.

Tabell 6-6: Statistiske mål for sammenhengen mellom simulert og målt jordtemperatur for perioden 07.2000-12.2003. I parenteser er resultatene med standardverdien for varmekapasitet angitt.

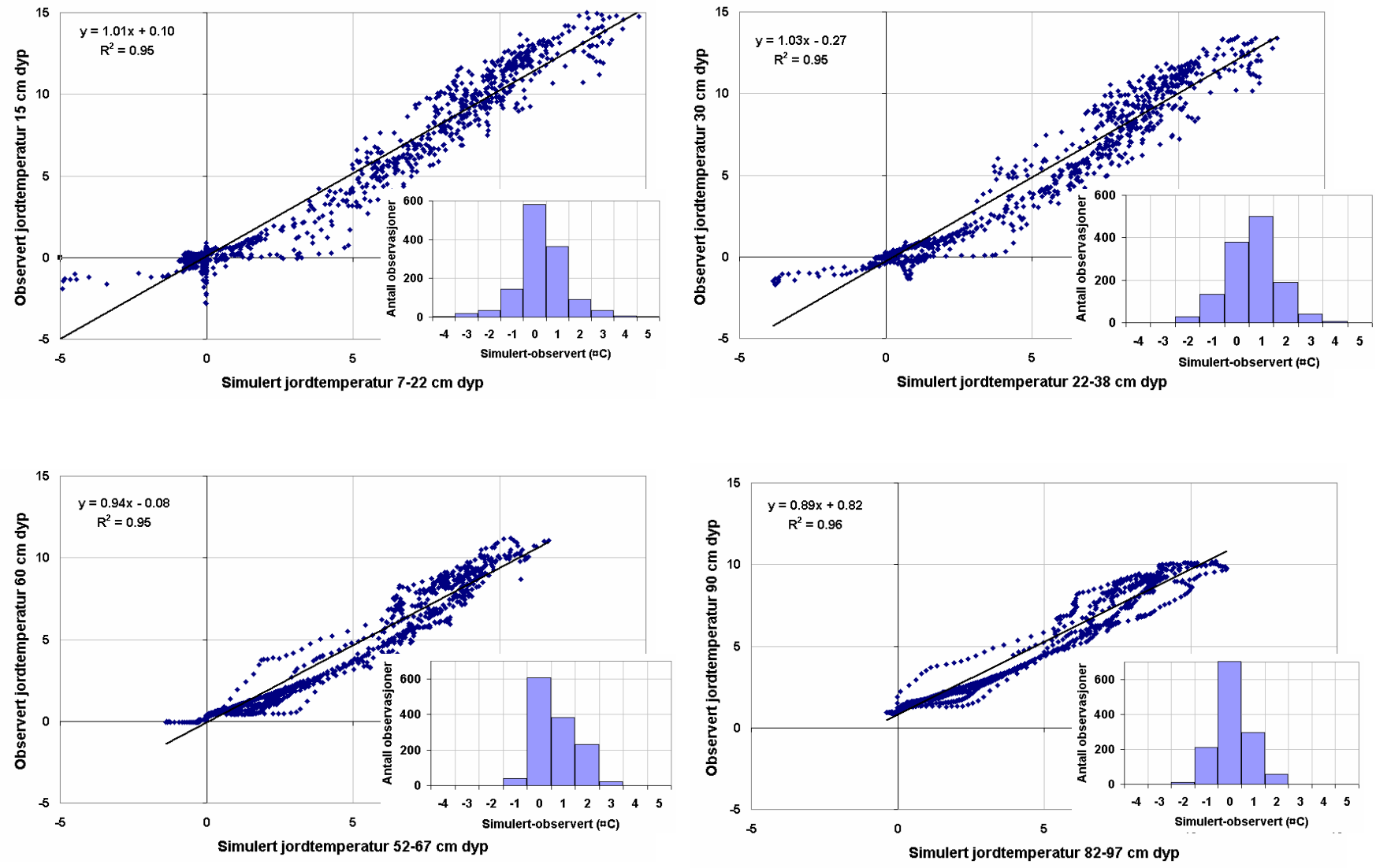
Dybde	Observasjoner (n)	R^2	Intersept	Helningskoef.	RM (1)	RMSE (2)
15 cm	1276	0,94 (0,95)	0,25 (0,1)	1,09 (1,01)	-0,5 (-0,2)	1,4 (1,1)
30 cm	1270	0,94 (0,95)	-0,28(-0,27)	1,16 (1,03)	-0,3 (0,2)	1,3 (1,0)
45 cm	683	0,95 (0,95)	-0,2 (-0,33)	1,22 (1,03)	-0,4 (0,1)	1,0 (0,7)
60 cm	1178	0,93 (0,95)	-0,51(-0,08)	1,19 (0,94)	-0,1 (0,3)	1,1 (0,8)
90 cm	1052	0,94 (0,96)	-0,16 (0,82)	1,29 (0,89)	-0,9 (-0,4)	1,4 (0,9)

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

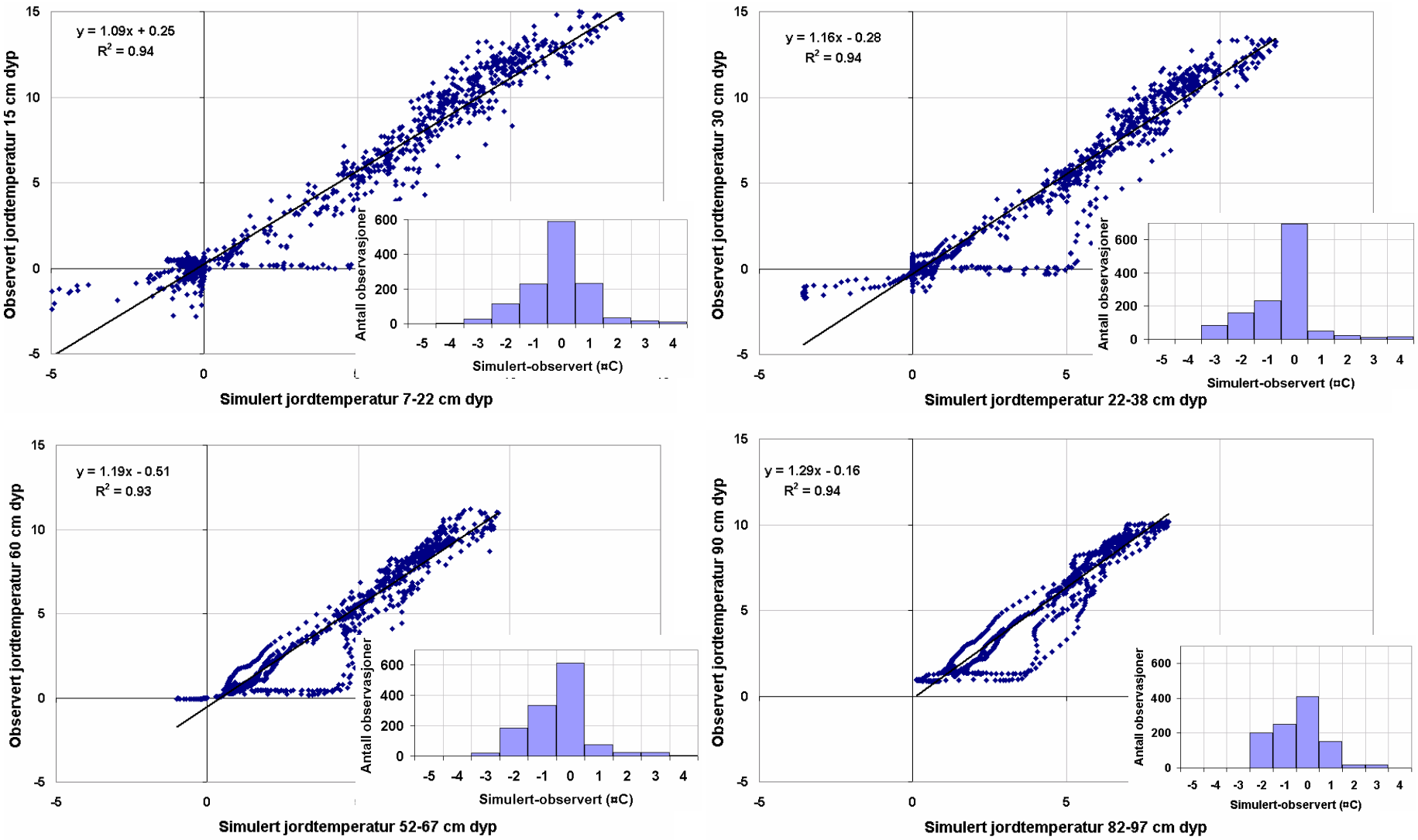
Figur 6-7 viser simulert og målt temperatur i perioden 07.2000 til 12.2003 med 2 ulike parametriseringen (standard og økt varmekapasitet). Figurene viser at økt varmekapasitet senker amplituden i jordtemperaturen, lavere om sommeren og litt høyere om vinteren. Figur 6-8 og 6-9 viser simulert jordtemperatur plottet mot målt jordtemperatur med regresjonslinjen inntegnet for henholdsvis standardparametersett og økt varmekapasitet. For begge parametersett er målt og simulert jordtemperatur viser god sammenheng og helningskoeffisienten for regresjonslinjen er svært nær en 1:1 linje. Det er en svak tendens til høyere stigningskoeffisient for parametersettet med økt varmekapasitet. Skjæringspunktet med y-aksen (Intersept) er nær 0 °C. Histogrammene i nederste rad i figurene viser at 50 % av avvikene mellom målt og simulert ligger innenfor rundt ± 1 °C, men med enkelte forskjeller opp mot 3 °C. De største avvikene ser en ligger for observerte verdier rundt 0 °. Simulert temperatur i dette området varierer mellom -5 og +5 °C. Dette er tydeligst for de 2 øverste dypene. For det øverste dypet er ser en også eksempler på at simulert jordtemperatur er nær 0 °C mens målingene er i området 0 til -3 °C. Avvikene i jordtemperatur rundt 0 °C er trolig en effekt av avvik i simulert snødyp.



Figur 6-7: Simulert og målt temperatur i perioden 07.2000-12.2003 for dypene 15 cm, 30 cm, 60 cm og 90 cm. Firkantene viser observasjoner, linjen simuleringer med standard parameter og stiplete kurvene simuleringer med økt varmekapasitet.



Figur 6-8: Sammenheng mellom målt og simulert (med standardverdier for jordas varmekapasitet) jordtemperatur for 15 cm, 30 cm, 60 cm og 90 cm dybde. Histogrammene viser frekvensen for avviket simulert minus observert.



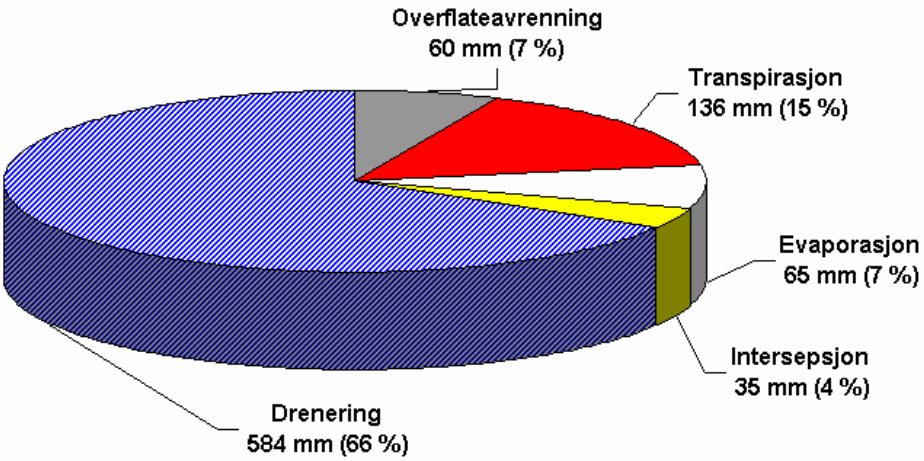
Figur 6-9: Sammenheng mellom målt og simulert (med økt jordas varmekapasitet i de 3 siste lagene) jordtemperatur for 15 cm, 30 cm, 60 cm og 90 cm dybde. Histogrammene viser frekvensen for avviket simulert minus observert.

6.4 Vannbalanse

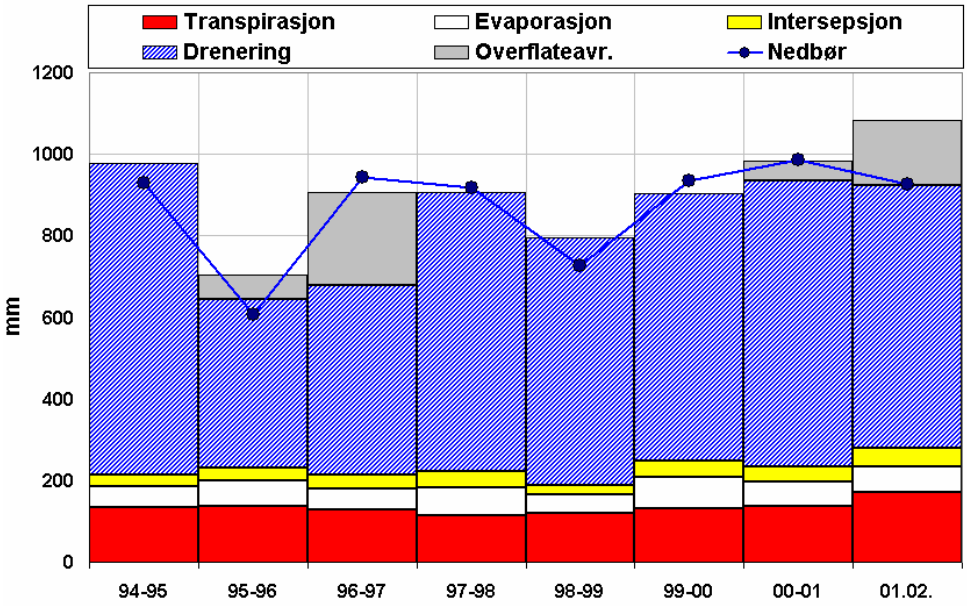
Dette kapitlet tar for seg simulering av de ulike vannbalansekomponentene. Nedbør og smeltevann tilføres profilet fra overflaten og går ut ved evapotranspirasjon og drenering. Vanntilførsel som overskrider jordas infiltrasjonseven fører til overflateavrenning. Ved simuleringene er det brukt en forenklet drensgrøftløsning som nedre grense. Dette innebærer at det ikke skjer vannstrømning gjennom nederste laget i profilet og det er ingen lateral strømning av grunnvann inn i jordprofilet. Gradienten som driver vanntransporten er forskjell i grøftedyp og grunnvannsstand (egentlig midt mellom grøftene) mens vannledningsevnen tilsvarer den mettet vannledningsevne i lagene under grunnvannsstanden.

Figur 6-10 viser simulerte gjennomsnittsverdier for transpirasjon, evaporasjon, drenering, overflateavrenning og fordamping av vann fanget opp av vegetasjonen (interseptert vann) i parametriseringsperioden (8 hydrologiske år (1/10-1994 til 30/9-2002)). Figur 6-11 viser simulerte vannbalansekomponenter i mm/år for hvert år i parametriseringsperioden. Tabell med verdier for hele måleperioden er vist (1981-2006) er vist i vedlegg 5.

De ulike vannbalanse-komponentene er simulert kun for undervegetasjon som i første omgang er beskrevet som kort plen. Et større vanntap ved transpirasjon må forventes i fjellbjørkeskogen, bestående av 2 sjikt med vegetasjon (trær og gras/lyng). Eventuelle lagerendringer av vann i jorda i perioden er ikke tatt med i vannbalansen, dvs. beregningene er utført under forutsetning av at vanninnholdet ved start og avslutning av det hydrologiske året er den samme. Justert nedbørsmengden pr år varierer fra 607 til 987 mm. Gjennomsnittelig årsnedbør i denne perioden er 907 mm/år, hvorav 812 mm infiltreres gjennom jordoverflaten, 60 mm overflateavrenning og 35 mm fanges opp og tapes direkte fra vegetasjonen (intersepsjon). Den gjennomsnittlige totale evapotranspirasjonen er simulert til 236 mm hvorav 100 mm er fordamping av vann fra jordoverflata (evaporasjon) inkludert tap av intersepsjonsvann. Det dreneres i gjennomsnitt 584 mm ut fra jordprofilet tilsvarende 66 % av nedbøren.



Figur 6-10: Årlig gjennomsnittlig vannbalanse simulert i parametriseringsperioden (8 hydrologiske år: 1/10-1994-30/09-2002)



Figur 6-11: Vannbalanse simulert i parametriseringsperioden (8 hydrologiske år: 1/10.1994-30/09.2002)

6.4.1. Vannopptak

For simulering av vannbalansen i jordprofilet er det nødvendig med en beskrivelse av planteutviklingen for simulering av plantenes vannopptak. Det foreligger ingen målinger av plantevekst ved markvannsstasjonen. På de fleste av markvannsstasjonene, i likhet med de fleste meteorlogiske stasjonene, består vegetasjonen av kortklipt gress (plen). På Groset består vegetasjon av gras/lyng, fjellbjørk og myrplanter/torvmoser. På markvannsstasjonen er det smyle, røsslyng og tyttebær. Pga manglende kunnskap om vekstegenskaper til denne type vegetasjonen, har vi valgt i utgangpunktet å bruke samme type vekstparameter som på de andre markvannsstasjonene. For simulering av vanntapet ved transpirasjon trenges en beskrivelse av plantevekstutviklingen tilknyttet bladarealindeks (LAI), bestandshøyde og rotdybde.

