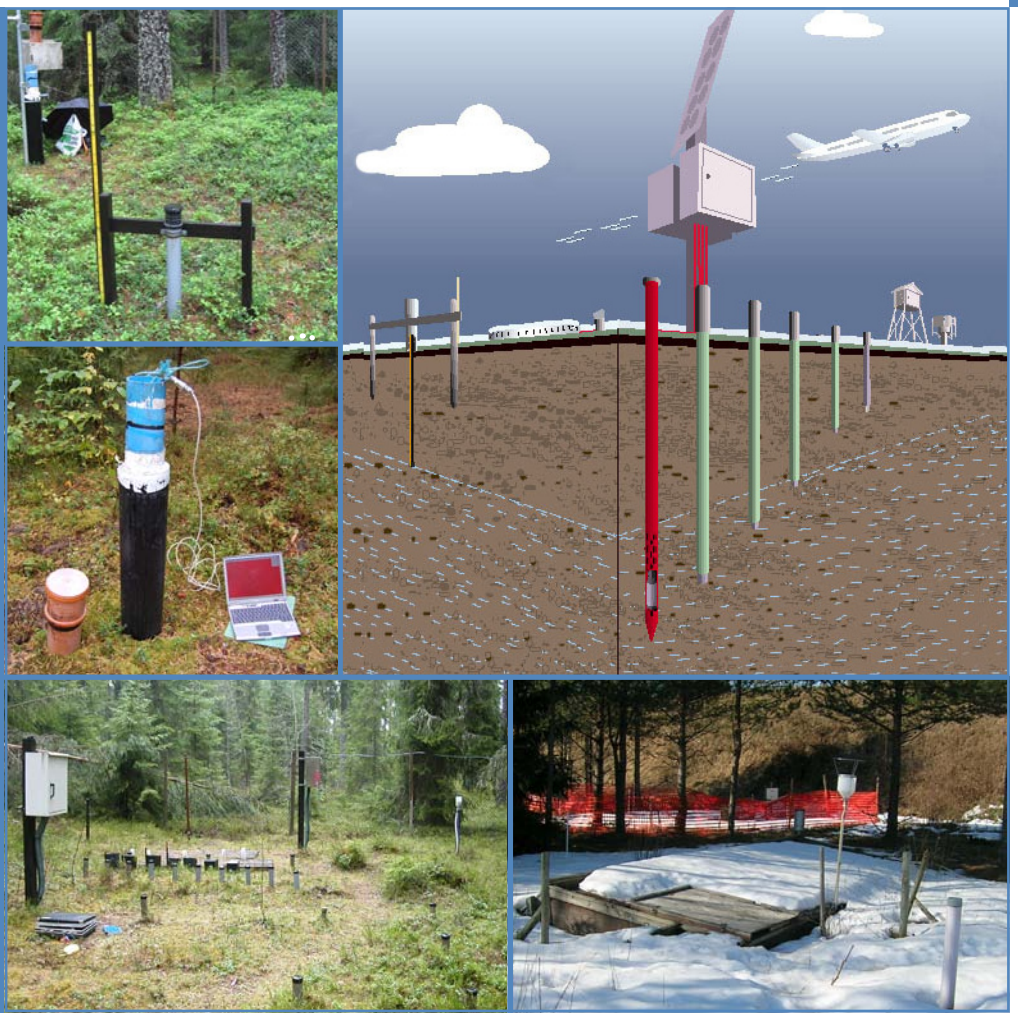
Vann i jord

Simulering av vann- og energibalansen på Gardermoen, Akershus

Hervé Colleuille
Lars Egil Haugen

20
2007

RAPPORT



Vann i jord
Simulering av vann- og energibalansen på Gardermoen, Akershus

Norges vassdrags- og energidirektorat
2007

Rapport nr 20-2007

Vann i jord. Simulering av vann- og energibalansen på Gardermoen, Akershus

Utgitt av: Norges vassdrags- og energidirektorat

Redaktør:

Forfatter: Hervé Colleuille og Lars Egil Haugen

Trykk: NVEs hustrykkeri

Opplag: 25

Forsidefoto: Telemålet, observasjonsbrønn for grunnvann og markvannsstasjon Nordmoen (foto Hervé Colleuille) og Moreppen med snø (foto Helen French)

ISBN: 978-82-410-652-4

Sammendrag: Parametrisering av COUP-modellen ble foretatt i tilknytning til måleserier fra Nordmoen markvannsstasjon og forsøksfelt Moreppen for perioden fra og med 1/6.1990 til og med 30/6.2007. Fra simuleringer av vann- og energibalanse for perioden 1980-2007 er det utarbeidet normaler og ekstremer av bl.a. evapotranspirasjon, grunnvannsdannelse, grunnvannsstand, markvannsunderskudd, snø- og teleforhold. Dette arbeidet er et bidrag til FoU prosjektet ”Forurensingsfare og håndtering av smeltevann ved veier og flyplasser i et endret klima” ledet av Bioforsk.

Emneord: Grunnvann, markvann, snø, tele, jordtemperatur, vanninnhold, fordamping, grunnvannsdannelse, evapotranspirasjon, markvannsmodell, COUP, Nordmoen, Moreppen.

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 **8**

3 Klima **12**
3.1 Temperatur og nedbør 12
3.2 Frost og snø 14

4 Jord **16**
4.1 Kornfordeling 16
4.2. Jordas hydrauliske egenskaper 17

5 Metode **21**
5.1 Målinger ved Nordmoen og Moreppen 21
5.1.1 Snø 21
5.1.2 Tele 22
5.1.3 Jordtemperatur 22
5.1.4 Matrikssug og vanninnhold 22
5.1.5 Grunnvann 23
5.2 COUP-modellen 24

6 Parametrisering **26**
6.1 Laginndeling i modell 26
6.2 Vinterforhold 27
6.3 Jordtemperatur 34
6.4 Vannbalanse 39
6.4.1 Vannopptak 44
6.4.2 Matrikssug og vanninnhold 45
6.4.3 Grunnvannsstand og drenering 52

7 Verifisering av modellen **59**

8 Normalverdier **62**

9 Konklusjon **66**

Referanser.....67

Vedlegg 1 Parametersetting.....70

Vedlegg 2 Vannbalanse for gras og skog 72

Vedlegg 3 Vannbalanse for plen (kortklipt gras) 74

Vedlegg 4 Effekt av noen plantekarakteristikker på fordamping ..76

Vedlegg 5 Vannstrøm og drenering.....77

Vedlegg 6 Estimering av grunnvannsdannelse med BFI for Gardermoen (Wong og Colleuille, 2005).....80

Forord

Dette arbeidet er et bidrag til FoU prosjektet "Forurensingsfare og håndtering av smeltevann ved veier og flyplasser i et endret klima[1]". Prosjektet er ledet av senior forsker Helen French, Bioforsk og har som hovedmål å kvantifisere mulige konsekvenser av klimaendringer som flyplasser og veier må ta i betraktninger for å unngå økt av risiko for forurensningen.

NVE, Hydrologisk avdeling publiserte allerede i 2001 en rapport knyttet til infiltrasjonsprosser i frossen jord på Gardermoen (Colleuille et al., 2001), denne ble skrevet på oppdrag fra Oslo Lufthavn AS (OSL). Rapporten hadde som formål å øke kunnskapen og forståelsen om de hydrologiske prosessene som kontrollerer transport og infiltrasjon av vann i jorda på Gardermoen i vinterhalvåret.

I dette arbeidet er den fysisk-baserte modellen COUP benyttet for simulering av vann- og energibalanse i den umettede sonen i jorda. Parametriseringen baserer seg både på NVEs målinger i tilknytting til det nasjonale overvåkingsnettet for grunnvann og markvann (stasjon Nordmoen) og dataene registrert av Bioforsk på Moreppen i perioden 2000-2006.

Resultater fra COUP-simuleringer anvendes allerede av Oslo lufthavn AS (OSL) som inngangdata for å oppgradere grunnvannsmodell for Gardermoen som legger premissene for styring av vannhåndteringen på flyplassen.

Denne rapporten er publisert som en del av en serie av rapporter som har til hensikt å dokumentere parametersettingen av COUP-modellen for ulike klima-, jord- og vegetasjonsforhold. Parametriseringen av markvannsmodeller har pågått siden 2003 i tilknytting til NFRs klimaprosjekt EACC "Ecology and economy of agriculture in a changing climate". 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).