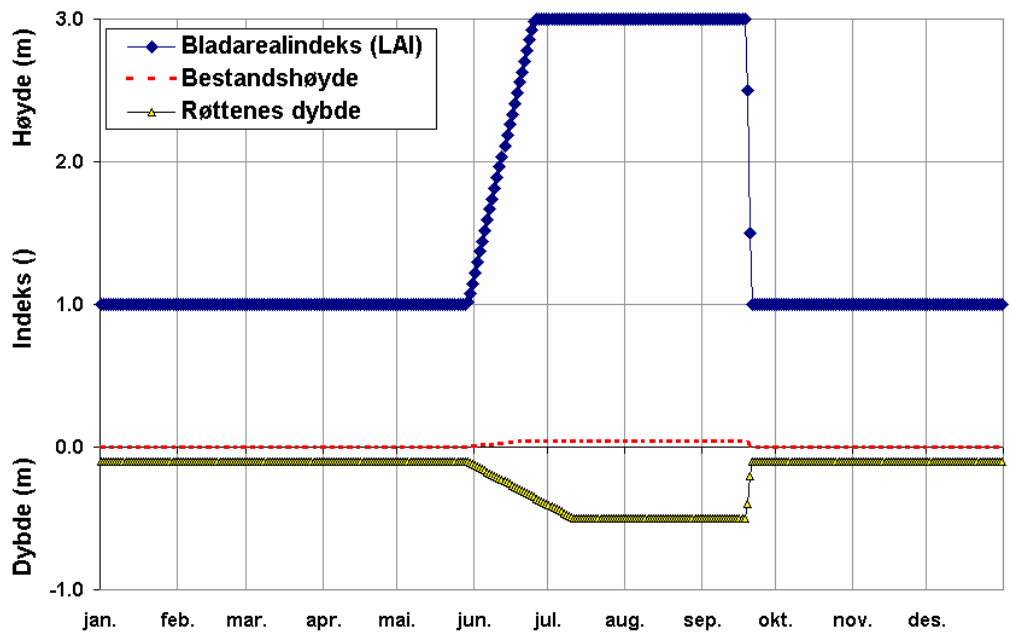
Istedenfor å knytte vekststarten til samme dagsnummer hvert år, er det valgt å relatere starten til lufttemperatur. Denne tilnærmingen brukes blant annet både for korn og gras, men her er datagrunnlaget betydelig bedre enn det en har for naturlig, kortvokst vegetasjon. For å sette grenser for lufttemperatur/varmesum er det valgt å ta utgangspunkt i vektforholdene på Ås (Akershus). 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 å nå de ulike utviklingstrinnene på Groset markvannsstasjon, er tilsvarende beregninger foretatt ut fra klimadata for den meteorologiske stasjonen Møsstrand. Dette må kun oppfattes som en foreløpig tilnærming som vil forbedres når bedre datamateriale foreligger. Følgende forutsetninger er brukt for estimering av ulike utviklingstrinn.

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;

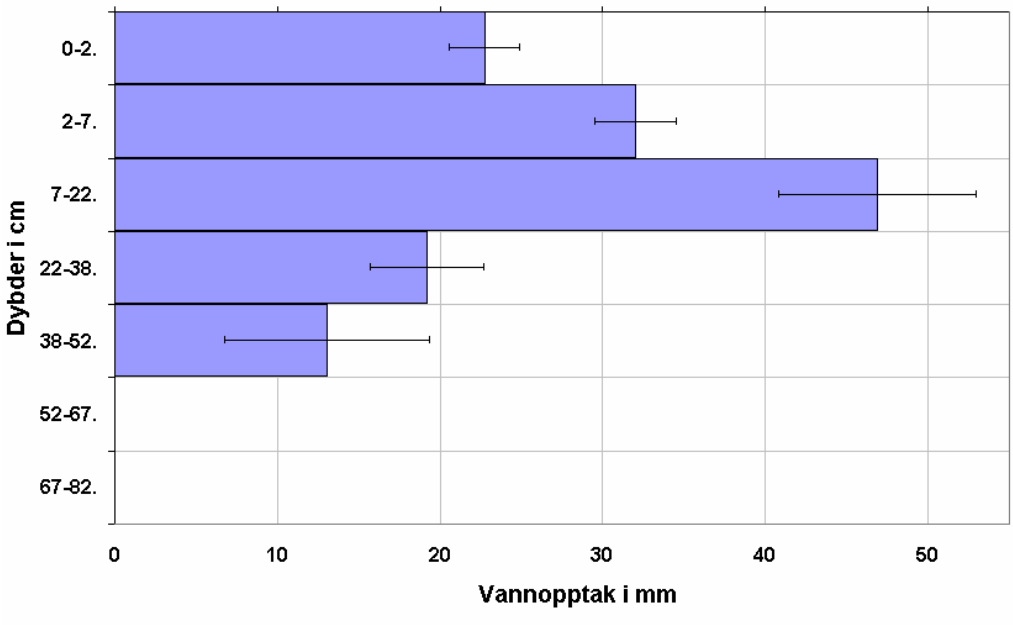
Ut fra lufttemperaturer målt for perioden 1981-2006 ved den meteorologiske stasjonen på Møsstrand, er gjennomsnittlig vekststart for vegetasjonen 26/5 varierende fra 8/5 til 12/6, se tabell 6-7. Estimert plantehøyde på 4 cm nåes gjennomsnittlig 15/6 varierende fra 29/4 til 1/. Et rotdyp på 0,5 m antas oppnådd rundt 722/6 varierende fra 6/6 til 7/7 for de ulike årene. Gjennomsnittlig vekstavslutning er estimert til 29/09 varierende fra 6/9 til 22/10. Vedlegg 6 viser vekstparametrene for hvert år i perioden 1981-2006. Eksempel på plengrasutvikling i 1995 estimert fra lufttemperaturmålinger ut fra forutsetningen gitt ovenfor er vist i figur 6-12.

Tabell 6-7: Dagnummer og dato for ulike utviklingsstadier for plengras estimert for perioden 1981-2006 ut fra lufttemperaturdata målt på Møsstrand.

Utviklingstrinn	Middel	Standard-Avvik	Tidligst	Seinest
Vekststart LAI=1 Rotdyp=0,1 m Plantehøyde=0,001 m	146 26/5	8,5	128 8/5	163 12/6
Plantehøyde = 0,04 m nåes	166 15/6	8,7	149 29/5	182 1/7
LAI=3 nåes	173 22/6	8,5	154 6/6	188 7/7
Rotdyp= 0,50 m nåes	190 9/7	6,8	176 25/6	203 2/7
Vekstslutt LAI=1 Rotdyp=0,1 m Plantehøyde=0,001 m	272 29/9	11,8	249 6/9	295 22/10



Figur 6-12: Eksempel på vekstutvikling for bladarealindeks (LAI), bestandshøyde og rotdybde estimert fra lufttemperatur (1997).



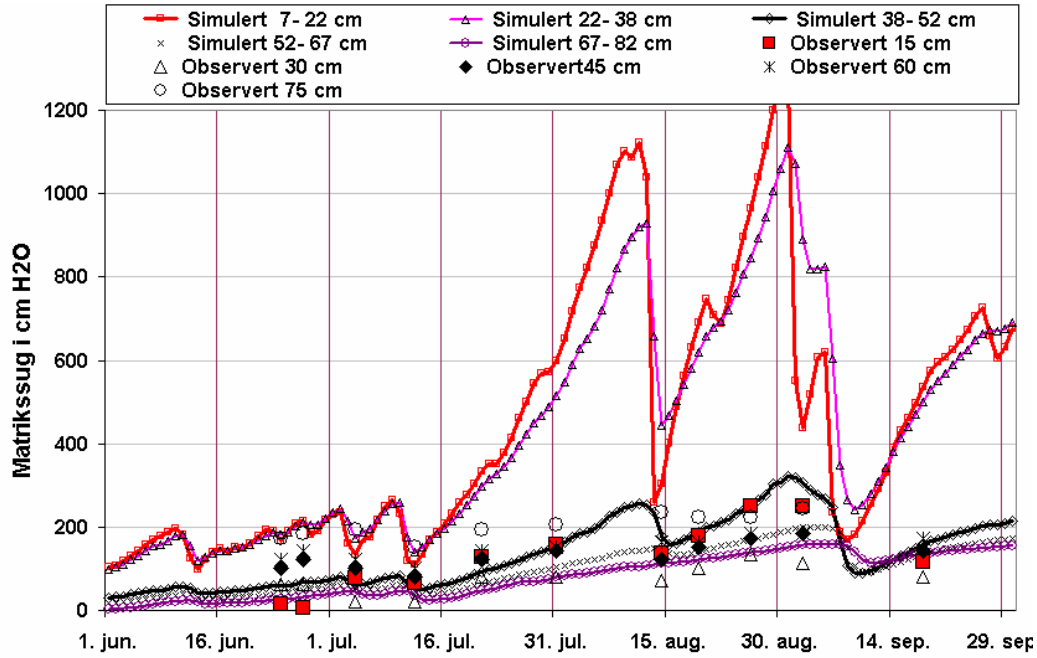
Figur 6-13: Gjennomsnittlig årlig simulert vannopptak som funksjon av dyp for årene 1994-2002. Standardavvik er tegnet inn.

Resultatene fra simuleringene for parametriseringsperioden viser at plantenes vannopptak i gjennomsnitt er 134 mm/år, noe som virker litt lavt. Dette utgjør i snitt 58 % av det totale simulerte fordampingstapet (236 mm). Simulert rotopptak fra ulike lag i modellen er vist i figur 6-13. Høyeste og laveste årlige vannopptak er henholdsvis 170 og 114 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 90 % av vannet tas opp fra de øvre 40 cm i jorda.

6.4.2. Matrikssug og vanninnhold

Øverlie (2006) forsøkte å bruke vanninnhold estimert fra resistansmålinger i parametriseringen av COUP-modellen. Konklusjonen var at det var for stor usikkerhet tilknyttet kalibreringskurvene brukt for å estimere vanninnholdet. I dette kapitlet vil vi derfor bare sammenligne observert matrikssug målt med tensiometer og simulert matrikssug. Det foreligger tensiometermålinger kun for sommerene 2001, 2002 og 2003. Antall målinger er imidlertid svært få og kvaliteten ofte dårlig pga manglende tilsyn av utstyret.

Figur 6-14 viser simulert matrikssug og tensiometermålinger for 4 dyp i 2002. Simuleringene viser større uttørking enn hva sensoren klarer å måle pga målebegrensninger over 80 cbar for tensiometer (se kapittel 4). De svært lave tensiometermålingene for de øverste dypene (10-30 cm) kan skyldes målefeil. For dybdene under 45 cm er simuleringer relativt lik til observasjonene.



Figur 6-14: Simulert og målt matrikssuget ved 15, 30, 45, 60 og 75 cm dyp i 2002.

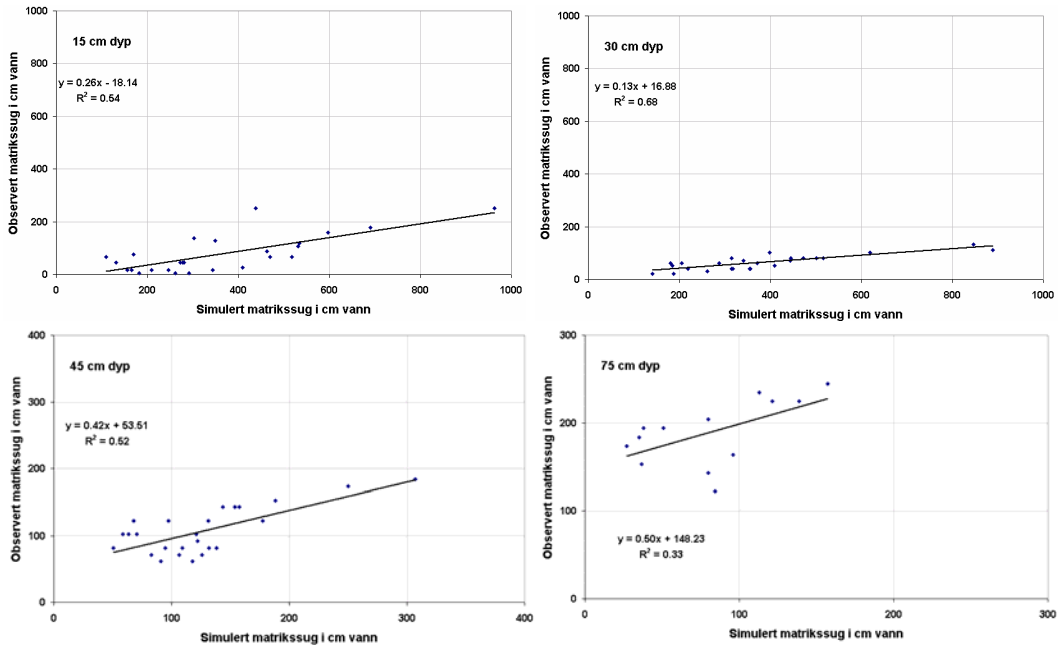
Denne tendensen er tydelig også i figur 6-15 som viser sammenhengen mellom simulert matrikssug og tensiometermålinger for 4 dyp. For de to øverste lagene (15 og 30 cm) er det tydelig at det måles en lavere uttørking med tensiometer enn simulert matrikssug. Resultatene i tabell 6-8 og figur 6-15 viser at det finnes imidlertid en relativ god sammenheng mellom simulert og observert matrikssug (tensiometer), men at simuleringene overestimer matrikssuget i de øverste lagene.

Vi har for få målingene med tensiometrene for å konkludere om parametriseringen av planteveksten er dårlig eller ikke, men det er tydelig at vannopptakket på markvannsstasjonen skjer i dypere lag enn modellen simulerer. Dette kan sees i sammenhengen med at det finns treer helt i nærheten til markvannsstasjon, og at gressdekket ved markvannsstasjon er veldig begrenset.

Tabell 6-8: Sammenhengen mellom tensiometermålinger og simulert matrikssug i somrene 2001-2003. Alle verdier med matrikssug under 5 cm vann er fjernet.

Dybde (cm)		Observasjoner (n)	R^2	Intersept	Helningskoef.	RM (1)	RMSE (2)
Simulert	**Målt**						
7.5-22.5	**15**	26	0,54	-18.1	0,26	283	321
22.5-37.5	**30**	25	0,68	16,7	0,13	318	357
37.5.52.5	**45**	25	0,52	53,5	0,42	19	45
52.5-67.5	**60**	26	0,28	75,1	0,47	-22	40
67.5-82.5	**75**	13	0,33	148,1	0,50	-107	113

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



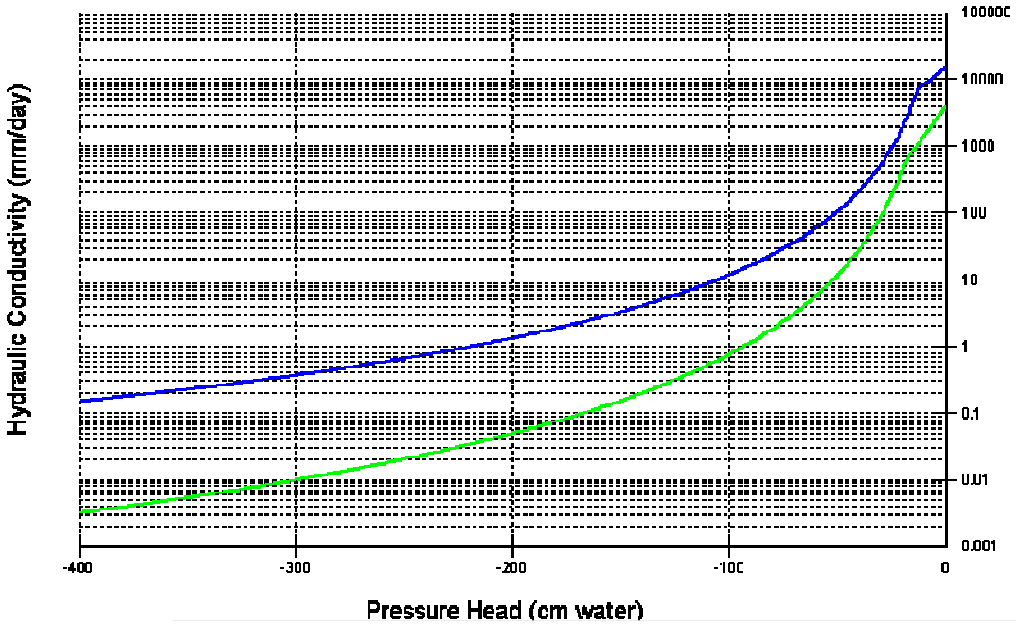
Figur 6-15: Sammenheng mellom simulert og målt matrikssuget ved 15 cm, 45 cm og 75 cm dyp.

6.4.3. Grunnvannsstand og drenering

Jordas hydrauliske egenskaper samt parametriseringen av dreneringssystemet er avgjørende for tilpasningen av grunnvannsstanden både med hensyn til nivå og fluktuasjon. Beste tilpasning er funnet med grøftedyp på 3,3 m og med en grøfteavstand på 4500 m, dvs. avstanden fra profilet til drensrørene er da 2250 m (tabell 6-9).

Tabell 6-9. Viktigste parameterverdier brukt ved simuleringen av grunnvannsstand.

Parameter	Verdier	Kommentarer
Drain level	-3,3 m	
Drain spacing	4500 m	
Surface coefficient	0,8 1/dag	Standard
Total conductivity	4000 mm/dag	Lag 5[4] (>0,8 m dyp)
Matrix conductivity	4000 mm/dag	Lag 5 (>0,8 m dyp)
Saturation (pF)	20 %	Lag 5 (>0.8 m dyp) målt 30 % på 120 cm dyp



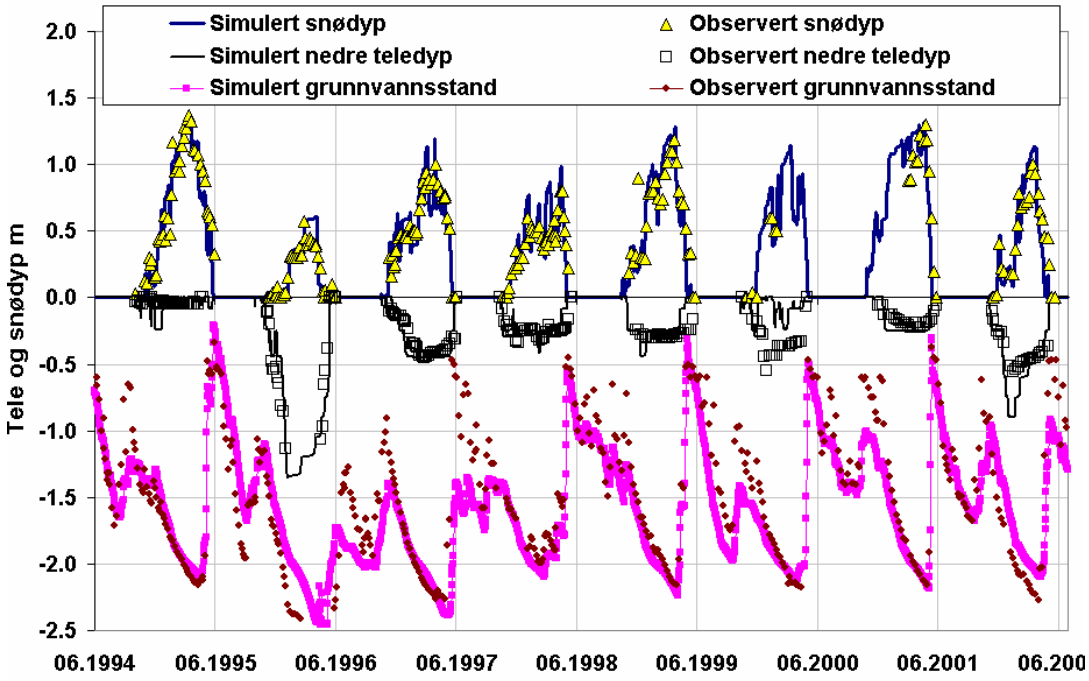
Figur 6-16: Sammenheng mellom matrikssug (cm H_2O) og vannledningsevne (mm/dag). Den svarte kurven tilsvarer lag 1 (0-0,1 m dyp) og den grå kurven lag 5 (0,8-4 m dyp).

[4] Se vedlegg for verdiene i de andre lagene samt figur 4-4.

Det finnes mange løsninger som gir akkurat samme variasjoner i grunnvannsstand ved å kombinere ulike vannledningsevne i siste laget med grøftedyp[5]. Det er valgt å bruke en vannledningsevne på 4000 mm/dag tilsvarende maksimum observert vannledningsevnen for dyp > 0.8 m. Vannledningsevne brukt for de ulike dybdene er vist i vedlegg 4 (paramtriseringsett). Figur 6-16 viser sammenhengen mellom matrikspotensial (cm H_2O) og vannledningsevne (mm/dag).

Porevolum, målt til 30 vol %, i de nederste lagene har også betydning for både endringer i grunnvannsstand og teledyp. Det er valgt å bruke en lavere porøsitet (20 vol %) enn målt siden det gir bedre resultater for de laveste grunnvannsstandene og for de dypeste teledybdene.

Siden COUP-modellen er en 1-dimensjonal modell så vil overflateavrenningen forsvinne direkte ut med ingen mulighet til at den samles og infiltreres i lavereliggende områder. Som en konsekvens av overflateavrenning blir nydannelse av grunnvann redusert og grunnvannsstand derfor trolig øker mindre enn i virkeligheten. Det er antagelig ikke et stort problem her siden den gjennomsnittlige overflateavreningen kun utgjør 7 % av årsnedbøren. Unntak kan være enkelte år med dyp tele under snøsmeltingen. Dette kan være en forklaring til den dårlige tilpasningen mellom observasjonene og simuleringen ved snøsmeltingen i 1996 (se figur 6-17).



Figur 6-17: Simulert og observert snødyp, teledyp og grunnvannsstand for parametriseringsperioden.

[5] Fra en kombinasjon vannledningsevne/grøftedyp 100 mm/dag og -85 m til 10000 mm/dag og -2.7 m

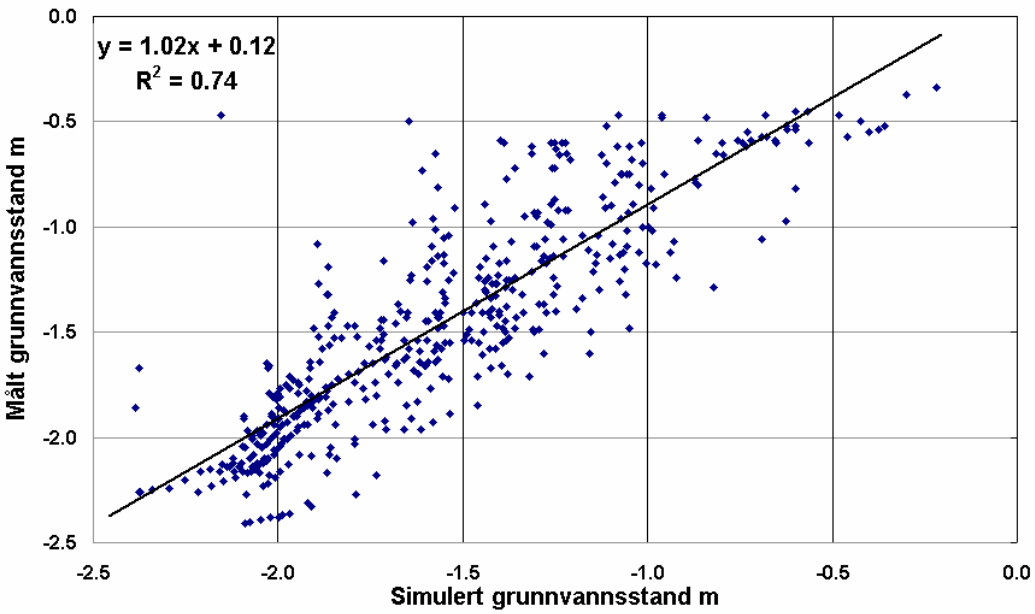
Figur 6-17 viser at modellen underestimerer ofte økningen av grunnvannsstand om høsten før snøleggingen. En mulighet er at den større målte økningen i grunnvannsstand skyldes lateral transport fra ovenforliggende områder, noe som den 1-dimensjonale COUP-modellen ikke vil fange opp. Hovedinntrykket er at det er en god sammenheng mellom målt og simulert grunnvannsstand (R^2=0.74), se figur 6-17, 6-18 og 6-19 og tabell 6-10. Selv om middelavviket er ca 10 cm så viser figur 6-19 at det forekommer avvik opp mot 50 cm (1996), men i over 80 % av tilfellene er avviket under 15 cm.

Tabell 6-10: Resultat av tilpassing av grunnvannsstand mot målinger fra markvannsstasjonen i parametriseringsperioden (1/6.1994-30/6.2000).

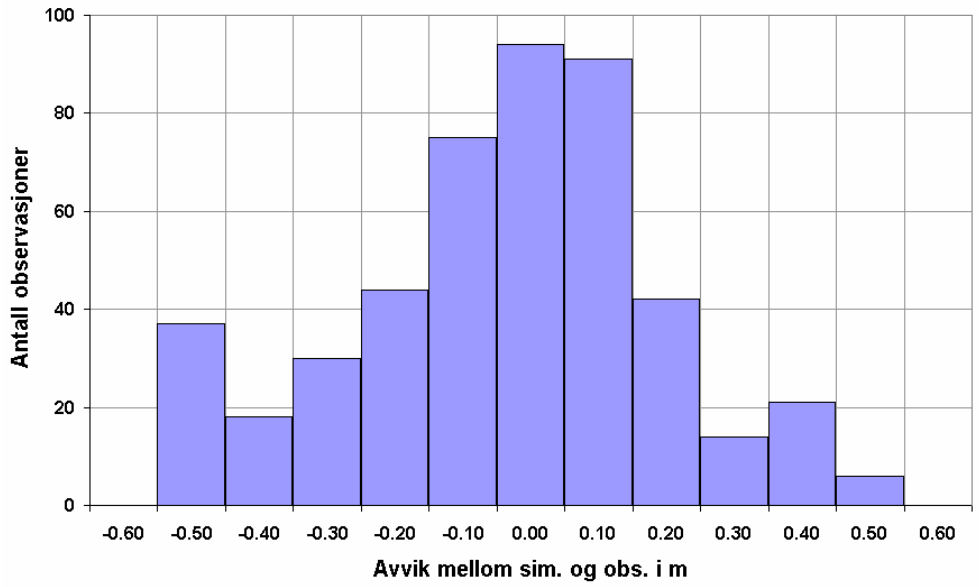
Observasjoner (n)	R^2	Intersept	Helningskoef.	RM (1)	RMSE (2)
472	0,74	0,12	1,02	-0,10	0,28

(1): RM = 1/n ∑(sim-målt)

(2): RMSE= √(∑(sim-målt)^2)/n)

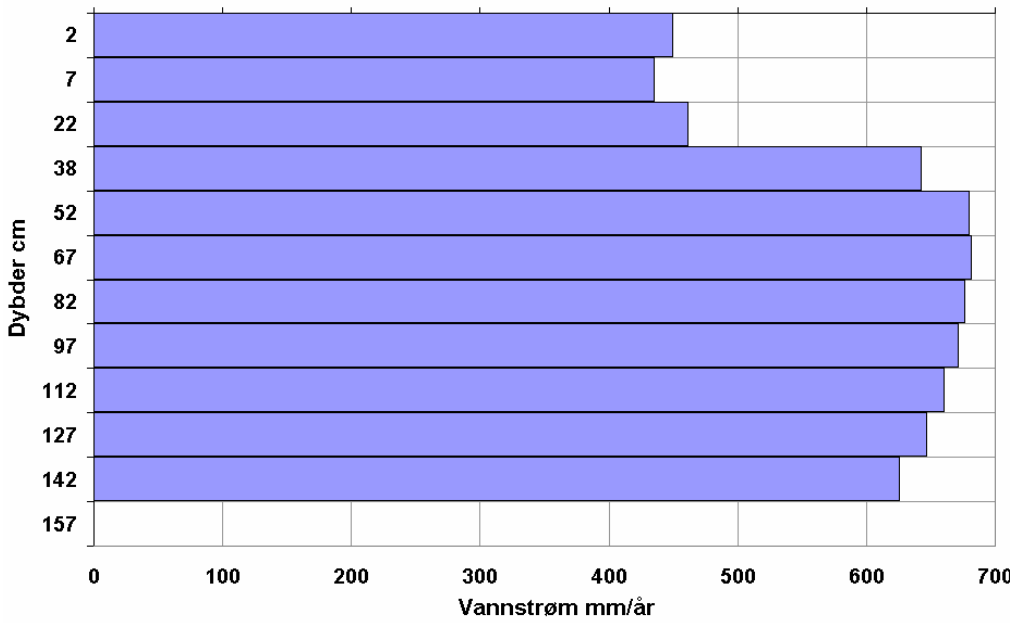


Figur 6-18: Simulerte og målt grunnvannsnivå på markvannsstasjonen.



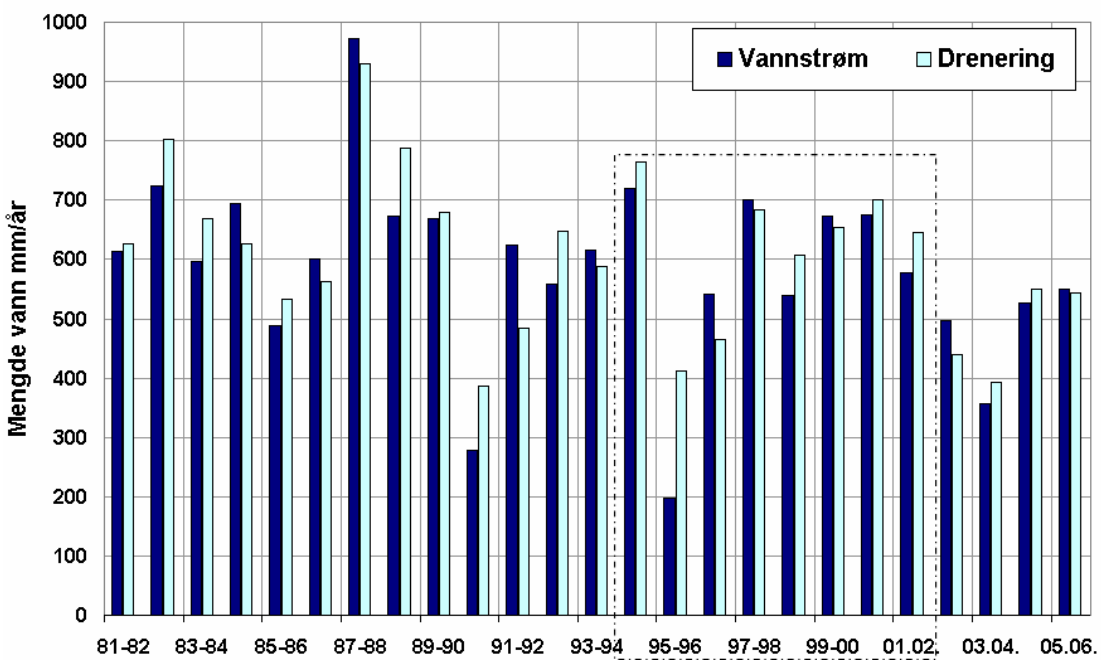
Figur 6-19: Histogram for simulert minus observert grunnvannsstand for markvannstasjonen i parametriseringsperioden.

I simuleringene er vannstrømning mellom lagene (mm/døgn) definert som 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 litt mindre enn 700 mm vann passerer ved 67 cm dybde årlig.

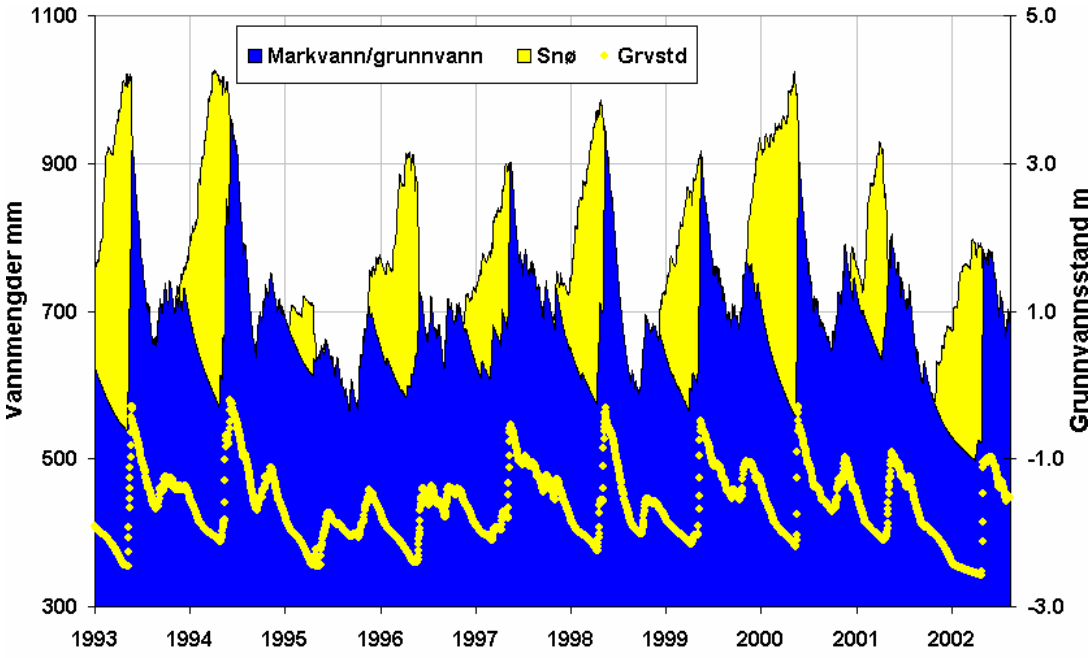


Figur 6-20: Middelverdier for vannstrømning mellom de ulike lagene i modellen gitt i mm vann pr. år for perioden 01/6-1994 til 30/6-2002.