Rapporten er skrevet av senioringeniør Hervé Colleuille, sammen med førsteamanuensis Lars Egil Haugen (IPM, UMB). Arbeidet er finansiert gjennom NVEs interne FOU-midler og Bioforsk NFR prosjektet.

Oslo, november 2007

Morten Johnsrud
avdelingsdirektør

Sverre Husebye
seksjonssjef

[1] "Pollution risks and water management at airports and roads in a changing climate" NFR 164946/S30.

Sammendrag

Denne rapporten om simuleringer av vann og energibalanse i jord ved Gardermoen (Akershus), er den femte av en serie som har til hensikt å dokumentere parametrisering og verifisering av COUP-modeller for ulike klima-, jord- og vegetasjonsforhold. Dette arbeidet er et bidrag til FoU prosjektet ”Forurensingsfare og håndtering av smeltevann ved veier og flyplasser i et endret klima”. Prosjektet er ledet av senior forsker Helen French, Bioforsk og har som hovedmål å kvantifisere mulige konsekvenser av klimaendringer som flyplasser og veier må ta i betraktninger for å unngå økt av risiko for forurensningen.

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.

Parametrisering av COUP-modellen ble foretatt i tilknytning til måleserier fra Nordmoen markvannsstasjon og forsøksfelt Moreppen for perioden fra og med 1/6.1990 til og med 30/6.2007. De viktigste parametrene som ble endret fra ”default-verdiene” i modellen var tilknyttet vinterforholdende, drenering av jordprofilet og plantekarakteristikker.

Den parametriserte modellen ble deretter testet mot et uavhengig datasett fra Nordmoen markvannsstasjon for perioden fra og med 1/6.1981 til og med 30/6.1990. For begge perioden ble det benyttet meteorologiske data fra Gardermoen (met.no).

Det ble valgt i dette arbeidet å bygge 2 modeller for å kunne simulere forholdene med skog (Nordmoen og Moreppen) og med grasdekke (Gardermoen flyplass).

Simuleringsresultatene for parametriserings- og verifiseringsperioden viser såpass bra overensstemmelse med måledata at det brukte parametersett for COUP-modellen antas å være et tilfredsstillende verktøy for å simulere markvannstilstand på Nordmoen markvannsstasjon. Sammenligninger som er utført mot målinger på Moreppen, indikerer at med bruk av aktuelle jorddata fra stedet, små endringer i dreneringsparametre og plantevekst vil parametersettet også kunne brukes for Moreppen ev. andre steder i Gardermo-området.

Det er foretatt simuleringer for perioden 1980-2007 med det formål å beskrive dagens tilstand med normaler og variasjonsbredde for ulike variabler som beskriver jordas mark- og grunnvannstilstand. 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 01.1980 til 06.2007. Det er utarbeidet statistikk som beskriver både normaltilstand og variasjonsbredde bl.a. grunnvannsnivå, jordas lagerkapasitet for vann, fordampning, jordtemperatur, snø og teledybde over en periode på 26 hydrologiske år.

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[2]: "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.

Dette arbeidet er et bidrag til FoU prosjektet ”Forurensingsfare og håndtering av smeltevann ved veier og flyplasser i et endret klima[3]”. Prosjektet er ledet av senior forsker Helen French, Bioforsk og har som hovedmål å kvantifisere mulige konsekvenser av klimaendringer som flyplasser og veier må ta i betraktninger for å unngå økt av risiko for forurensningen

Hovedformålet med dette arbeidet på Gardermoen er å undersøke hva klimaendringer kan bety for vann- og energibalansen i jorda. Modellen skal først brukes som hjelpemiddel for å øke forståelsen av fysiske prosesser i jorda som frostdannelse, infiltrasjon av vann ved snøsmelting og følgende grunnvannsdannelse. Modellsimuleringene vil gi en bedre oversikt over ekstrem- og normalforhold for vanninfiltrasjon ved Gardermoen.

Denne rapporten er publisert som en del av en serie av rapporter 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 Nordmoen og forsøksfelt Moreppen med beliggenheten, jordtype, målinger og klimaforhold. Deretter følger en beskrivelse av parametersettet som er valgt for Kise-modellen. Modellen er kalibrert for perioden 06.1990-06.2007 med data innsamlet fra Nordmoen og Moreppen. Resultatene er presentert og drøftet for vinterforhold (snø, tele), jordtemperatur og vannbalanse med vannopptak, fuktighetsforhold i jorda og grunnvannsstand. Modellen er deretter testet mot observasjoner i perioden 06.1980-05.1990. Til slutt presenteres normalverdier og ekstremverdier for perioden 1980-2006.

---

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

[3] ”Pollution risks and water management at airports and roads in a changing climate” NFR 164946/S30.

2 Stasjonsbeskrivelse

I dette arbeidet er det brukt data fra markvannsstasjon Nordmoen (data fra NVE) og forsøksfelt Moreppen (data fra Bioforsk).

Nordmoen ligger nord for Gardermoen ved Nordmokorset, og sentralt i det 100 km^2 store grunnvannsreservoar på Romerike (figur 2-1 og 2-2). Forskningsfelt Moreppen ligger nordvest for Gardermoen 800 meter fra den gamle flyplassterminalen. Begge stasjonene ligger i flatt terreng ca. 205 moh.

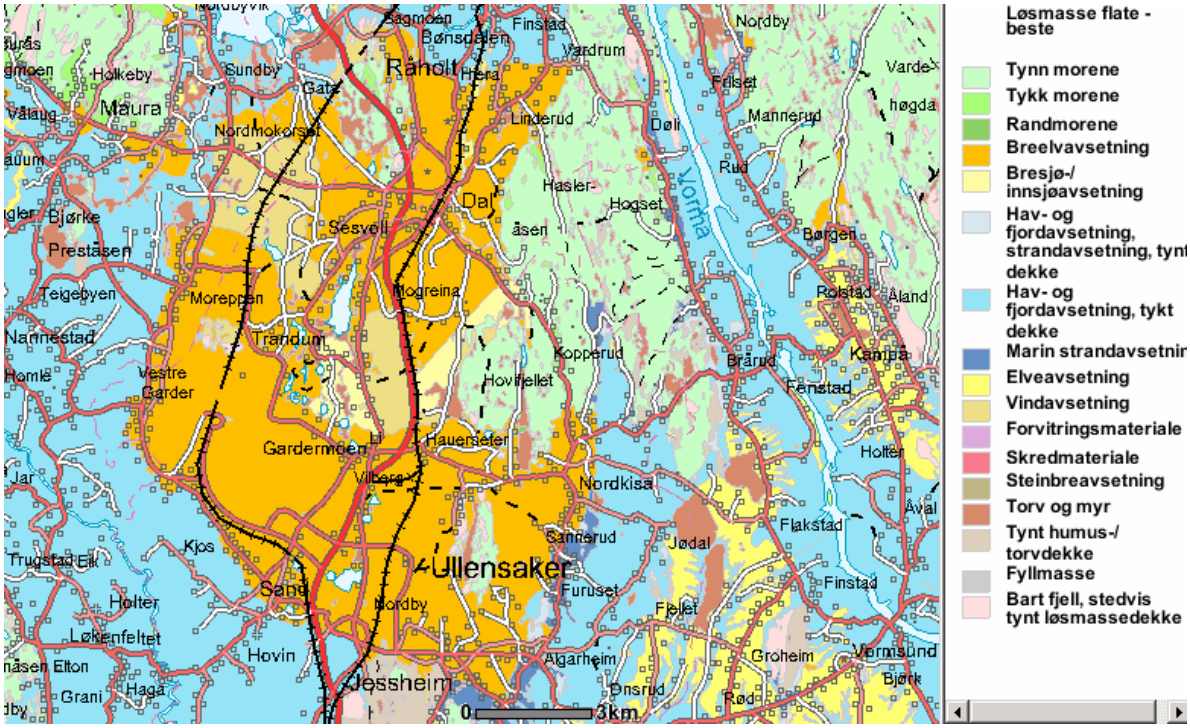
Vegetasjonen rundt stasjonene Nordmoen og Moreppen er en veksling av gran- og furu-skog. Grasen på Nordmoen er en veksling mellom blåbærgranskog og bærlyng-barbalndingsskog (Abrahamsen et al., 1976). Skogen ved forsøksfeltet Moreppen er litt mer åpen enn på Nordmoen.