Størrelsen på vannstrømningen som passerer 67 cm dyp kan betraktes som et mål for grunnvannsdannelsen. Figur 6-21 viser at høyeste årlige grunnvannsdannelse er på ca. 950 mm/år (1987-88) tilsvarende ca. 70 % av nedbøren, men laveste grunnvannsdannelse er på ca. 200-300 i 1990-91 (50 % av nedbør) og 1995-1996 (ca. 50-60 % av nedbør). Siden modellen simulerer en vannstrømning ut av vannmettede lag direkte til drensgrøftene vil den totale mengden kunne være litt høyere, se sammenligningen mellom drenering og vannstrøm ved 67 cm dyp i figur 6-21. Siden det ikke er justert for at jordas vannlager kan være forskjellig mellom start og slutt i året er antagelig grunnen til at enkelte år er vannstrøm på 67 cm dyp enkelte år er større enn dreneringen. Dette kan også være grunnen til den større forskjellen mellom total drenering og vannstrømning på 67 cm dyp for de 2 tørre årene (1990-91 og 1995-96).



Figur 6-21: Middelverdier for årlig vannstrømning ved 67 cm dyp og total drenering ut fra jordprofilet gitt i mm vann pr. år for årene 1981-2006 (hydrologiske år). Parametriseringsperioden er avmerket.



Figur 6-22: Simulert lager av markvann/grunnvann og snø i perioden 1993-2004. Nederste kurven viser grunnvannsstand under bakken.

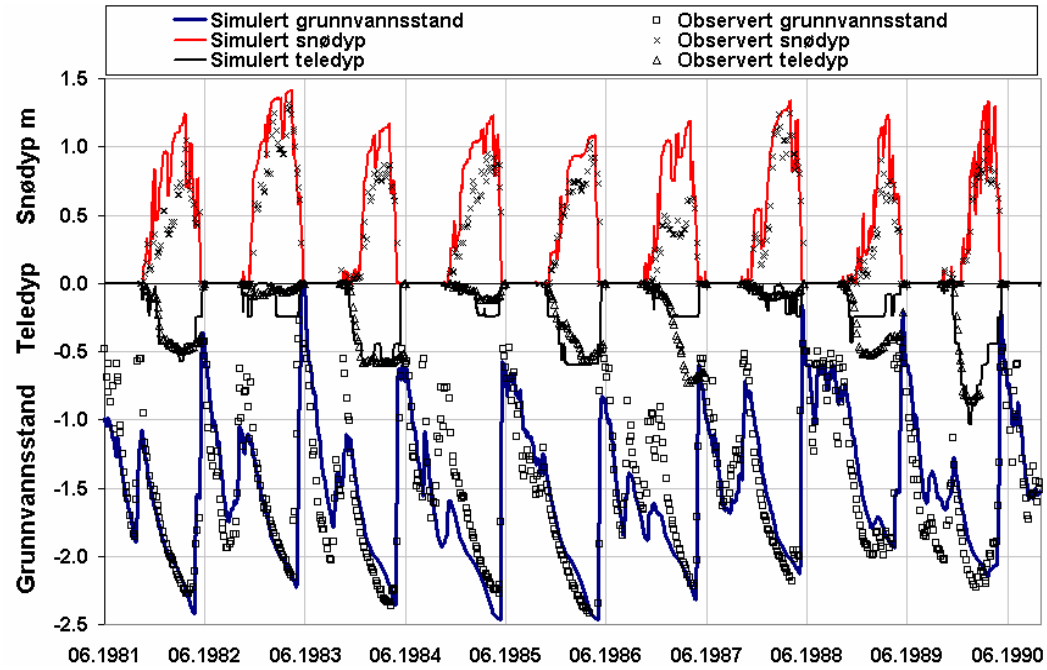
Figur 6-22 viser total vannmengder i de ulike reservoarene snø, markvann/grunnvann simulert i modellen (0-2.6 m dyp), samt grunnvannsstand. Absolutte verdier for mengden grunnvann i profilet er ukjent da den totale tykkelsen av sedimenter ved markvannsstasjonen ikke er målt. Den aktive delen av vannlageret (vannlagerets variasjonsområde) er over 460 mm vann i denne perioden. Snølageret kan være over 550 mm vann. De fleste årene 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.

7. Verifisering av modellen

Ut fra tilpasningen av COUP mot målinger ved markvannsstasjonen, kom en frem til et parametersett som her sjekkes mot målinger fra en annen, uavhengig tidsperiode. Parametrisering av modellen ble foretatt for perioden fra og med 1/6-1994 til 30/6-2002 mens verifisering av modellen er foretatt for perioden fra og med 1/6-1981 til og med 30/9-1990 (tabell 7.1).

Tabell 7.1. Parametriseringsperioden og verifiseringsperioden.

	Start	Slutt	Antall år
Tilgjengelige klimadata	1/11-1980	1/9-2006	26
Paramatriseringsperioden (Jordtemperatur)	1/6-1994 (1/7-2000)	31/6-2002 (31/12.2003)	9 (4)
Verifiseringsperioden	1/6-1981	30/9-1990	9



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

Figur 7-1 og tabell 7-2 viser en bra tilpasning mellom observert og simulert verdier både for snødyp, snøens vannekvivalent, grunnvannsstand og teledyp unntatt for noen korte perioder. Overensstemmelsen mellom observasjoner og simuleringer er like god som i parametriseringsperioden. Figur 7-2 og tabell 7-2 viser sammenhengen mellom simulert og observert snøens vannekvivalent, snødyp, teledyp og grunnvannsstand for verifiseringsperioden. Resultatene for parametriserings- og verifiserings-perioden viser såpass bra overensstemmelse mellom simuleringer og målinger at den parametriserte

COUP-modellen bør være et tilfredsstillende verktøy for å simulere markvannstilstand på Groset markvannsstasjon. Modellen fanger opp de store trekkene i markvannstilstanden selv om den ikke klarer å simulere noen spesielle enkeltepisoder.

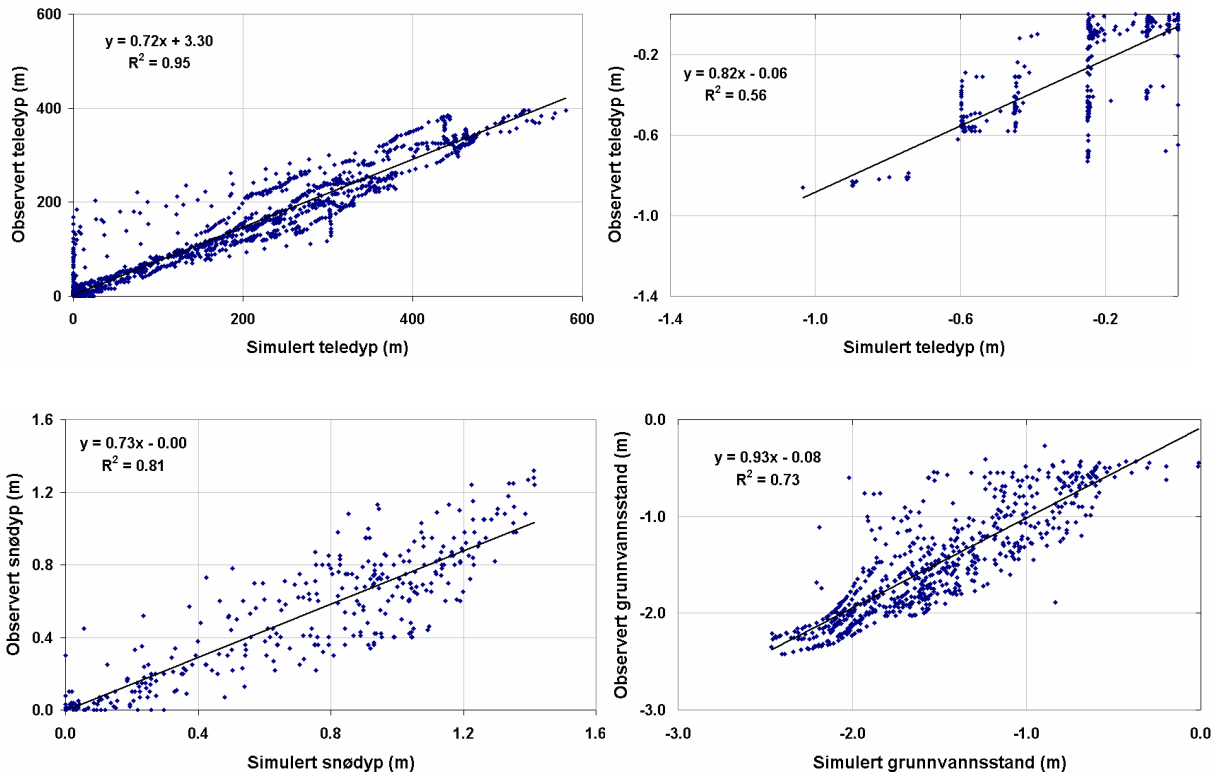
Tabell 7-2: Sammenheng mellom observert og simulert snøens ekvivalent, snødyp, teledyp og grunnvannsstand for parametriserings- og verifiseringsperioden.

Snø- og teledyp (m)	Observasjoner (n)	R^2	Intersept	Helningskoef.	RM (1)	RMSE (2)
Snøens vannekvivalent [6]						
Parametrisering	1792	0,84	13,71	0,93	-5	55
Verifisering	1894	0,93	7,84	0,71	43	70
Snødyp (Groset)						
Parametrisering	238	0,81	0,09	0,82	0,11	0,35
Verifisering	387	0,81	0,00	0,73	0,16	0,27
Teledyp						
Parametrisering	231	0,57	-0,09	0,55	-0,05	0,17
Verifisering	393	0,56	-0,06	0,82	0,02	0,17
Grunnvannsstand						
Parametrisering	472	0,74	0,12	1,02	-0,10	0,28
Verifisering	667	0,73	-0,08	0,93	-0,02	0,28

(1): RM = 1/n ∑(sim-målt)

(2): RMSE= √(∑(sim-målt)^2)/n)

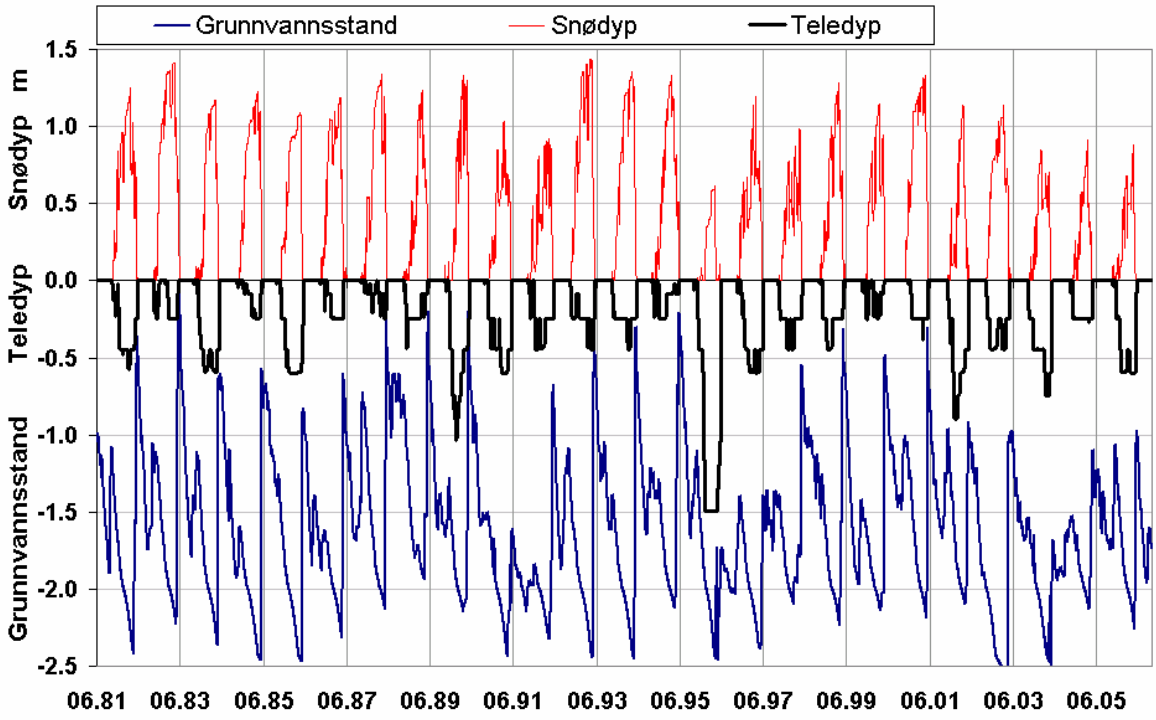
[6] Sommer data er fjernet. Observasjonene fra snøpute for vinteren 1981-1982 er ikke tatt med i beregningen, fordi dataene ser feil ut og har ikke vært kvalitetskontrollert.



Figur 7-2. Sammenheng mellom simulert og observert snøens ekvivalent, snødyp, teledyp og grunnvannsstand for verifiseringsperioden.

8. Normalverdier

Siden det ikke foreligger klimadata for normalperioden 1961-1990, presenteres her foreløpig resultater for hele perioden 01.1981-09.2006.

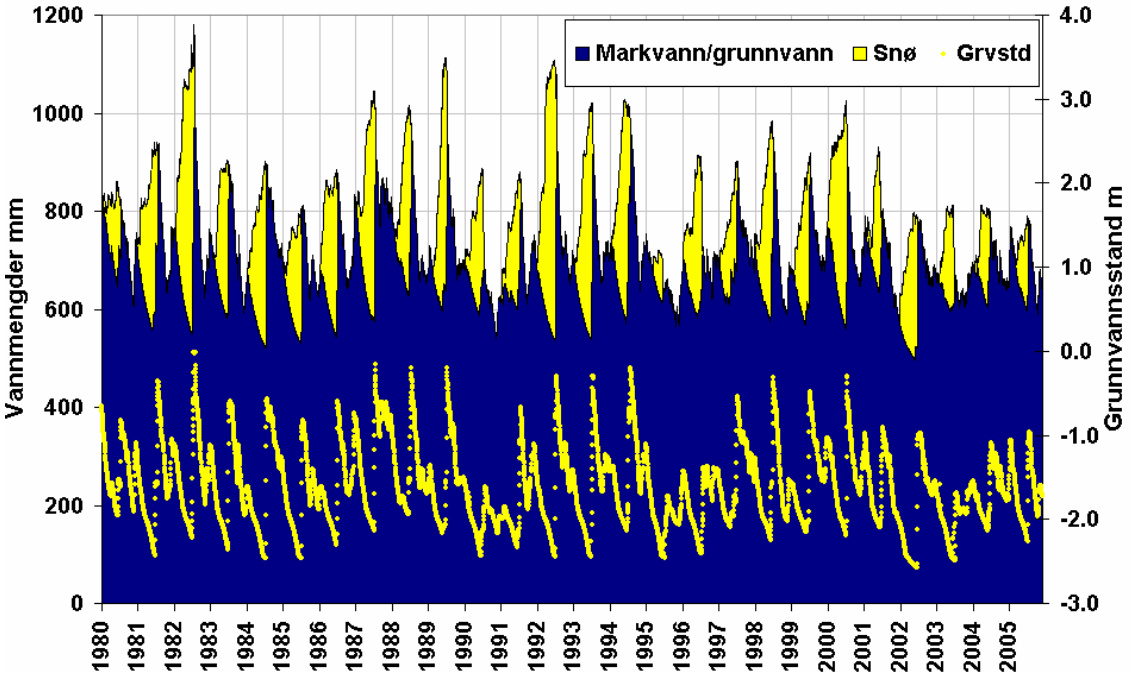


Figur 8-1: Simulert snø- og teledyp, samt grunnvannsstand i perioden 06.1981-09.2006

Figur 8-1 og 8-2 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 hendelser. Man kan f. eks. merke seg:

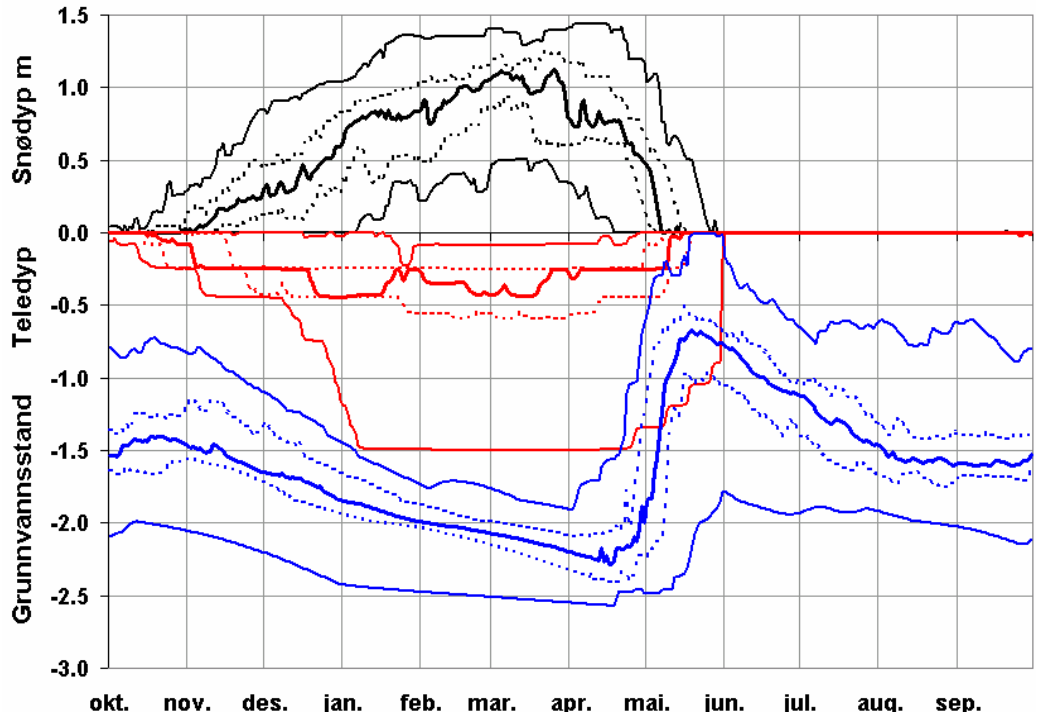
- vinteren 1990/91 med normale snømengder men med stor simulert overflateavrenning under snøsmelting (figur 8-5) som gir liten økning i simulert grunnvannsstand;
- neste vinter - vinteren 1991/92 er det lite snø og grunnvannsstanden kommer ikke opp igjen mot vanlig nivå om våren og medfører den lave grunnvannsstanden sommeren 1992;
- vinteren 1995/1996 med lave snømengder, ekstremt dyp frost og en gjennomsnittlig overflateavrenning gir lav grunnvannsstand sommeren 1996;
- neste vinter – vinteren 1996/97 har tilnærmet normal snømengde men siden den simulerte snøsmeltingen skjer før jorda er tint er det stor overflateavrenning og grunnvannsmagasinet fylles ikke opp igjen før neste vinter;
- ekstremt lavt grunnvannsstand sommeren og høsten 2002 og videre utover vinteren 2002/2003. Pga. normal snømengder om vinteren er grunnvannsstand nesten tilbake til normalt nivå etter snøsmeltingen i 2003;

- svært høy grunnvannsstand våren 1983, 1988, 1989. Simuleringene for disse årene viser total drenering på 800 mm eller mer for de tilsvarende hydrologiske årene.