Gardermoen-platået er en del av et større grunnvannsreservoar på Øvre Romerike. Grunnvannsreservoaret er selvmatende, dvs. at alt vannet transporteres gjennom den umettede sonen før det når grunnvannsspeilet. Mektigheten til den umettede sonen varierer fra 0 til 30 m på Gardermoen (Tuttle, 1997). I følge OSL varierer mektigheten langs vestre rullebane mellom ca. 3-6 m og 10-15 m langs østre rullebane. Den umettede sonen varierer mellom 1-4 m på Nordmoen og mellom 2-5 m på Moreppen (se figur 2-3). Løsmassene på Gardermoen utgjøres av et deltakompleks som består av tre hovedstrukturer ved Moreppen:

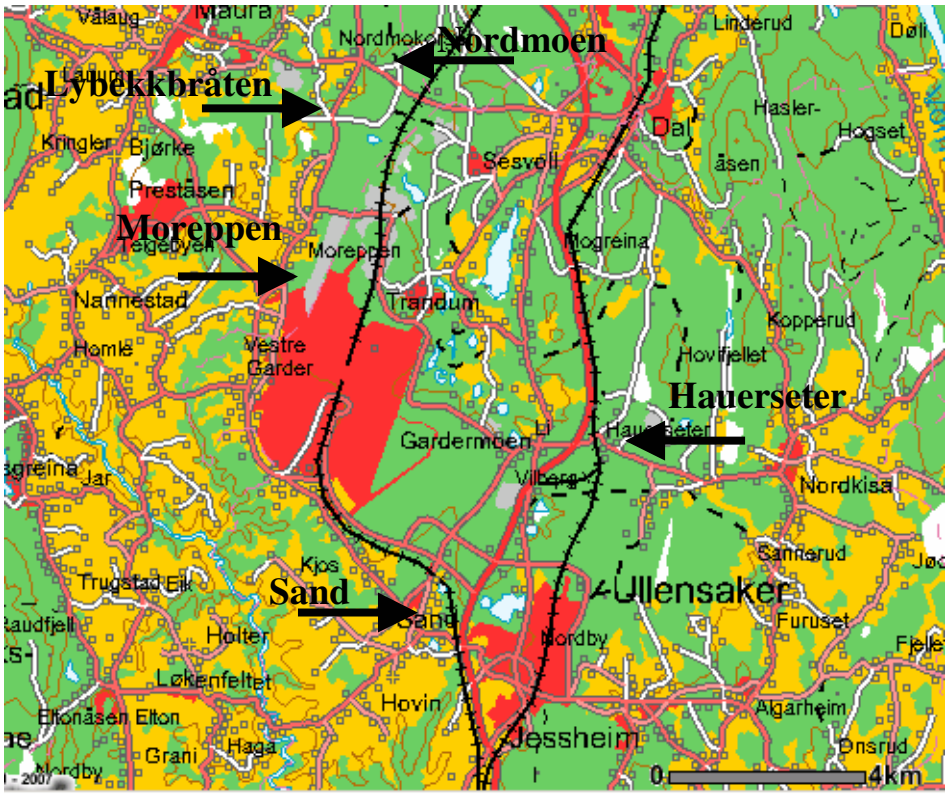
1) Nederst (15-20 m under overflaten): Fine submarine bunnlag;
2) Midten: Sandige skrålag med en helningsvinkel mellom 11° og 28°:
3) Øverst: horisontale topplag av varierende tykkelse med grov grus og sand.

Skrålagene ligger ca. 1.6 m under overflaten ved Moreppen forsøksfelt. Skrålagene består av enkelte grovere lag som varierer med finere lag (siltig sand). Innvirkning av disse strukturene på markvannsstrømning har blitt grundig analysert (Kitterød, 1997; Holm, 1998, Kitterød, 2000, Pedersen et al., 2000, French et al., 2001).

Løsmassen omkring Nordmoen er ca. 60 m dype og består øverst av flygesand (vindavsetning).

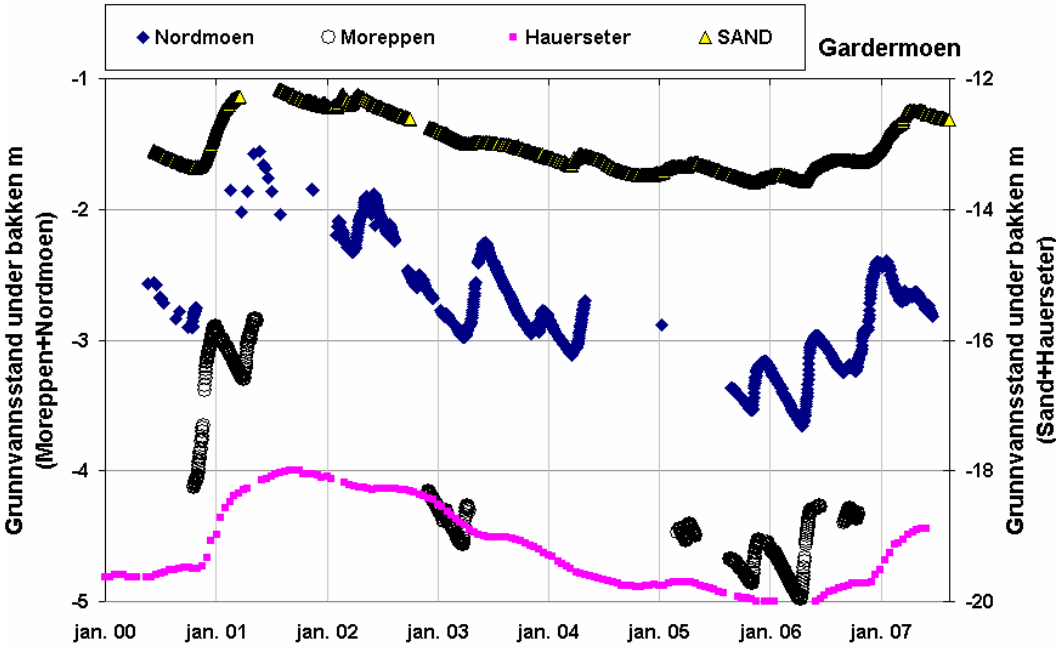


Figur 2-1. Kvartærgeologisk kart (NGU) for Gardermoen.

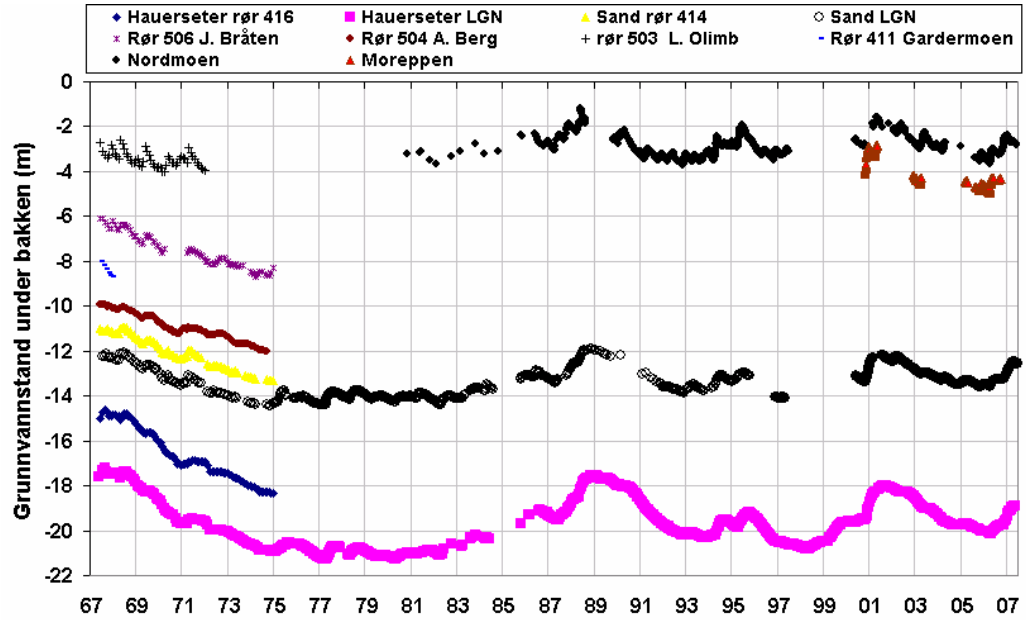


Figur 2-2. Arealressurskart for Gardermoen (Grønn: skog; Gul: landbruk, Rødt: by/flyplass) samt beliggenheten til målestasjonene Nordmoen, Moreppen, Sand, Hauerseter og Lybekkbråten (snøputen). Kilde: Arealis.