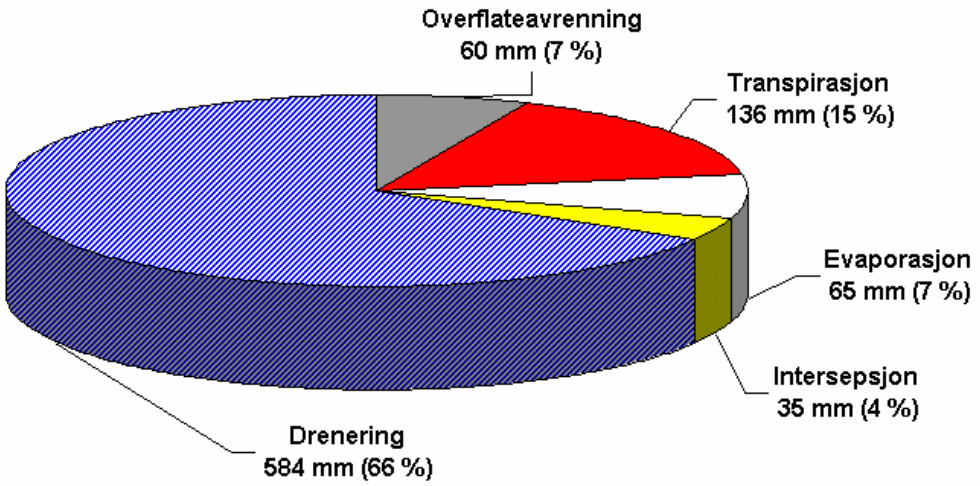


Figur 8-2: Simulert lager av markvann/grunnvann og snø i perioden 1980-2006. Nederste kurven viser grunnvannsstand under bakken.

Figur 8-3 viser medianverdier for snødyp, teledyp og grunnvannsstand samt andre persentiler for perioden 06.1981 til 09.2006.



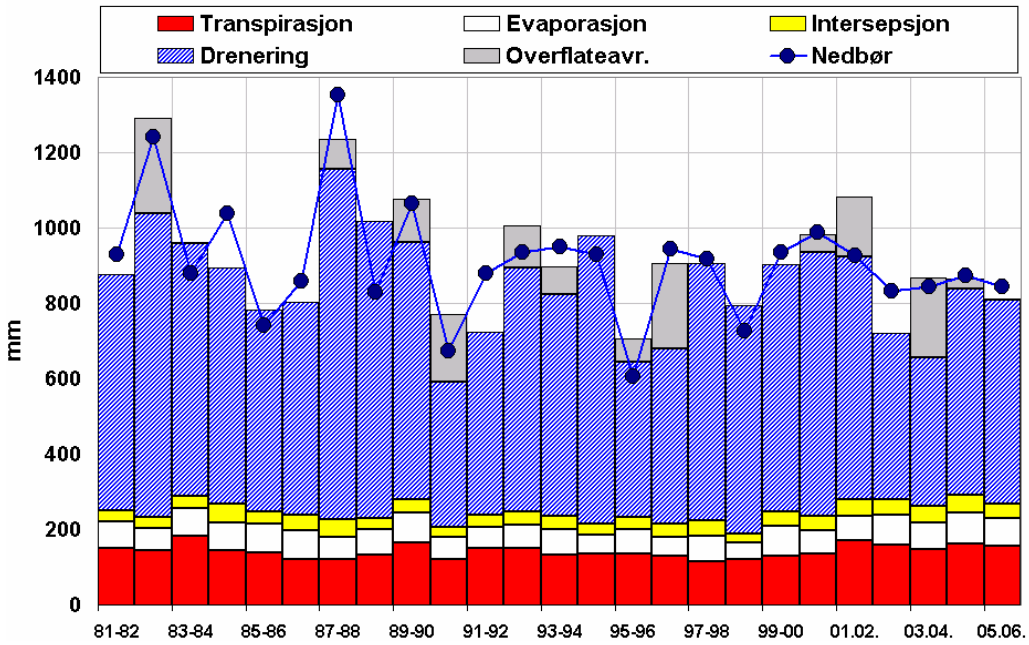
Figur 8-3: Forløp for snø- og nedre teledyp, samt grunnvannsstand i perioden 1981-2006. Kurver for persentiler 0, 25, 50, 75 og 100 % er tegnet inn.



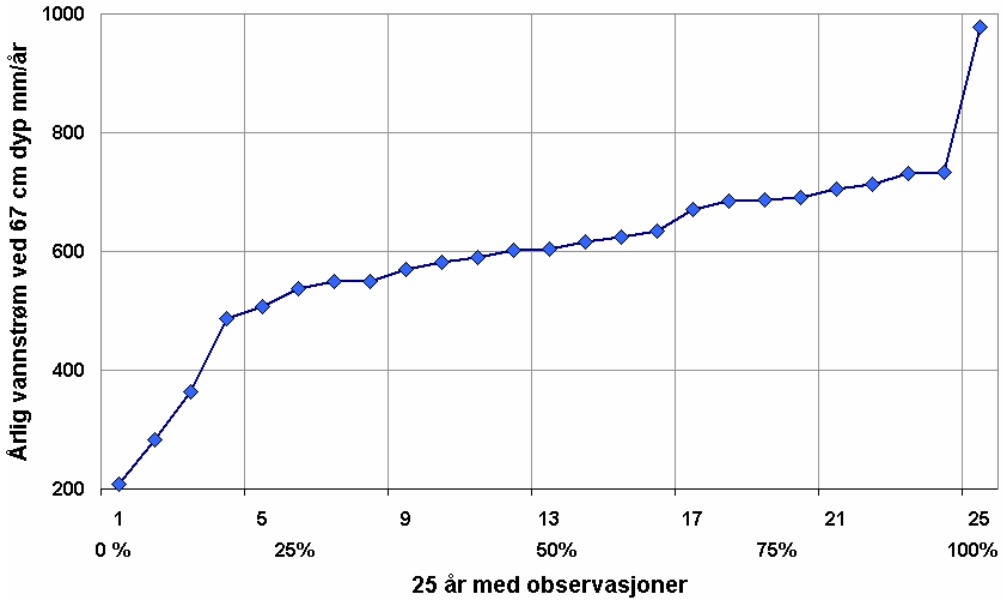
Figur 8-4: Årlig gjennomsnittlig vannbalanse simulert i perioden 1981-2006 (25 hydrologiske år: 1/10.1981-31/4.2006). Gjennomsnittlig årsnedbør for perioden er 875 mm.

Figur 8-4 viser simulerte gjennomsnittsverdier for transpirasjon, fordamping fra jordoverflaten (evaporasjon), drenering, overflateavrenning og direkte fordamping av nedbør fanget opp av vegetasjonen (intersepsjon) for perioden 1981-2006 (hydrologiske år). Simuleringene viser at ca. 66 % av årsnedbøren transporteres årlig gjennom

jordprofilet til de antatte drensgrøftene. Ca. 26 % tapes ved fordamping hvorav over halvparten er transpirasjon. Simulert overflateavrenning er veldig stort enkelte år (opptil 200 mm, se vedlegg 5), men representerer gjennomsnittlig kun 7 %. Det er egentlig kun få år med overflateavrenning. Figur 8-5 viser tilsvarende verdier for vannbalansekomponenter for hvert av årene i perioden. Den laveste evapotranspirasjonen er simulert for 1998-99, men den største for 1989-1990. Den høyeste grunnvanndannelsen (dreneringen) oppstår i 1987-1988, et år med ekstremt nedbør. Den laveste oppstår i 1991-92 og 1995-96.



Figur 8-5: Simulert vannbalanse i perioden 10.1981-06.2006 (hydrologiske år).

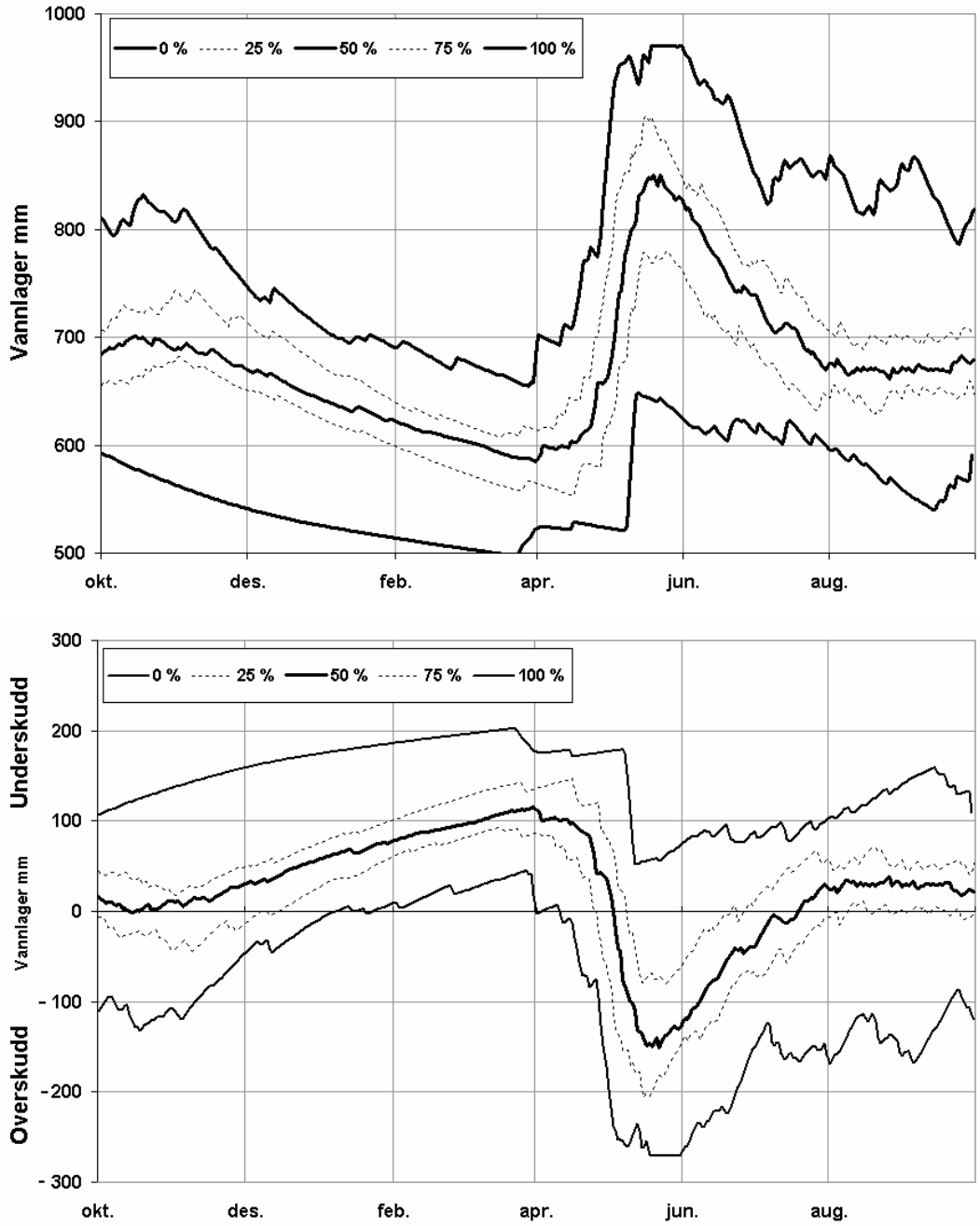


Figur 8-6: Simulert årlig grunnvannsdannelse (beregnet som total vannstrøm ved 67 cm dyp) rangert etter årsverdier for hvert av årene i perioden 1981-2006 (tilsvarende persentiler er angitt).

Figur 8-6 viser at over 50 % av årene har en grunnvannsdannelse større enn 600 mm, 25 % over 700 mm og 25 % under 500 mm. Årlig grunnvannsdannelse (beregnet som vannstrøm ved 67 cm dyp), nedbør, drenering, samt grunnvannsdannelse og drenering i prosentdel av nedbør i perioden 1981-2006 er gitt i vedlegg 7. Vedlegg 7 viser at størst nydannelse av grunnvann er simulert i årene 1987-88 (978 mm, tilsvarende 70 % av nedbør), og den laveste i 1995-96 (207 mm, tilsvarende 34 % av nedbør).

Figur 8-7 viser simulert vannlager og lagerkapasitet for vann i perioden 1981-2006. Utgangspunktet for beregningen av lagerkapasitet for vann er differansen mellom jordas aktuelle vanninnhold og vanninnhold ved feltkapasitet (estimert). Feltkapasitet er definert som den vannmengden har i jorda 2-3 dager etter at jorda har vær vannmettet, d.v.s. når vanntransporten ut av jorda er tilnærmet null.

Figuren viser at den generelle trenden er markvannsunderskudd (positiv verdi for lagerkapasitet) i vinteren (desember-mai) og litt i slutten av sommeren (august-oktober) og markvannsoverskudd (negativ verdi for lagerkapasitet) etter snøsmeltingen (mai-juli). Det er altså ved snøsmeltingen at det meste av grunnvannsfornyelsen og største avrenningen forekommer.
Variasjonen i lagerkapasiteten er på over 450 mm: Markvannsunderskudd når maksimum om vinteren og kan på denne jordarten gå over 200 mm, mens det kan forekomme overmetning ved snøsmeltingen (mai-juni) på over 250 mm.



Figur 8-7: Simulert vannlager (øverst) og lagerkapasitet for vann (nederst) i perioden 1981-2006 (Persentiler er angitt).

9. Konklusjon

Parametrisering av COUP-modellen ble foretatt i tilknytning til måleserier fra Groset markvannsstasjon for perioden fra og med 1/6.1993 til og med 30/6.2002, 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, parametrene som kontrollerer snøsmeltingen og jordas varmekapasitet i de dypeste lagene), samt drenering av jordprofilet. En alternativ løsning uten endringer i jordas varmekapasitet er gitt i vedlegg 8.

Den parametriserte modellen ble deretter testet mot et uavhengig datasett fra Groset markvannsstasjon for perioden fra og med 1/6.1981 til og med 30/9-1990. For begge perioden ble det benyttet meteorologiske data fra Møsstrand (met.no).

Simuleringene viser bra overensstemmelse med målingene av snødyp og snoens vannekvivalent registrert på markvannsstasjonen både i parametriseringsperioden (R^2 = henholdsvis 0,81 og 0,84) og i verifiseringsperioden (R^2 = henholdsvis 0,81 og 0,93). Resultatet er relativt god for teledyp for begge perioder (R^2 = henholdsvis 0,57 og 0,56) med unntakelser for noen vinter. Avviket er imidlertid på maksimum 10 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= henholdsvis 0,74 og 0,73).

Pga. av få målinger med tensiometer og nøytronmeter var det vanskelig å analysere om modellen er riktig parametrisert mht. plantenes vekst. Modellen ser ut å overestimere matrikssuget i den øverste delen av jorda.

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 Groset markvannsstasjon. Det er foretatt simuleringer for perioden 1981-2006 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 06.1981 til 09.2006. 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 26 år. Modell-simuleringer skal også kunne foretas månedlig eller ved behov for å gi en oversikt over markvannstilstanden på Groset 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

Aamodt K.O., 1986. Grosetfeltet. Fysiografi, avløp og grunnvannstand. Hovedoppgave ved Geografisk Institutt, UiO.

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.

Colleuille H., Haugen L.E. og Øverlie T., 2007. Vann i jord. Simulering av vann- og energibalansen på Kise markvannsstasjon, Hedmark. NVE Rapport 8-2007.

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

Haldorsen S., Deinboll Jenssen P., Koler J.Chr. og Myhr E., 1983. Some hydraulic properties of Sandy-silty Norwegian Tills. Acta Geologica Hispanica, t. 18 (1983). N3/4: 191-198.

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.

Hillel D., 1980. Introduction to soil physics. Academic Press, INC.

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

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 vann- og energibalansen på Værnes markvannsstasjon, Nord-Trøndelag. NVE Rapport 15-2006.