I regi av det landsomfattende grunnvannsnettet, og den internasjonale hydrologiske dekaden (1966-1975) har NVE sammen med NGU igangsatt og gjennomført kontinuerlig målinger i flere grunnvannsbrønner ved Gardermoen. En oversikt over målingene er presentert i Colleuille et al., 2001. Figur 2-3 viser variasjon i grunnvannsstand i periode 2000-2007 for de 3 stasjonene som NVE overvåker pr. i dag samt målinger fra Moreppen forsøksfelt. Figur 2.4 viser variasjon i grunnvannsstand for perioden 1967-2007 på ulike stasjoner (se Colleuille et al., 2001).

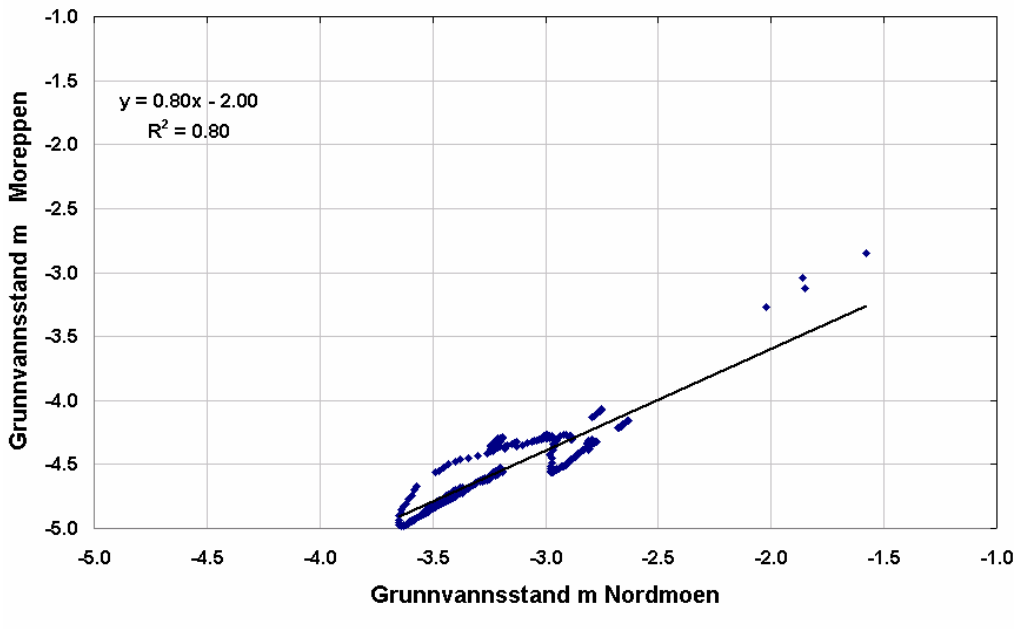


Figur 2-3. Grunnvannsstand målt på Hauerseter, Sand, Nordmoen og Moreppen i periode 2000-2007.



Figur 2-4. Grunnvannsstand målt på ulike stasjoner i periode 1967-2007.

Figur 2-5 viser at det er en god lineær sammenheng mellom målt grunnvannsstand på Nordmoen og Moreppen. Grunnvannsstand på Moreppen er i gjennomsnitt ca 2 m dypere enn på Nordmoen. Tilgjengelige data fra Moreppen er veldig begrenset og vi har derfor i dette arbeidet valgt å bruke dataene fra Nordmoen for parametriseringen av COUP-modellen.



Figur 2-5. Sammenheng mellom grunnvannsstand målt på Nordmoen og Moreppen i perioden 2000-2006 (427 observasjoner).

3 Klima

I dette arbeidet er det brukt tilgjengelige klimadataene fra met.no stasjon Gardermoen for perioden 1/1-1980 til 1/7-2007. Oversikt over årsverdier for perioden er vist i tabell 3-1.

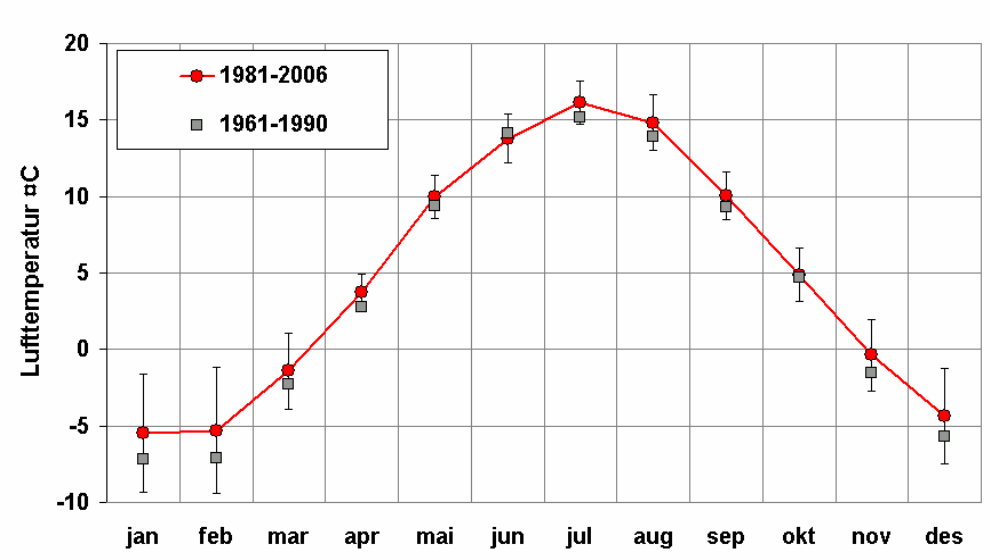
Tabell 3-1. Gjennomsnittlig, lavest og høyest årsmiddel av lufttemperatur, relativ fuktighet, vind, årsnedbør og skydekke for perioden 1980-2006.

	Lufttemperatur ºC	Relativ fuktighet %	Vind m/s	Nedbør mm	Skydekke 8/8
Min	2,6	71,3	2,4	687	0,64
Maks	6,3	81,1	3,5	1236	0,75
Gjen.	4,8	75,6	2,9	846	0,69

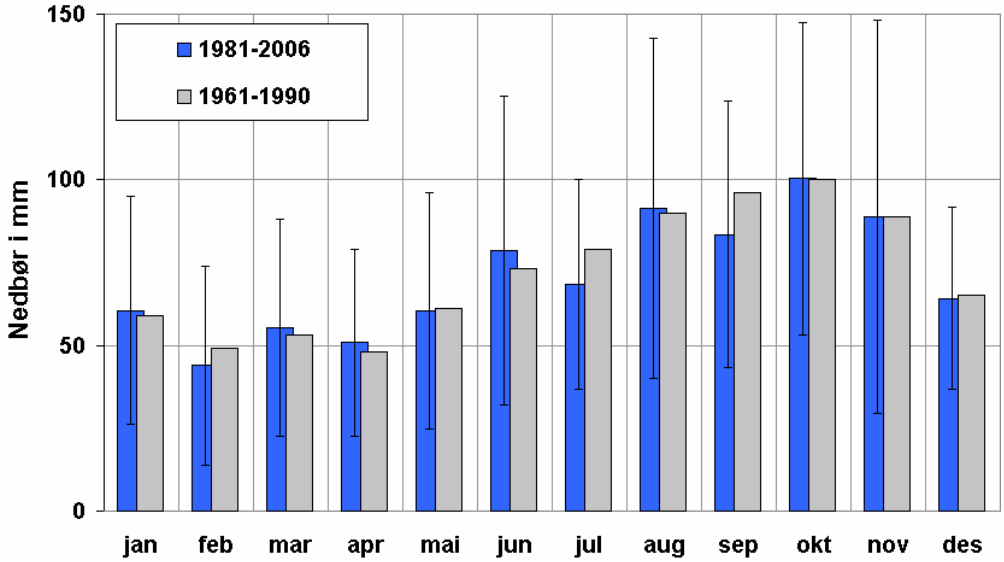
3.1 Temperatur og nedbør

Gjennomsnittlige månedsverdier samt standardavvik for lufttemperatur for perioden 1980-2006 (27 år) er vist i figur 3-1 sammen med normalverdier for perioden 1961-1990. I figur 3-2 er vist tilsvarende data for nedbør.