Øverlie T., Colleuille H. og Haugen L.E., 2007. Vann i jord. Simulering av vann- og energibalansen på Kvithamar markvannsstasjon, Nord-Trøndelag. NVE Rapport 18-2007.

Vedlegg 1 Teksturdata

Tabell: Tekstur målt på prøver fra profil 3 i 2001. Verdiene er gitt som % av materialet mindre enn 2mm.

Måledyp	Kornstørrelse (mm)							
(m)	<0,002	0,002 - 0,006	0,006 - 0,02	0,02 - 0,06	0,06 - 0,2	0,2 - 0,6	0,6 - 2,0	
0,15	2,2	2,3	6,4	6,2	29,4	28,1	22,4	Siltig mellomsand
0,25	1,7	1,8	5,9	7,6	34,6	27,7	17,4	Siltig mellomsand
0,40	1,2	0,6	2,4	5,8	66,3	21,7	1	Finsand
0,75	1,2	0,8	2,9	5,6	47,8	27,1	13,6	Mellomsand

Tabell: Teksturmålinger fra prøver tatt ut juni 2004.

	Kornstørrelse (mm)									Glødetap
Profil, dybde (sjikt)	% av material < 2mm								% av hele prøven	(%)
	<0,002	0,002 - 0,006	0,006 - 0,02	0,02 - 0,06	0,06 - 0,2	0,2 - 0,6	0,6 - 2,0		>2,0	
Profil 1, 0,10 m (E-sjikt)	3,2	3,6	8,9	13,2	20,8	40,0	10,4	Siltig mellomsand	20,1	1,9
Profil 1, 0,35 m (B-sjikt)	2,0	3,0	7,5	10,9	15,3	39,4	21,9	Siltig mellomsand	34,7	2,3
Profil 1, 0,70 m (C-sjikt)	1,3	0,9	2,7	5,8	20,6	56,8	12,0	Mellomsand	33,6	0,5
Profil 1, 1,20 m (C-sjikt)	11,2	1,6	3,9	6,6	11,5	53,8	11,4	Sandig lettleire	18,9	0,4
Profil 1, 1,65 m (C-sjikt)	1,5	1,2	2,9	7,3	40,7	38,3	8,1	Mellomsand	36,4	8,5
Profil 6, O-sjikt										80,6
Profil 6, E-sjikt	5,5	6,1	19,7	25,1	12,9	13,9	16,8	Sandig silt	23,9	4,5
Profil 6, B-sjikt	2,0	2,1	5,5	8,1	19,5	47,7	15,1	Siltig mellomsand	41,3	4,6

Tabell: Teksturdata benyttet i første modellsimuleringene av H. Colleuille (2005).

Sjikt nr.	Øvre grense (m)	Nedre grense (m)	Kornstørrelse (mm)							Glødetap
			<0.002	0.002 - 0.006	0.006 - 0.02	0.02 - 0.06	0.06 - 0.2	0.2 - 0.6	0.6 - 2.0	
1	0	0,2	2,2	2,3	6,4	6,2	29,4	28,1	22,4	3
2	0,2	0,4	1,7	1,8	5,9	7,6	34,6	27,7	17,7	3
3	0,4	0,6	1,2	0,6	2,4	5,8	66,3	21,7	1	1
4	0,6	0,8	1,2	0,8	2,9	5,6	47,8	27,1	13,6	1
5	0,8	2	5,6	9,1	15,7	17,8	26,0	9,2	15,6	1

Tabell: Jordtettheten målt med gammameter på markvannsstasjon Groset

	Rør 1	stdavvik	**Rør 2**	stdavvik	**Gjenn.**	stdavvik
15	0.93	0.12	1.27	0.00	1.10	0.24
30	1.23	0.28	1.31	0.01	1.27	0.06
45	1.54	0.11	1.42	0.02	1.48	0.09
60	1.59	0.00	1.42	0.00	1.51	0.13
75	1.58	0.04	1.56		1.57	0.01
90	1.53		1.57	0.01	1.55	0.03
120	1.84	0.00	1.49	0.02	1.66	0.25
150	1.80	0.00	1.51		1.66	0.21

Vedlegg 2 Vannretensjonskurver

Tabell: Resultat av vannretensjonsanalyse av jordprøver tatt ut juni 2004. Vanninnhold gitt i volumprosent vann (Øverlie, 2006).

Sjikt/ måledyp	Profil nr,	Antall prøver	0 cm H_2O	7,5 cm H_2O	20 cm H_2O	50 cm H_2O	100 cm H_2O	500 cm H_2O	1000 cm H_2O	15000 cm H_2O
O	6	4	72,4	69,5	68,1	65,3	56,0	41,7	40,2	9,9
E	2	4	49,7	42,1	37,9	28,9	14,5	6,7	6,7	3,2
B	1	4	63,9	60,2	54,5	45,4	33,3	21,6	21,1	8,0
C1 (70 cm)	1	3	31,7	28,9	26,4	16,4	9,6	2,3	1,8	0,7
C2 (90 cm)	1	2	30,1	25,5	20,8	12,5	7,5	1,1	1,6	0,5
C3 (120 cm)	1	4	32,0	30,3	26,8	17,1	11,6	2,9	1,7	0,6

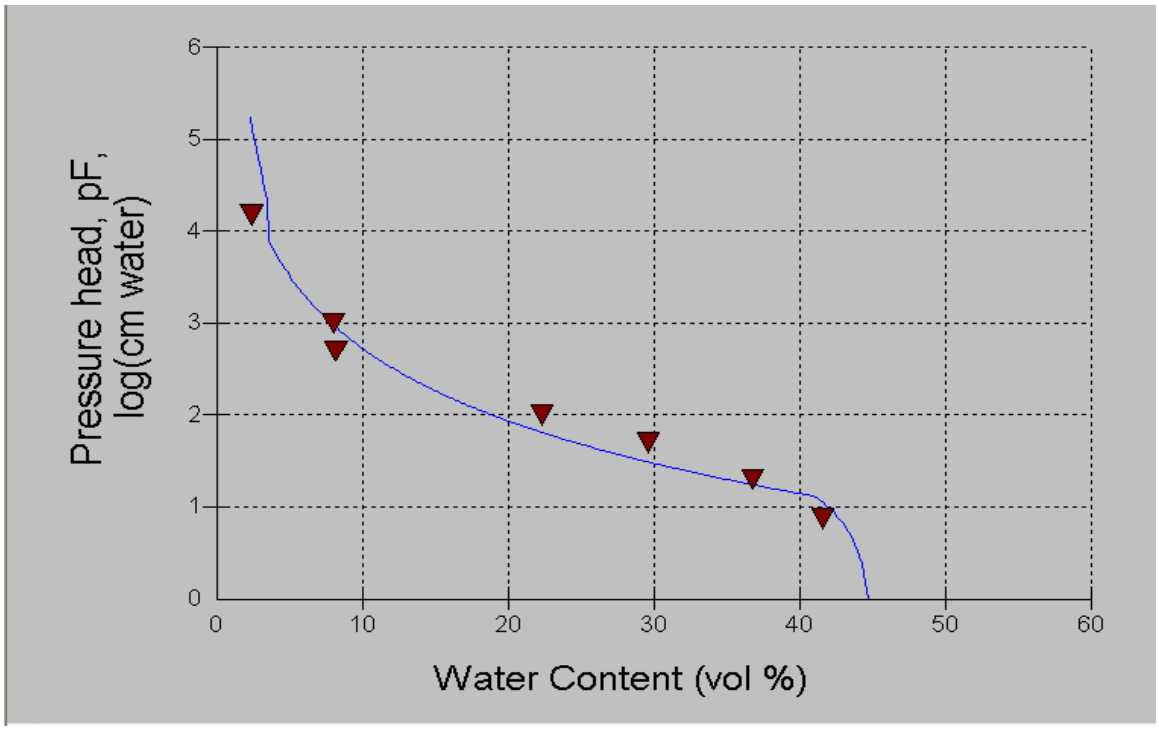
Tabell: Resultat av pF analyse av jordprøver tatt ut september 2004. Vanninnhold gitt i volumprosent vann (Øverlie, 2006).

Sjikt	Profil nr,	Antall prøver	0 cm H_2O	7,5 cm H_2O	20 cm H_2O	50 cm H_2O	100 cm H_2O	500 cm H_2O	1000 cm H_2O	15000 cm H_2O
O	9	4	83,6	77,9	75,5	72,6	60,0	43,2	41,3	9,1
E	8	8	48,4	43,5	40,5	36,0	33,8	6,0	6,6	1,2
B	8	9	64,6	57,8	49,7	39,8	32,3	31,7	24,5	6,3
C	8	7	39,7	34,2	28,2	20,2	13,7	7,4	7,3	1,4

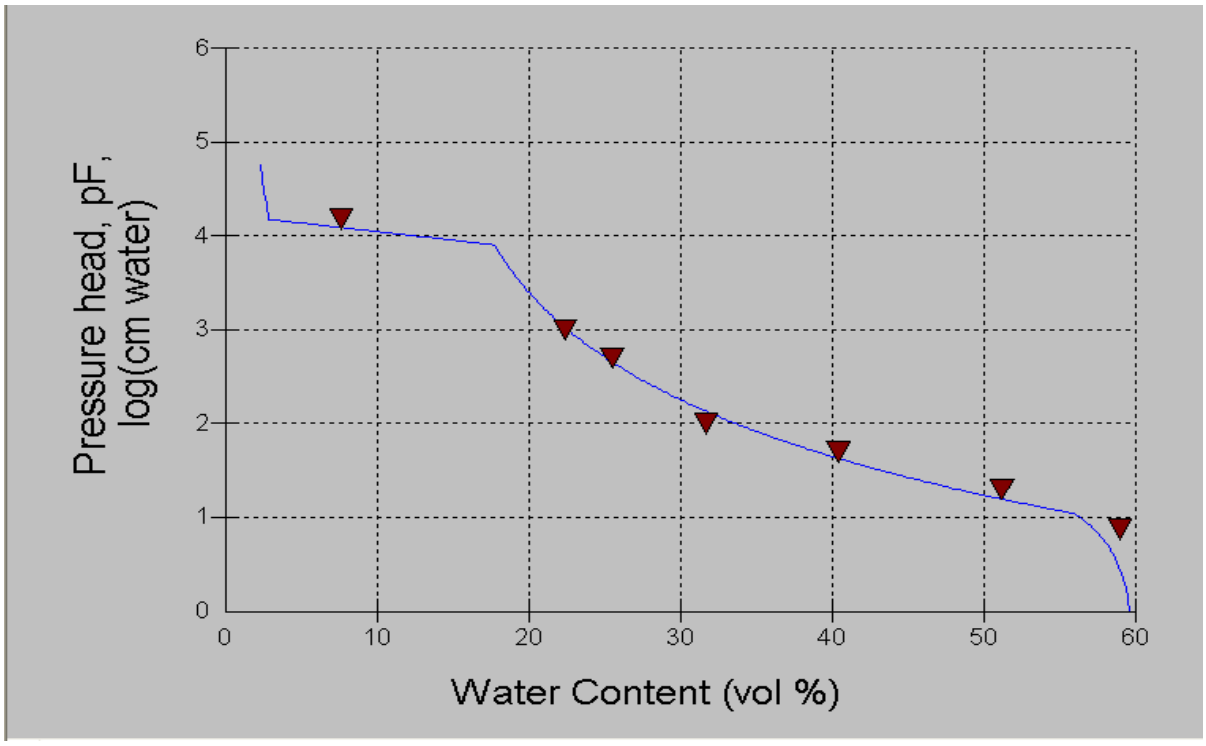
Tabell: Resultat av pF analyse fra profil 3 utført 1999 (NVE). Vanninnhold gitt i volumprosent vann. 3 prøver pr dyp.

Måledybde (profil 3)	0 cm H_2O	7,5 cm H_2O	20 cm H_2O	50 cm H_2O	100 cm H_2O	500 cm H_2O	1000 cm H_2O	3000 cm H_2O	15000 cm H_2O
15cm	44,9	39,3	32,1	23,8	18,7	11,9	10,8	9,0	2,8
25cm	60,1	58,9	49,4	36,0	29,5	23,2	21,6	19,8	8,5
40cm	40,2	36,0	29,3	17,8	12,0	7,5	6,8	6,0	3,0
60cm	35,3	32,5	26,2	15,9	10,4	6,0	5,4	4,5	1,6

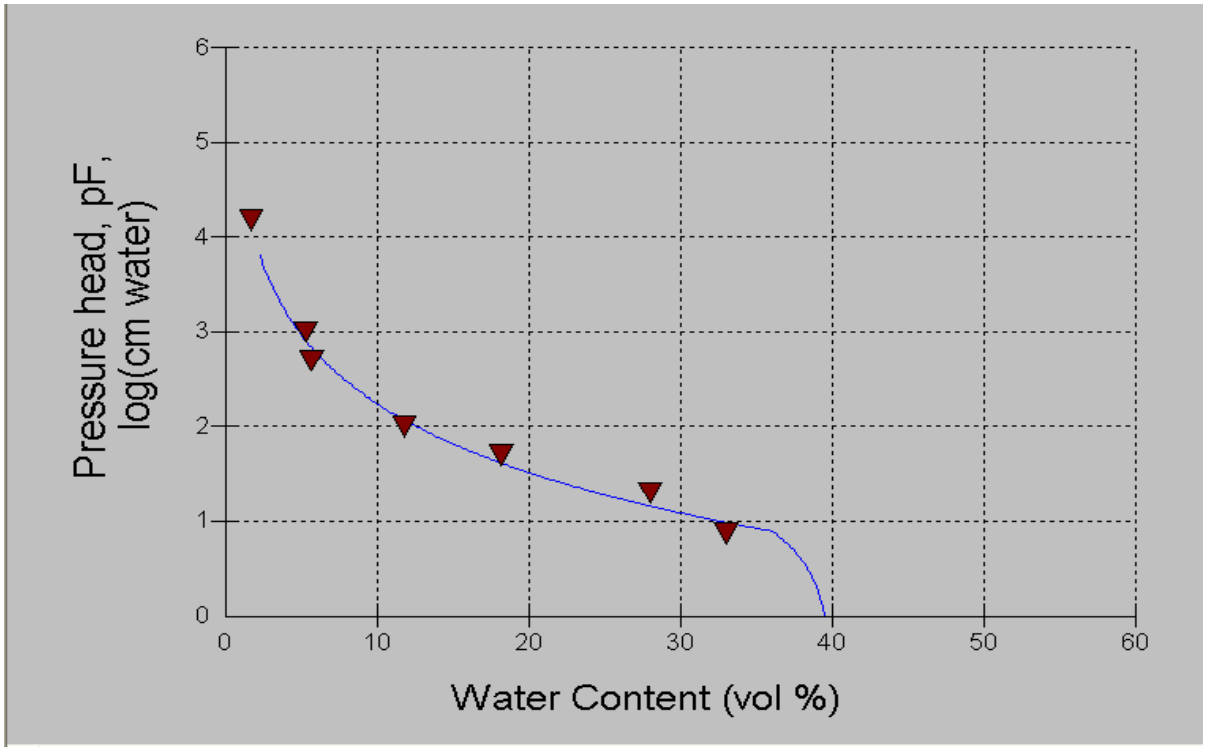
Ved analysen av prøvene tatt ut i 2004 oppsto det problemer ved måling av retensjon ved 1000 cm vannsøyle ved at målt vanninnhold ble høyere enn ved sug på 500 cm vannsøyle. Det ble utført nye målinger med andre keramiske plater etter ny oppfukting. Resultatet viste fortsatt økning eller ingen endring for enkelte av prøvene. Feilen kan ha oppstått på grunn av dårlig kontakt eller utette plater. Det kan ikke utelukkes at det er målingene ved 500 cm vannsøyle som er dårlige.



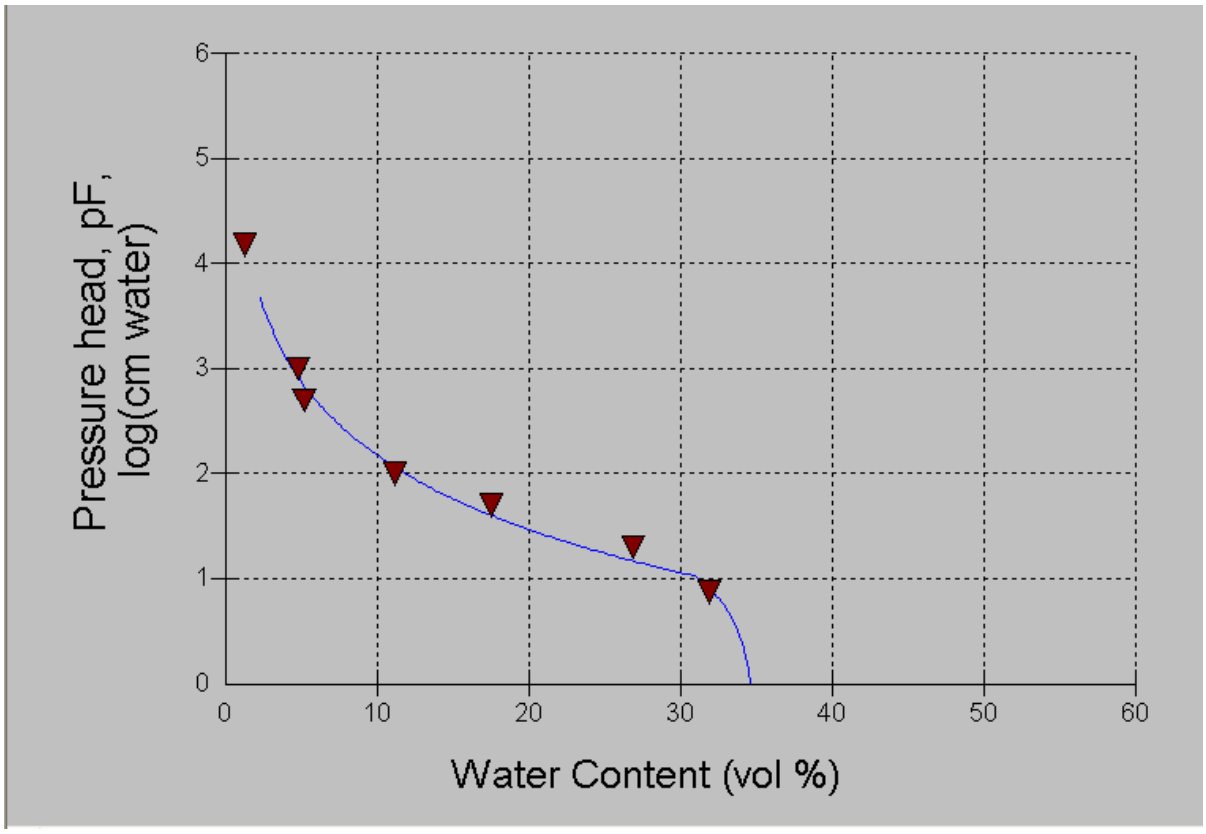
Retensjonskurve sjikt 1



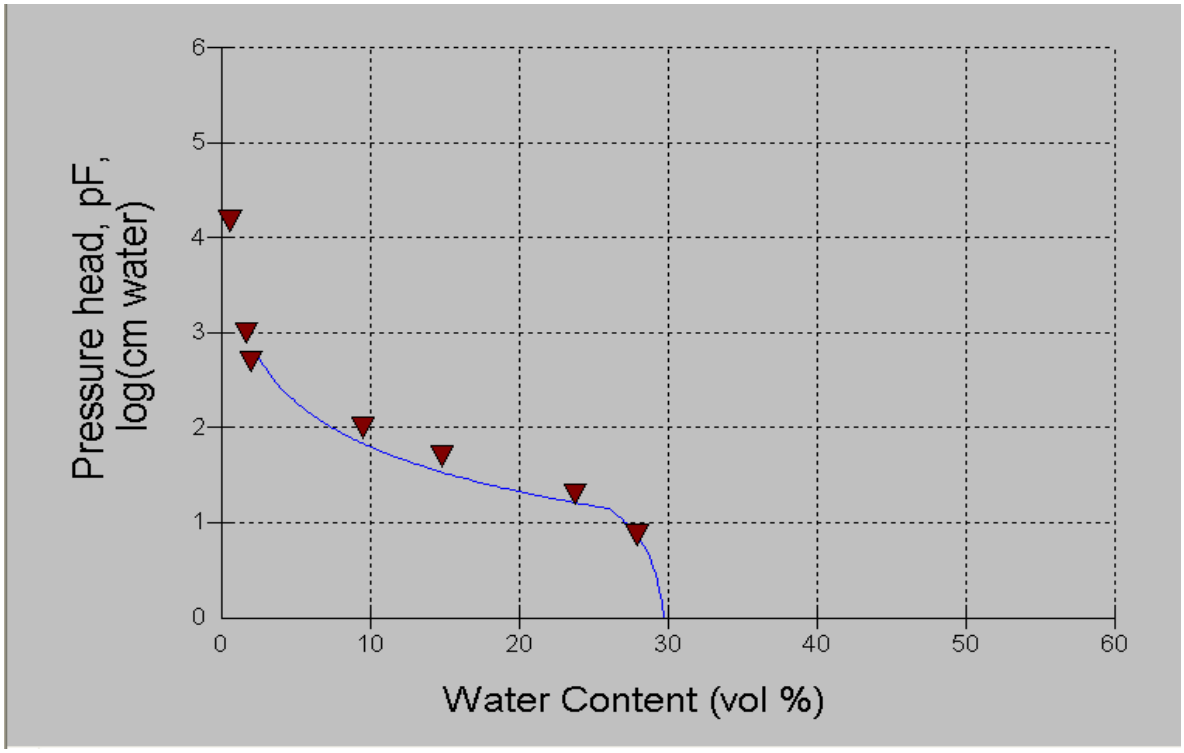
Retensjonskurve sjikt 2



Retensjonskurve sjikt 3



Retensjonskurve sjikt 4



Retensjonskurve sjikt 5

Vedlegg 3 Mettet vannledningsevne

Tabell: Mettet vannledningsevne (K_s) målt med konstant gradient (Øverlie, 2006)

Sjikt	Antall prøver	K_s cm/h (geometrisk middel)	Laveste målte verdi	Høyeste målte verdi,
Profil 6, 0	4	4,4	1,4	12,4
Profil 2, E	4	50,8	35,8	140,0
Profil 1, B	4	54,1	25,5	262,9
Profil 1, C1 (70 cm)	3	20,2	13,6	20,8
Profil 1, C2 (80 cm)	2	13,2	7,3	24,0
Profil 1, C3 (120 cm)	4	7,9	7,0	9,1

Tabell: Mettet vannledningsevne (K_s) målt med fallende gradient (Øverlie, 2006)

Sjikt	Antall prøver	K_s cm/h (geometrisk middel)	Laveste målte verdi	Høyeste målte verdi,
Profil 9, 0	4	637,3	433,0	856,0
Profil 8, E	8	6,2	2,1	22,9
Profil 8, B	9	61,4	29,2	284,5
Profil 8, C	6	49,8	14,1	402,7

Tabell: Resultat av infiltrasjonsmålinger i felt. K_{fs} er felt-mettet vannledningsevne og Φ_m er matriks flukspotensial (Øverlie, 2006).

Lokalitet	K_{fs} cm/h	Φ_m cm^2/h	Kommentar
Bak bua ved V-overløp, 18cm	0,5	21,8	
Mellom markvannsstasjon og profil 1, 30cm (B-sjikt)	($<7*10^{-4}$)		1,5 timer, ingen målbar endring i vannhøyde,
Mellom markvannsstasjon og profil 1, 40cm (C-sjikt)	3,7	17,0	
Ved telemål, 15cm (B-sjikt)	0,3	3,7	
Ved telemål, 85cm (C-sjikt)	1,6	1,6	
På gresset ved telemål, 20cm (B-sjikt)	($<7*10^{-5}$)		fortsatt vann i brønn etter 16 timer, Ingen målbar forandring etter 1 time,

Vedlegg 4 Parametersetting

Was run (November 11, 2007. 20:07:53) as Simulation # 596 with Version 2.42, 21 Se

Started from 1980-11-01 02:00 to 2007-10-27 12:00

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

Groset HEC nov 2007 fra sim 68 lohmar/datoplante

Data base selections

Soil	900: 2 Groset 2007	99	/99	T N

Switches

SnowPack	NewSnowDensity	Exponential f(air temp)
	SnowSurfTemperature	f(E-balance Solution)
Interception	PrecInterception	on
	SnowInterception	on
Potential Transpiration	Displacement	f(canopy)
	RSMethod	Lohammar Eq
	Roughness	f(canopy)
Soil Thermal	SolidHeatCapDist	f(z)
Meteorological Data	HumRelInput	Read from PG-file
	PrecInput	Read from PG-file
	RadGlobInput	Estimated
	TempAirCycle	Annual
	TempAirInput	Read from PG-file
	VapourAirInput	As relative humidity
Plant	CanopyHeightInput	Driving variable
	LaiInput	Driving variable
	RootInput	Driving variable
Soil heat flows	Convection flow	Not accounted for
	Lower Boundary	Constant heat flow
Model Structure	Evaporation	Radiation input style
	GroundWaterFlow	on
	PlantType	Explicit single big leaf
	SnowPack	on
	WaterEq	on
Soil Hydraulic	Matric Conductivity	Same as Total Conductivity
Technical	PressureHeadSign	Positive
Soil frost	FrostSwelling	Off
	Infiltration	Low+High FlowD
	LoadPotential	Off
Soil evaporation	Evaporation Method	PM-eq, Rs(3Par)
	Surface Temperature	f(PM-equation)
Drainage and deep percolati	PhysicalDrainEq	Linear Model

Parameters

SnowPack	CritDepthSnowCover	0.07	m
	DensityOfNewSnow	110	Kg/m3
	MeltCoefAirTemp	3	Kg/Cm2day

	MeltCoefAirTemp	3	Kg/Cm2day
	MeltCoefGlobRad	4.500e-7	Kg/J
Potential Transpiration	CondMax	0.03	m/s
Soil heat flows	GeothermalFlow	-1.000e+	J/m²/day
	SoilInitTempConst	5	øC
	TempDiffPrec_Air	0	øC
Soil frost	FreezepointF0	5	-
Radiation properties	Latitude	59.7	-
Drainage and deep percolati	DrainLevel	-3.3	m
	DrainSpacing	4.500e+3	m
Soil water flows	InitialGroundWater	-0.7	m
	InitialPressuredHead	100	cm water

Parameters Tables

Soil Thermal ***Heat Capacity of solids*** ***15 elements***

C bulk (1-15)

2.000e+6	2.000e+6	2.000e+6	2.000e+6	2.000e+6	2.000e+6	2.000e+6	2.000e+6	
2.000e+6	2.000e+6	2.000e+6	2.000e+6	2.000e+7	2.000e+7	2.000e+7		(596)

Soil Profile ***Compartment Sizes*** ***15 elements***

Thickness 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	0.7	1		(596)

Soil Hydraulic ***Brooks-Corey, water retention, measured h 5 elements***

	Lower Depth		Air Entry		Wilting Point		Macro Pore	
Upper Depth		Lambda		Saturation		Residual Water		Upper Boundary
0	0.1	0.383763	10.3417	45	3.62	0.0792079	4	8.000e+3
0.1	0.4	0.330484	8.36479	60	2.9	12.8634	4	8.000e+3
0.4	0.6	0.415117	6.13025	40	2.54	0.0524752	4	8.000e+3
0.6	0.8	0.429682	7.96625	35	2.54	0.0475248	4	8.000e+3
0.8	4	0.648788	11.4075	20	2.45	0.0158416	4	8.000e+3

Soil Hydraulic ***Hydraulic conductivity, measured horizons 5 elements***

	Lower Depth		Total Conductivity		Macro Pore	
Upper Depth		Matrix Conductivity		n Tortuosity		
0	0.1	1.500e+4	1.500e+4	1	4	(596)
0.1	0.4	2.100e+4	2.100e+4	1	4	(596)
0.4	0.6	5.000e+3	5.000e+3	1	4	(596)
0.6	0.8	4.000e+3	4.000e+3	1	4	(596)
0.8	4	4.000e+3	4.000e+3	1	4	(596)

Model Input Files

Meteorological Data	Meteorological data	C:\HEC\COUPDATA\TRGRO\AAK2007B.BIN
Plant	Crop data	C:\HEC\COUPDATA\TRGRO\PLENGROS.BIN
Validation	Validation File	C:\HEC\CoupData\TRGRO\AOBSGRO.BIN

Vedlegg 5 Vannbalanse 1981-2006

Hydrologisk år: 1/10-31/09 (Sim_591)

	Evaporasjon	Transp.	Evapotransp.	Drenering	Overflateavr.	Intersep.
81-82	71	149	285	626	0	30
82-83	62	143	255	803	256	29
83-84	75	182	314	670	2	32
84-85	75	144	299	626	0	49
85-86	77	137	266	534	0	33
86-87	76	122	243	563	0	40
87-88	60	120	224	929	80	48
88-89	68	132	203	788	0	29
89-90	82	163	267	680	115	35
90-91	58	122	210	385	178	27
91-92	55	151	237	485	0	33
92-93	63	150	256	647	112	35
93-94	69	131	238	587	75	34
94-95	50	134	205	763	0	31
95-96	63	136	239	412	62	32
96-97	50	129	215	465	228	34
97-98	67	114	203	683	0	41
98-99	45	121	174	606	0	22
99-00	79	130	243	654	0	39
00-01	61	137	225	700	48	37
01.02.	63	171	275	646	159	45
02.03.	80	159	309	439	0	41
03.04.	71	147	280	394	211	44
04.05.	84	161	312	550	26	45
05.06.	73	155	286	543	2	39
Gjennomsnitt	67	142	251	607	62	36
Maksimum	84	182	314	929	256	49
Minimum	45	114	174	385	0	22

Vedlegg 6 Vekstparameter

	Veksstart	Plantehøyde	LAI	Rotdyp	Vekstslutt
1981	131	151	157	177	281
1982	148	169	175	192	249
1983	150	170	176	192	267
1984	138	157	166	184	270
1985	132	152	158	178	262
1986	150	170	176	192	252
1987	154	175	180	196	260
1988	146	168	174	191	274
1989	156	176	183	198	281
1990	149	169	176	192	263
1991	163	182	188	203	269
1992	137	156	165	183	284
1993	132	152	158	178	256
1994	153	174	179	195	262
1995	146	168	174	191	270
1996	150	170	176	192	270
1997	149	169	176	192	261
1998	148	169	175	192	274
1999	139	158	166	185	277
2000	155	176	182	197	287
2001	145	167	173	190	295
2002	128	149	154	176	279
2003	144	166	173	190	271
2004	147	168	175	191	278
2005	145	167	173	190	292
2006	151	171	177	193	283

Vedlegg 7 Grunnvannsdannelse

Hydrologisk år: 1/10-31/09 (Sim_591)

	Vannstrøm	Nedbør	Drenering	Vannstrøm	Drenering
	67 cm dyp mm	mm	mm	% av nedbør	% av nedbør
81-82	614	930	626	66 %	67 %
82-83	724	1240	803	58 %	65 %
83-84	597	880	670	68 %	76 %
84-85	694	1038	626	67 %	60 %
85-86	488	741	534	66 %	72 %
86-87	600	859	563	70 %	66 %
87-88	973	1353	929	72 %	69 %
88-89	673	830	788	81 %	95 %
89-90	668	1065	680	63 %	64 %
90-91	279	672	385	41 %	57 %
91-92	625	881	485	71 %	55 %
92-93	559	935	647	60 %	69 %
93-94	615	949	587	65 %	62 %
94-95	721	930	763	78 %	82 %
95-96	197	607	412	32 %	68 %
96-97	540	943	465	57 %	49 %
97-98	700	918	683	76 %	74 %
98-99	540	726	606	74 %	83 %
99-00	674	935	654	72 %	70 %
00-01	675	987	700	68 %	71 %
01.02.	578	926	646	62 %	70 %
02.03.	497	832	439	60 %	53 %
03.04.	357	844	394	42 %	47 %
04.05.	528	874	550	60 %	63 %
05.06.	550	843	543	65 %	64 %
Gjennomsnitt	587	909	607	64 %	67 %
Maksimum	973	1353	929	81 %	95 %
Minimum	197	607	385	32 %	47 %

Vedlegg 8 Alternativt parametersett

Problemet med de første simuleringene var at simulert teledyp var mye større enn målt. Ulike endringer i antatt viktige parametre ga ikke ønsket effekt og til slutt ble jordas varmekapasitet økt for de to dypeste lagene. Dette ga et bedre simuleringsresultat, men med en helt urealistisk varmekapasitet for de to lagene. Dette kunne tyde på at enkelte prosesser i modellen var mangelfullt beskrevet. For å få et innblikk i dette er det senere prøvd ulike andre parametersett og det ser ut til at en har kommet frem til et tilnærmet like godt parametersett uten å bruke urealistiske jordegenskaper. Bakgrunnen for parametersettet er kort beskrevet i dette vedlegget. I tillegg er simuleringsfil vedlagt. Utgangspunktet for simuleringene var beste parametersett fra simuleringene tilknyttet markvannsstasjonene i Trøndelag, Værnes og Kvithamar (Øverlie et al.,2006; Øverlie et al.,2007). Jord- og planteegenskaper samt parametersetting for drenerings-systemet ble satt i følge simuleringer foretatt av Øverlie (2006). I forhold til simuleringene beskrevet i denne rapporten så er enkelte grensebetingelser tilknyttet overflatetemperatur og snøparametre anderledes.

Den første simuleringene (sim 053) viste en litt for sen snøsmelting om våren. Parametrene for snøsmelting ble derfor endret slik at smeltingen pga av globalstrålingen økte om våren noe som ga en langt bedre tilpasning. MeltCoefGlobRad ble endret fra standarden 3.0e-7 til 4.5 e-07. For standardparametre smeltes ca 7 mm ved en globalstråling på 10 MJ/dag. Ved den nye verdien er smeltingen økt til 10 mm/dag. Denne endringen ble foretatt i simulering 056 og dette ga også en bedre tilpasning mellom målt og simulert teledyp i snøsmeltingsperioden.

En kvalitativ vurdering av simulert og målt teledyp for Groset fra 1981 til 2001 indikerte at teledypet ble underestimert ved simuleringene og da i første rekke midtvinters. Forskjellen var av størrelsesorden ca 0.2 m. Tidspunktet for når telen startet syntes brukbart simulert, men i forhold til målingene forsvant telen litt for tidlig.

Det ble prøvd å øke teledypet og her er også tatt med en kort begrunnelse for parametersettingen. Et økt simulert teledyp vil kunne oppnås ved å:

- øke varmetransporten ut gjennom snøen;
- senke varmetransport inn ved nedre grense i jordprofilet;
- senke vanninnholdet i jorda (f eks gjennom endring av drenering/jordegenskaper).