Årsmiddel av lufttemperatur er 4,8 °C og midlere årsnedbør er 846 mm for perioden 1980-2006. I denne perioden er lufttemperatur 0,9 °C høyere enn i normalperioden 1961-1990, mens nedbørsmengder er nesten lik (15 mm lavere). Den kaldeste årsmiddeltemperaturen i perioden 1980-2006 var 2,6 °C (1987) og den varmeste 6,3 °C (2000) (tabell 3-1).



Figur 3-1: Månedsmiddel lufttemperatur for perioden 1980-2006 og normalperioden 1961-1990. Standardavvik for månedsverdiene i perioden 1980-2006 er inntegnet i figuren.



Figur 3-2: Månedssum nedbør i perioden 1980-2006 og normalperioden 1961-1990. Standardavvik for månedsverdiene i perioden 1980-2006 er inntegnet i figuren.

Laveste årsnedbør er 687 mm (1981) og høyest årsnedbør 1236 mm (2000) (tabell 3-1). August-november er de mest nedbørrike månedene.

3.2 Frost og snø

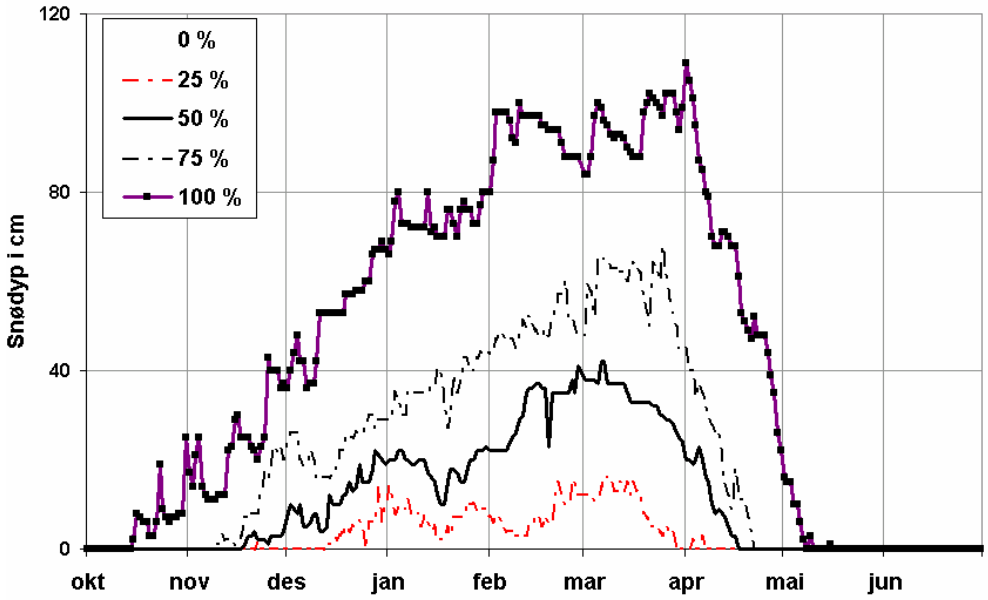
Frost er her definert som når døgnmiddel av lufttemperaturen er mindre enn 0 °C og frostsum er døgnmiddeltemperaturer lavere enn 0 °C summert gjennom vinteren (1/10-30/4). Antall dager med frost i vinterperioden og frostsum er i middel for de 27 vintrene i perioden 1980-2007 henholdsvis 108 dager og -622 døgngrader (tabell 3-2). Største antall fryse-/tineepisoder registrert er 28 (vinteren 1994-95) og laveste er 9 (vinteren 1995-96). Halvparten av vintrene har mer enn 17 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 1/10-30/4, for årene 1980- 2007.

	Antall dager Tp<0	Frostsum $\sum(T_p < 0°C)$	Antall fryse/tine- episoder
1980-1981	139	-878	18
1981-1982	123	-1014	15
1982-1983	107	-513	23
1983-1984	120	-647	14
1984-1985	118	-870	11
1985-1986	138	-1131	15
1986-1987	109	-1030	10
1987-1988	111	-490	19
1988-1989	80	-375	18
1989-1990	68	-313	17
1990-1991	112	-615	15
1991-1992	84	-319	20
1992-1993	108	-402	25
1993-1994	137	-953	13
1994-1995	112	-464	28
1995-1996	141	-1067	9
1996-1997	99	-659	12
1997-1998	103	-424	20
1998-1999	110	-516	20
1999-2000	88	-412	17
2000-2001	88	-589	10
2001-2002	93	-498	18
2002-2003	124	-792	15
2003-2004	106	-466	21
2004-2005	95	-407	17
2005-2006	124	-630	16
2006-2007	70	-335	15
Middel	**108**	**-622**	**17**
Std. avvik	**20**	**253**	**5**
Min.	**68**	**-1131**	**9**
Maks.	**141**	**-313**	**28**

For vintrene i perioden 1980-07 er antall dager med snødybde > 5 cm i middel lik 109 dager varierende fra 19 (1989/90) til 176 dager (1980/81). Årlig maksimum snødybde varierer fra 109 cm (1987/88) til 26 cm (1991/92) med en middelverdi på 60 cm.

Figur 3-3 viser observert snødybde presentert som persentiler for perioden 1980-2007. Kurven for 75 prosent persentilen viser at for 75 % av årene er snødybden lavere enn kurven mens 25 % av årene har snødybde mellom 75 % kurven og 100 % kurven. Mediankurven for snødybde (50 % persentil) viser at 17/11 er den første dagen med snødekke > 5 cm og at snødekket forsvinner 18/4.



Figur 3-3: Observert snødybde på Gardermoen (met.no) presentert som persentiler for perioden 1980-2006.

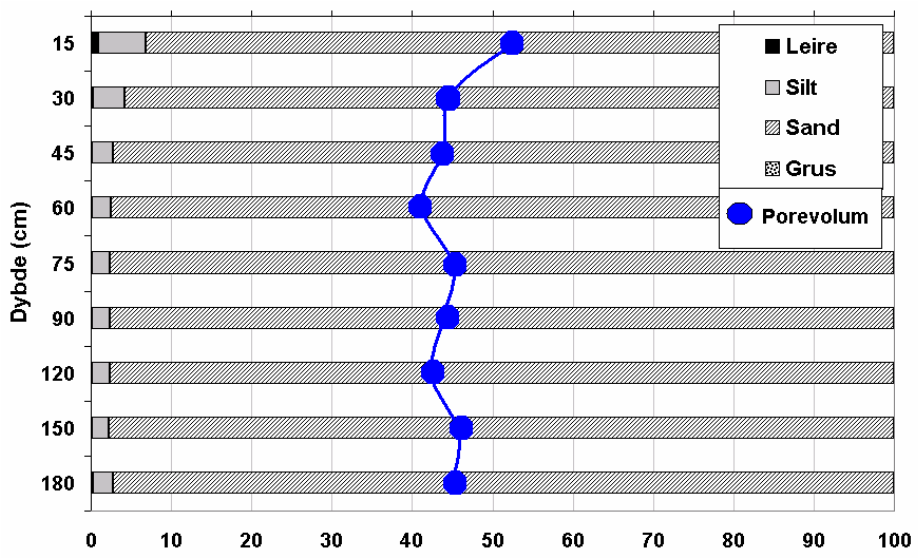
4 Jord

4.1 Kornfordeling

Det finnes en rekke data fra Moreppen fra perioden 1993-96 (Aagaard og Tuttle, 1996). Det foreligger målinger av kornstørrelsesfordeling for mer enn 150 prøver fra Moreppen, se Pedersen (1994). Tabell 4-1 viser kornstørrelsefordeling for antatt representative prøver på Moreppen og Nordmoen. Begge stedene består av sandjord. Hovedforskjell mellom de to stasjonene er at de øverste 180 cm på Moreppen består av lagdelt deltaavsetning med grusholdig sand mens på Nordmoen finner en sortert sand (vindavsetning).
I forbindelse med nedsetting av nøytronmeterrør ved markvannstasjonen Nordmoen (20.05.1992) ble det uttatt prøver til kornfordelingsanalyse. Kornfordelingen er vist i figur 4-1 sammen med porevolum beregnet fra gammametermålinger og materialtetthet.