Det ble valgt å undersøke det første alternativet siden det var enklest. Ut fra noen enkle betraktninger tilknyttet stasjonære varmestrømning kan varmetransporten gjennom snøen skrives som (Fourier's 1. lov):

$$qh = - Ksnow * dT/dz$$

Varmefluksen (qh) er varmeldningsevne (Ksnow) multiplisert med temperaturgradienten. I COUP beregnes varmeledningsevnen i snø som en funksjon av snøens tetthet:

$$Ksnow = sk * rho_snow^2$$

Standardverdien for parameteren sk = 2.86e-06 eller som brukt i sim 056 3.0e-06, rho_snow er snøens tetthet.

Mulige endringer i modellen er da:
- Endring i temperaturen ved snøoverflaten:
Ved simuleringene er overflatetemperatur antatt lik lufttemperatur. Et annet alternativ er å estimere overflatetemperaturen ut fra iterativ løsning av energibalansen. Dette er bare delvis prøvd siden erfaringene med denne løsninger er at en får enkelte ekstremt lave temperaturer ved snøoverflaten med påfølgende lave jordtemperaturer. En beskrivelse av en finsk snø-modell beskriver tilsvarende problemer med en slik løsning og da spesielt på vindstille dager når den turbulente transporten ("følbar varme") blir lav.
- Endring i Ksnow:
Dette kan enten gjøres ved å endre parameteren sk eller tettheten av snøpakka.

Det enkleste alternativet var å endre varmeledningsevne i snø. Ksnow. Parameteren sk ble først endret til 9.0e-06 noe som ga altfor mye tele og til slutt endte den på 4.5e-06. I nedenstående tabell er noen enkle beregninger for å se effekten på Ksnow ved endring av parameterene sk for ulike snøtettheter samt hva dette ville tilsvart hvis en brukte standardverdi for sk men istenden endret snøens tetthet.

Rho_snow (tetthet av snø, kg/m3)		100	200	300	400	500
Ksnow (Varmeledningsevne i snø, W/m og grad)	sk = 3.0e-06	0.03	0.12	0.27	0.48	0.75
	sk = 4.5e-06	0.045	0.18	0.405	0.72	1.125
Rho_snow for å oppnå ca samme endring som for sk[7]		122	245	368	490	612

I modellsimuleringene er det to alternativer for setningen av snøpakken over tid ("pakking"):
- Densification as a function of ice and liquid water content;
- Densification as a function of compaction rate.

Den sistnevnte rutinen er prøvd tidligere og den virker ustabil og kan gi enkelte ekstreme verdier, så derfor ble den førstnevnte rutinen valgt.

Tettheten av snøpakken er da beskrevet som:

Rho_snow_old = rhos_snow_new + s_{dl} Swl/Swlmax + s_{dw} Sres

Det første leddet er tettheten av nysnø. Standardverdi oppgitt til 100 kg/m^3, mens her er det brukt 120 kg/m^3 noe som har vist seg å gi et bedre samsvar mellom målt og simulert snødyp. Det andre leddet går på en økt tetthet pga økt vanninnhold i snøen, Swl = fritt vann i snøen pluss fritt vann tilført ved nedbør/smelting i tidssteget. Swlmax er max retensjonskapasitet av fritt vann i snø som er satt til standardverdien 7%. Forholdet

[7] Verdi for rho_snow med sk=3.0e-06 som tilsvarer Ksnow for sk=4.5e-06 med rho_snow-verdier i øverste linje.

ganges med s_{dl} (standardverdi 200 kg/m^3). Så når det er maksimalt med fritt vann i snøen øker tettheten med 200 kg/m^3. Det 3.leddet er en funksjon av vekten av snø hvor Sres er vannmengden i snø gitt som kg/m^2 (eller mm) og som ganges med s_{dw} med standardverdi 0.5 (1/m), dvs. er vannmengden i snø 100 mm så øker tettheten med 50 kg/m^3. Snødypet beregnes deretter som Sres/rho_snow_old dvs vannmengden i snø dividert på tettheten. I simuleringsresultatene for sim 056 er det kanskje en liten tendens til at i enkelte år er simulert snødyp større enn målt noe som kan tyde på at parametrene i denne standard pakkingsfunksjonen ikke er optimale. Et for stort snødyp gjør at dz i Fouriers 1 lov blir for stort og dermed kan gi en nedsatt varmestrømmen ut gjennom snøpakka. Men for en bedre parametrisering av denne funksjonen bør en ha døgnmålinger av snødyp og lange perioder uten nedbør eller smelting og helst da både perioder med og uten fritt vann i snø. Dette nevnes kun her, men en går ikke videre langs denne veien i denne rapporten.

Det enkleste alternativet for endring i teledyp er derfor valgt, dvs. parameteren sk endres i funksjonen for varmeledningsevne i snø fra 3.0e-06 til 4.5 e-06 (se tabell ovenfor). Dette er gjort i simulering 060.

Hvis vi antar en snøpakke på 0.5 m med en tetthet på 100 kg/m^3 og en lufttemperatur på 5 kuldegrader og 0 grader ved jordoverflaten så blir varmefluksen ved de to verdiene for sk:

q(sk=3) = 0.03 *(5/0.5) = 0.3
q(sk=4.5) = 0.045 *(5/0.5) = 0.45

For å oppnå samme varmefluks med sk=3 så må snøpakkens overflatetemperatur være -7.5 °C dvs 2.5 grad lavere enn lufttemperaturen. En økning av snøens tetthet fra 100 til 150, noe som reduserer snødypet fra 0.5 m til 0.33 m vil gi samme fluks for sk=3 som for sk=4.5 og snødyp 0.5m, dvs

q(sk=3, snøtetthet=150 kg/m^3 noe som reduserer snødyp fra 0.5 til 0.3 m) = 0.03*(5/0.33) = 0.45

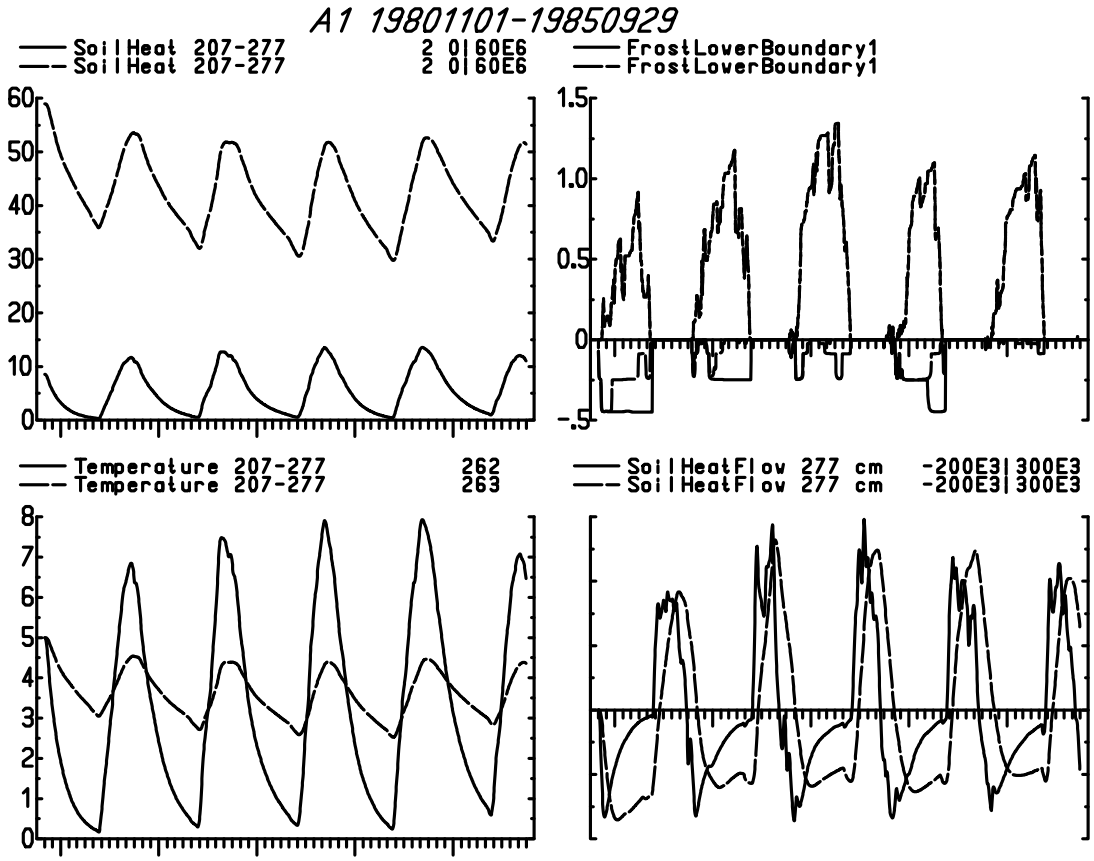
En oversikt over noen statistiske mål for sammenligning simulert og målt for perioden 1981 til 2001 er vist nedenfor. Resultatene er kun for vinterperiodene hvert år, dvs. når det er snø.

RM = sum(abs(sim-målt))/N ME = sum(sim-målt)/N, RMSE = sqrt((sim-målt)/N)
Orginal = simulering beskrevet i rapporten.

		N	RM	ME	RMSE	
Snødyp, m	053	798	0.128	0.078	0.183	
	056	798	0.120	0.022	0.167	
	060	798	0.120	0.021	0.170	
Orginal	069	798	0.151	0.091	0.210	
				Sim>obs		
Teledyp,m	053	770	0.153	0.088	0.234	
	056	770	0.146	0.080	0.228	
	060	770	0.133	0.0005	0.232	
Orginal	069	770	0.129	-0.047	0.192	

				Obs>sim		
Grvann, m	053	1343	0.282	-0.164	0.422	
	056	1343	0.295	-0.244	0.403	
	060	1343	0.357	-0.219	0.475	
Orginal	069	1343	0.204	-0.049	0.287	
				Sim>Obs		

Selv om tallene endrer seg lite så indikerer plott av målte og simulerte verdier som funksjon av tid å gi en litt bedre tilpasning når en går fra simuleringer 053 til 056 til 060 (NB vise en figur). Grunnvannstand er kanskje best tilpasset ved sim 056. Resultatene i tabellen viser at for snø- og teledyp er simuleringene beskrevet her like god, men simulert grunnvannsstand er klart bedre for det som er kalt orginal-simulering. Forbedringen er spesielt om høsten og tidspunkt om våren. I nedenstående figur er vist hva som oppnåes med en urealistisk varmekapasitet for dypere lag i forhold til en endring i den konstante jordvarmefluksen nedenfra. Figurens kvalitet er ikke helt god men den er tatt med fordi den viser noe interessant. Øverst til venstre vises varmeinnholdet i jordlaget på 207-277 cm dyp med (øverst) og uten ekstra varmekapasitet. Øverst til høyre er vist simulert snødyp og teledyp, snødypet påvirkes ikke men en ser klare forskjeller i tiningen av teledypet i løpet av vinteren. Nederst til venstre er vist simulert jordtemperatur for dypet 207-277 cm og en ser at effekten av den økte varmekapasiteten er å senke amplituden for jordtemperaturen. Middelverdien er tilnærmet den samme. Nederst til venstre i figuren er vist jordvarmefluksen ved 277 cm dyp og her kommer en tydelig og kanskje litt uventet forskjell frem. Jordvarmefluksen ved nedre grense er den samme for begge simuleringene men den økte varmekapasiteten medfører at jordvarmefluksen ved 277 cm snur litt senere om høsten og den er relativ stabil gjennom vinteren. Det er denne forskjellen som gir den tidligere smeltingen av telen om våren ved simuleringene med økt varmekapasitet, noe som igjen gir en bedre tilpasning mellom målt og simulert grunnvannsstand. Interessant å merke seg at en oppnår ikke samme effekt ved å kunne øke varmefluksen inn gjennom profilets nedre grense.



Stiplet linje i figuren nedenfor er med økt varmekapasitet, dvs simuleringen som er omtalt i rapporten:

To be run as Simulation # 269
Will start from 1980-11-01 00:00 to 2006-09-30 20:00
Storing data every 1440 minutes and using a minimum of 512 iterations per day
Groset, plen 1980-2006

Data base selections
Soil 201: 3 Groset 59.7 /8.1 C SE
Switches
Interception PrecInterception on
Potential Transpiration Displacement f(canopy)
RSMethod Lohammar Eq
Roughness f(canopy)
Meteorological Data HumRelInput Read from PG-file
PrecInput Read from PG-file
TempAirCycle Annual
TempAirInput Read from PG-file
VapourAirInput As relative humidity
Plant CanopyHeightInput Driving variable
LaiInput Driving variable

RootInput Driving variable
Numerical NumMethod Central Difference
Soil heat flows Analytical Solution On
Convection flow Not accounted for
Lower Boundary Constant heat flow
Model Structure Evaporation Radiation input style
GroundWaterFlow on
PlantType Explicit single big leaf
SnowPack on
WaterEq on
Soil Hydraulic Matric Conductivity Same as Total Conductivity
Soil frost FrostSwelling Off
Infiltration Low+High FlowD
LoadPotential Off
Soil evaporation Evaporation Method PM-eq, Rs(3Par)
Drainage and deep percolation PhysicalDrainEq Linear Model
Water uptake Temperature response None

Parameters
SnowPack DensityOfNewSnow 120 Kg/m3
OnlyRainPrecTemp 2.5 C
SThermalCondCoef 3.000e-6 Wm5/°C·Kg²
Meteorological Data PrecA0Corr 1 -
PrecA1Corr 0 -
TempAirAmpl 5.3 °C
TempAirMean 12 °C
TempAirPhase 15 days
Surface water SPCoverTotal 10 mm
SurfPoolMax 10 mm
Soil heat flows SoilInitTempConst 5 øC
Soil frost FreezepointFWi 0.7 -
Soil evaporation PsiRs_3pf2 600
PsiRs_3pf3 10
Latitude 63.5 - (269)
Radiation properties Latitude 59.7 -
DrainLevel -1 m (269)
Drainage and deep percolation DrainLevel -3.3 m
DrainSpacing 8 m (269)
DrainSpacing 4.500e+3 m
Water uptake CritThresholdDry 1000 cm water
Soil water flows InitialGroundWater -1.2 m
InitialPressuredHead 100 cm water

Parameters Tables
Soil Profile Compartment Sizes 15 elements
Thickness Layers (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 0.7 1 (269)

Soil Hydraulic Brooks-Corey, water retention, measured horizons 5 elements

Upper Depth
Lower Depth
Lambda
Air Entry
Saturation
Wilting Point
Residual Water
Macro Pore
Upper Boundary
0 0.1 0.39196 8.97725 47.7 2.4 0.411881 4 8.000e+3 (269)
0.1 0.4 0.330277 6.98008 62.9 7.6 12.8515 4 8.000e+3 (269)
E:\coup_2007\markvann_sim\Groset\groset_2007_plen_269.SimVersion 2.42, 12

Soil Hydraulic Brooks-Corey, water retention, model layers 15 elements
mUpper Depth
mLower Depth
mLambda
mAir Entry
mSaturation
mWilting Point
mResidual Water
mMacro Pore
mUpper Boundary

Soil Hydraulic Hydraulic conductivity, measured horizons 5 elements
Upper Depth
Lower Depth
Matrix Conductivity
Total Conductivity
n Tortuosity
Macro Pore

Model Input Files
Meteorological Data Meteorological data
E:\COUP_2007\MARKVANN_SIM\GROSET\AMOS8106.BIN
Plant Crop data E:\COUP_2007\MARKVANN_SIM\GROSET\PLENGROS.BIN
Validation Validation File
E:\COUP_2007\MARKVANN_SIM\GROSET\AOBSGRO.BIN

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.)

Nr. 9 Amir Messiha: Avbruddsstatistikk 2006 (76 s.)

Nr. 10 Anders Aarøe Mømb (red.): Årsrapport for utførte sikrings- og miljøtiltak i 2006. Beskrivelse av utførte anlegg 2006 (101 s.)

Nr. 11 Anders Bjordal, Knut Aune Hoseth, Jon-Håvar Haukland: Flom- og erosjonssikringstiltakene i Altaelva. Prosjektgruppens forslag til prioriteringer av vedlikehold og miljømessig oppgradering

Nr. 12 Edward Witczak, Mads Johnsen: Stjørdalselva, erosjon, stabilitet og sikring. Del 1 (327 s.), del 2 (238 s.)

Nr. 13 Tor Arnt Johnsen (red.): Kvartalsrapport for kraftmarkedet, 2. kvartal 2007 (64 s.)

Nr. 14 Planlegging og etablering av små vannkraftverk (74 s.)

Nr. 15 Metoder for vurdering av miljøkonsekvenser ved energitiltak. Oppsummering av NVEs arbeid i 2006 (16 s.)

Nr. 16 En vegetasjonsøkologisk undersøkelse av fire rørgater på Vestlandet. (33 s.)

Nr. 17 Tor Arnt Johnsen (red.): Kvartalsrapport for kraftmarknaden, 3. kvartal 2007 (60 s.)

Nr 18 Trude Øverlie, Hervé Colleuille, Lars Egil Haugen: Vann i jord. Simulering av vann- og energibalansen på Kvithamar markvannsstasjon, Nord-Trøndelag

Nr 19 Hervé Colleuille, Lars Egil Haugen, Trude Øverlie: Vann i jord. Simulering av vann- og energibalansen på Groset markvannsstasjon, Telemark (83 s.)