Tabell 4-1. Kornstørrelsefordeling (vekt % av hele prøven) av prøver fra Moreppen og Nordmoen.

	Dyp cm	Grus	Sand	Silt	Leire	
Moreppen	30	25	97,2	2,7	0,1	Grusholdig sand
	180	27	95,8	4,1	0,1	Grusholdig sand
	250	1	97,9	2,0	0,1	Sand
	490	0	82	15	3,0	Siltig sand
Nordmoen	30	0	95,8	4,0	0,2	Sand
	180	0	97,2	2,6	0,2	Sand
	230	0	97,8	2,2	0,1	Sand



Figur 4-1: Kornfordelingsanalyser for prøver tatt ut ved markvannsstasjonen Nordmoen og porevolum beregnet ut fra gammametermålinger og materialtetthet (kilde NVE).

4.2. Jordas hydrauliske egenskaper

Vannretensjonsanalyse

Kurver som viser sammenhengen mellom jordas matrikspotensial og jordas volumetriske vanninnhold kalles pF-kurver, jordas fuktighetskarakteristikk eller vannretensjonskurver. pF er definert som logaritmen med grunntall 10 til tallverdien av matrikssuget gitt som cm H_2O. Sammenhengen mellom ulike enheter for jordas matrikssug er vist i tabell 4-2. Videre i denne rapporten betegnes matrikssuget som sug i cm H_2O.

Tabell 4-2: Sammenhengen mellom ulike enheter for jordas 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	-	-

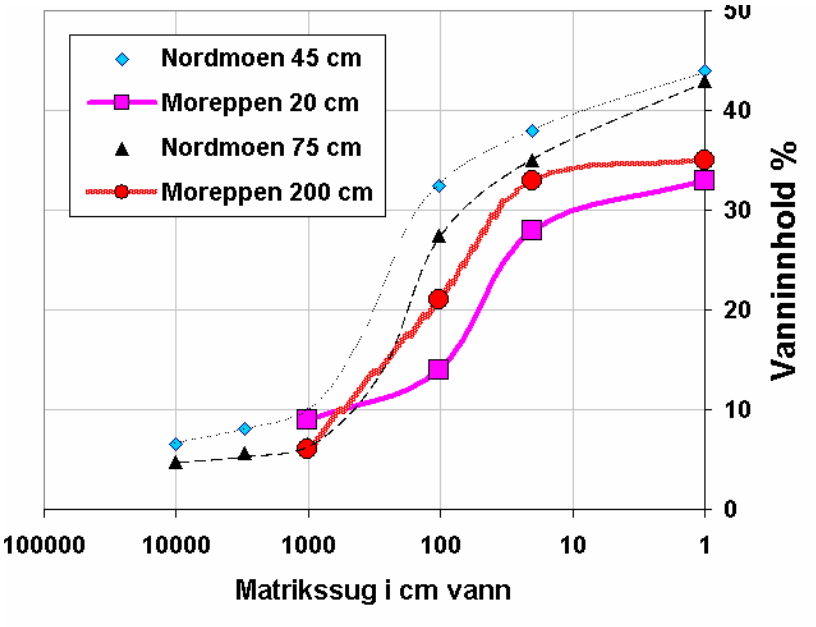
Vannretensjonsdata for ulike dyp ved Nordmoen og Moreppen er vist henholdsvis i tabell 4-3 og 4-4.

Tabell 4-3: Retensjonsdata som vol % vann og sug i cm H_2O for prøver fra Nordmoen. Kilde: NVE.

Lag	Dybde (cm)	Vol % vann ved ulike sug (cm H_20)						
		0	**2**	**102**	**1020**	**3000**	**5100**	**10200**
1	**15**	53	39,3	31	13	11,8	11,1	9,2
2	**30**	50	36,7	25,4	12,3	10,2	9,4	8,3
3	**45**	44	33,9	32,4	9,5	8,1	7,5	6,6
4	**60**	-	31	-	6,6	5,7	5,2	4,7
5	**75**	43	30,4	27,7	6,6	6,7	5,2	4,7

Tabell 4-3: Retensjonsdata som vol % vann og sug i cm H_2O for prøver fra Moreppen. Gjennomsnittsverdier av 2-4 prøver. Kilde: H. French (Bioforsk).

Lag	Dybde (cm)	Vol % vann ved ulike sug (cm H_20)			
		0	20	100	1020
1	5	38	31	18	12
2	20	33	28	14	9
5	200	35	33	21	6



Figur 4-2: Vannretensjonskurve for 2 prøver fra Moreppen og 2 prøver fra Nordmoen.

Figur 4-2 viser forskjeller mellom retensjonskurvene fra Moreppen og Nordmoen. Ved fri drenering (pF2 – ca 29 vol %) på Nordmoen kan ca. 290 mm holdes tilbake i profilet i den øverste meteren. Det totale porevolumet på Moreppen er lavere (ca. 35 %) og vanninnholdet ved feltkapasitet er ca 15 vol %, dvs. ca 150 mm vann kan holdes tilbake i den øverste meteren i profilet.

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 hos Jansson og Karlberg (2001) og Øverlie et al. (2006).

Vannledningsevne

Vannledingsevne er et mål på jordas evne til å slippe igjennom vann. Mettet vannledningsevne målt med ”konstant head” på Moreppen ga verdier mellom 1E-03 og 1E-05 m/s (3,6 til 360 cm/time). Mange målinger på Moreppen viser at ledningsevnen er lavere under 4 m dyp (1E-04-1E-05 m/s)

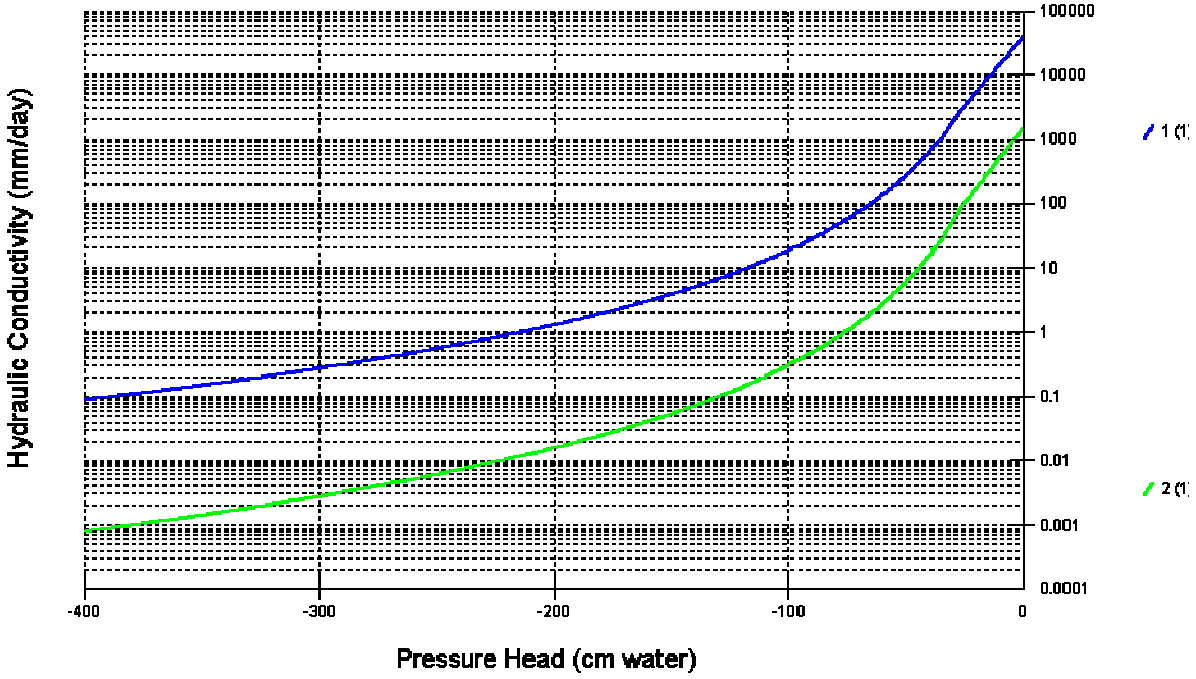
Den vertikale mettede hydrauliske konduktiviteten for det øvre sandlaget er anslått å være på Gardermoen mellom 2E-04 og 2E-05 og mellom 5E-06 og 5E-07 m/s (0,18-1,8 cm/time) for det finkornede nedre sandlaget (SINTEF i OSLs rapport, mars 2000). Mettet vannledningsevne (Ks) estimert med Gustafssons formel ut fra kornstørrelsefordeling på Moreppen ligger mellom 7E-05 og 8E-04 m/s (Pedersen, 1994). Estimert mettet vannledningsevne ut fra kornfordelingsdata på Nordmoen gir verdier mellom 4 til 8000 mm/dag.

Det er valgt å bruke samme verdien brukt av Helen French i SUTRA-modell: 5E-4 m/s tilsvarende ca. 4.3E+04 mm/dag for de øverste 2 meter i profilet, mens verdien for det nederste laget er benyttet for parametrisering av en best mulig overensstemmelse mellom simulerte og målte endringer i grunnvannsstand.

Tabell 4-4. Vannledningsevne (mm/dag) brukt for ulike dyp i modellsimuleringer for Nordmoen

Dybde, m	Matriks vannledningsevne	Total vannledningsevne
0-2	4000	40000
2-40	150	1500

Figur 4-3 viser sammenhengen mellom matrikssug (cm H_2O) og vannledningsevne (mm/dag). Den svarte kurven er for lagene i de 2 øverste meter mens den lysere kurven er for dypere sjikt.



Figur 4-3: Sammenhengen mellom matrikssug (cm H2O) og vannledningsevne (mm/dag). **Den svarte kurven (1) tilsvarer lagene over 2 m og den grå kurven (2) er for dypere lag med lavere ledningsevnen.**

5 Metode

5.1 Målinger ved Nordmoen og Moreppen

Markvannsstasjon Nordmoen ble opprettet i 1989-90 og nedlagt i 2004 pga. gjentatte hærverk og tyverier. Kun målingene av grunnvannsstand er oppretthold. Tabell 5-1 gir en oversikt over målte parametere. Målingene var snødybde, teledybde, grunnvannsstand, jordtemperatur, og elektriske motstand (resisstans) med sensorer på ulike dyp i jorda (tabell 5-1). Det er også utført tensiometers- og nøytronmetersmålinger. Fra målingene av elektrisk motstand er verdier for matrikssug, vanninnhold samt teledybde estimert. Utstyret og metodene er beskrevet mer detaljert av Colleuille og Gillebo (2002).

Forsøksfeltet Moreppen ble opprettet i 1992 i forbindelse med Faneprosjekt Gardermoen som var et samarbeidsprosjekt mellom forskningsmiljøene ved NTNU, SINTEF, UMB og UiO. Tabell 5-2 gir en oversikt over observasjoner (Bioforsk) som er brukt i dette arbeidet.

Tabell 5-1. Observasjoner ved Nordmoen markvannsstasjon.

	Måledybder i cm	**Måleperioder**
Jordtemperatur *ºC*	15, 30, 45, 60, 75, 90, 120	10.2000-04.2004
Resistans ohms	15, 30, 45, 60, 75, 90, 120	10.2000-04.2004
Nøytronmeter vol %	15, 30, 45, 60, 75, 90, 120, ...	Kun få målinger
Tensiometer cm vann	15, 30, 45, 60, 75, 90, 120, 150	07.1990-2003
Grunnvannsstand m	Automatisert i 2000	1965-1972 10.1980-dd
Snødyp m	Manuelle observasjoner	12.1989-04.2003
Teledyp m	Manuelle observasjoner	12.1989-04.2003

Tabell 5-2. Tilgjengelige observasjoner fra Moreppen forsøksfelt brukt i dette arbeidet.

	Måledybder i cm	**Måleperioder**
Jordtemperatur *ºC*	5,10,15,20,30,40,90,140,190,240	10.2000-05.2001 11.2002-04.2003 03.2005-04.2005 08.2005-06.2006 09.2006-10.2006
Resistans ohms	40,90,140,190,240	Samme måleperioder
TDR (3 stk)	0-30	Samme måleperioder minus 2000-2001
Grunnvannsstand m		Samme måleperioder

5.1.1 Snø

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

være +/- 1 cm. Snøens vannekvivalent er målt ved Lybekkbråten (GLB). Snøputen registrerer den daglige utviklingen av snøakkumulasjon og avsmeltingen (Colleuille et al., 2001).

5.1.2 Tele

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

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

5.1.3 Jordtemperatur

Det er utført målinger av jordtemperatur med sensorer på ulike dyp ved markvannsstasjonen siden 10.2000 på timebasis. Dataene benyttet for parametriseringen av modellen er døgnmiddelverdier. Temperatursensorene er plassert på 15 cm, 30 cm, 45 cm, 60 cm, 75 cm, 90 cm og 120 cm dybde. Sensorene registrerer en strøm (4-20 mA) som er en lineær funksjon av temperatur (Tayler og Jackson, 1986). Måleområdet er fra -20 °C til +40 °C. Sensorene har en nøyaktighet på +/- 0,2 °C (Buchan, 1991). Sensorene er imidlertid ikke kontrollert og kalibrert før nedsetting. Feilen kan derfor være betydelig større enn dette. Målingene forutsetter god kontakt mellom sensorene og jorda omkring. Det er utført tidligere målinger av jordtemperatur på Nordmoen (Bjor and Huse, 1988) som ikke er brukt i dette arbeidet.

5.1.4 Matrikssug og vanninnhold

Timesverdier av elektrisk motstand er målt på markvannsstasjonen siden 10.2000 for dypene 15 cm, 30 cm, 45 cm, 60 cm, 75 cm, 90 cm og 120 cm. Sensoren består av en keramisk celle der motstanden måles mellom to innebygde elektroder (elektriske motstandsblokker). Vanninnholdet i den keramiske cellen varierer med jordas matrikssug på det aktuelle dyp. Sensorene har et måleområde fra 10-20 kPa til 200 kPa (Thomson og Armstrong, 1987). Store deler av tiden er det fuktigere enn nedre grense for sensorenes gyldighetsnivå og målingene vil derfor være usikre. I tørre perioder og ved frost vil den øvre grensen overstiges. Området i jorda rundt sensoren som påvirker målingene er estimert til å være innenfor 5 – 15 cm fra sensorens overflate. Motstandssensorene kan benyttes i et temperaturintervall mellom 0 og 80˚C men målingene påvirkes av temperaturen. Dette fører til 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 i sommerhalvåret. Tensiometermålingene som ligger til grunn for kalibreringskurven er utført i relativt våt jord. Sammenhengen mellom elektrisk motstand og matrikssug for tørr jord dermed svært usikker, spesielt for dypere lag. Dette vil, sammen med sensorenes begrensede måleområde, føre til en betydelig usikkerhet spesielt med hensyn til absolutte verdier for beregnet vanninnhold i jord (vol %).

I perioden 1990-2003 er det utført manuelle målinger av matrikssuget i jorda med tensiometer på markvannsstasjonen for dypene 15 cm, 30 cm, 45 cm, 60 cm, 75 cm, 90 cm, 120 cm og 150 cm. Et tensiometer består av en porøs, vannfylt celle /kopp som gjennom en vannsøyle er forbundet til et manometer. Den porøse koppen plasseres på ønsket dyp med god kontakt med jorda rundt. Når vanninnholdet i jorda avtar vil vann trekkes ut av tensiometerkoppen på grunn av lavere energinivå i jorda rundt enn inne i koppen. Undertrykket som oppstår registreres med manometeret. Ved bruk av tensiometer settes skalaen slik at atmosfæretrykket tilsvarer en avlesning på null. Tensiometerets gyldighetsområde er for sug mindre enn 75 – 85 kPa (Mullins, 1991). I tørrere jord vil luft suges inn i den porøse cellen og tensiometeret vil ikke fungere. Tensiometeret har et influensområde på ca. 5 cm rundt selve cellen (Colleuille og Gillebo, 2002). Tensiometeret påvirkes av temperaturen. Dette fører til en usikkerhet på +/- 2 kPa. Verdiene mellom to streker på manometeret er 2 kPa og med øyemål kan det leses av med ca 1 kPa nøyaktighet. Utstyret tåler ikke kuldegrader og brukes derfor kun i vekstsesongen.

På Nordmoen er det også utført manuelle målinger av vanninnhold med en nøytronmeter ved 3 ulike adkomst rør. Prinsipp med målinger, bruksområde, nøyaktighet og begrensninger og nødvendige kalibreringer er beskrevet i Colleuille og Gillebo (2002). Det foreligger for få målinger til at de kan anvendes for simuleringsarbeidet. På Moreppen er markfuktighet målt med Time Domain Reflectometry (TDR) metoden. TDR er en indirekte metode for å måle jordas vanninnhold. Metoden bygger på at en sender ut elektromagnetiske bølger langs en overføringslinje i jord og måler hvor lang tid det tar før bølgen reflekteres. Den dielektriske konstanten, som bestemmer de elektromagnetiske bølgenes hastighet, varierer med jordas vanninnhold (se også Colleuille og Gillebo, 2002). Den dielektriske konstanten er 1 for luft, for fast materiale i jord ca. 3-5 og for vann ca. 80 og ca. 3.2 for is.

5.1.5 Grunnvann

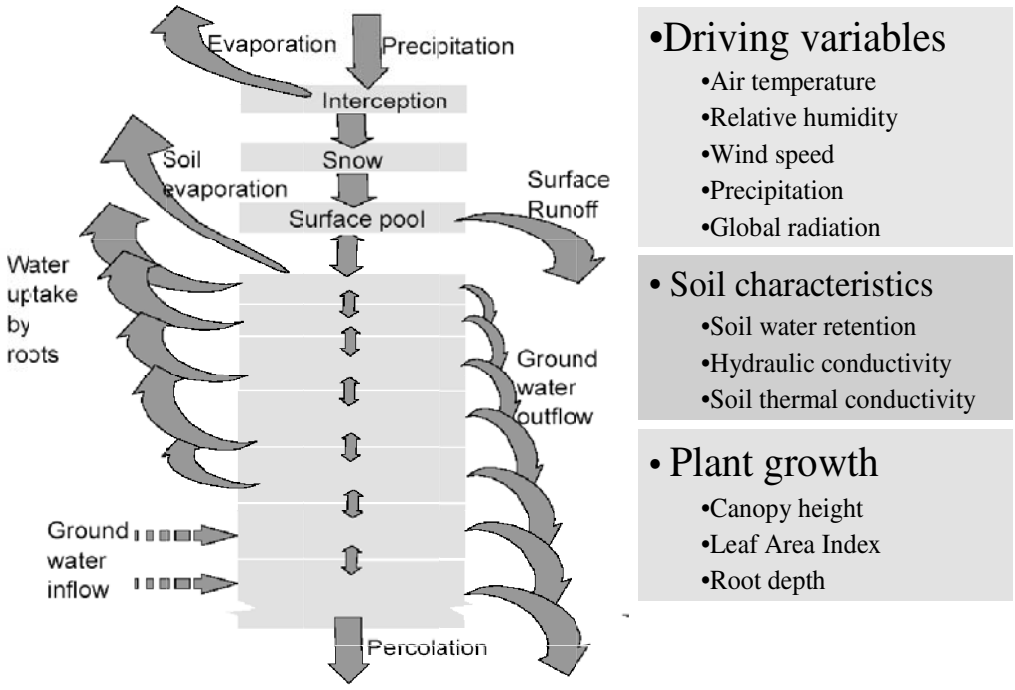
Grunnvannsstanden er målt ved markvannsstasjonen siden 1980. I tillegg foreligger det tidligere data for perioden 1965-1972. Målingene ble automatisert ved hjelp av en trykksensor og tilkoblet en logger i 2000 (LGN rør). Fra 2003 ble målinger utført fra en annen observasjonsbrønn med større diameter ved bruk av en logotronics-sensor. Sensorene har et måleområde på mellom 5 og 10 meter vannhøyde og en nøyaktighet på rundt 0,25 %, det vil si ca. +/- 1cm. Dette inkluderer temperaturpåvirkningen som kan stå for +/- 0,5cm. Manuelle målinger av grunnvannsstand med lodd og målebånd er vanskelig å lese av med bedre enn 0,5 cm nøyaktighet.

5.2 COUP-modellen

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

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

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



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 ved kalibreringen mot daglige observasjoner.
- Verifisering mot uavhengige observasjoner fra samme sted for en ny tidsperiode

6 Parametrisering

Parametriseringen av COUP-modellen er utført for perioden 1/6-1990 til 30/6-2007 mot måledata fra markvannsstasjonen Nordmoen. Det er valgt en lang periode for å dekke perioder med høy og lav grunnvannstand, men også for å kunne tilpasse modellen mot observert snø- og teledyp (1990-1997) og jordtemperatur (2000-2006). Den første delen av dette kapitlet tar for seg parametriseringen av modellen med hensyn på vinterforhold med snø og tele. Deretter omtales jordtemperaturen før den siste delen av kapitlet om vannbalansen i jorda og simulering av grunnvannsstand. Oversikt over valgte prosessbeskrivelser og parameterverdier er vist i vedlegg 2.

6.1 Laginndeling i modell

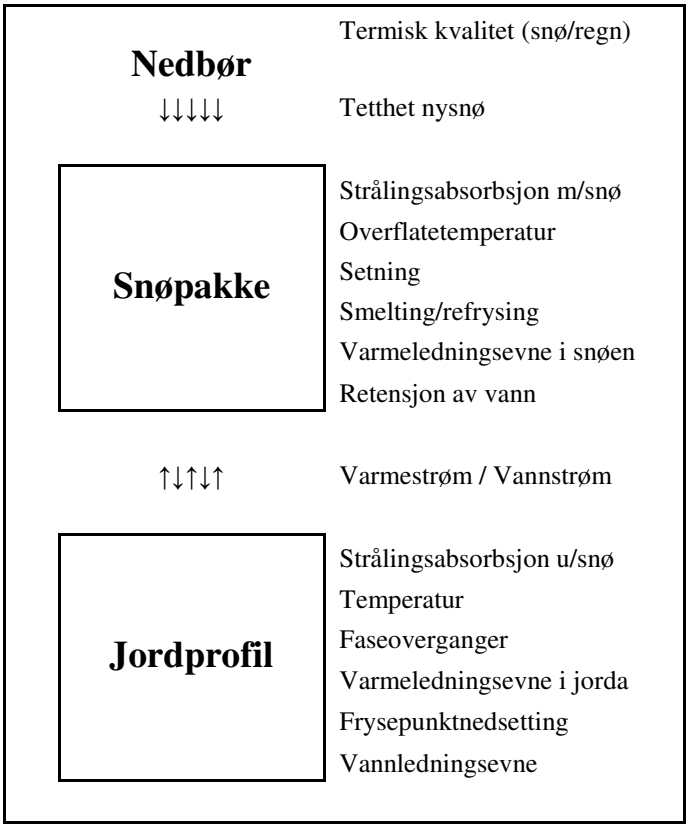
Med utgangspunkt i tilgjengelige profilbeskrivelser og observasjoner er det valgt å benytte 20 lag i modellen (0-22 m dyp). Laginndelingen er vist i tabellen 6-1. Denne laginndelingen kan lett endres ved behov, f. eks. for å kunne sammenligne resultatene fra simuleringer med COUP sammen med simuleringer fra SUTRA.

Tabell 6-1. Laginndeling benyttet i COUP-modellen.

Lag	Øverste dyp (cm)	Nederste dyp (cm)	Sjikttykkelse (cm)
1	0	10	10
2	10	20	10
3	20	40	20
4	40	50	10
5	50	70	20
6	70	80	10
7	80	100	20
8	100	110	10
9	110	130	20
10	130	150	20
11	150	170	20
12	170	200	30
13	200	250	50
14	250	300	50
15	300	400	100
16	400	500	100
17	500	700	200
18	700	1200	500
19	1200	1700	500
20	1700	2200	500

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.

Standardparametrene ga relative gode resultater. Alle viktige parametrene ble testet uten at endringer ga særlig bedre resultater. Standardparametrene unntatt for tettheten av nysnø ble bevart (tabell 6-2). Snøens tetthet er viktig for isolasjonseffekten av snøen og effekten på telesimuleringene har vært avgjørende ved valg av parameterverdien for nysnøens tetthet.

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

Parameter	Verdi	Standard	Enhet
DensityOfNewSnow	120	100	Kg/m^3
OnlyRainPrec Temp	2	2	°C
OnlySnowPrec Temp	0	0	°C

I tillegg til daglige målinger av snødyp på Gardermoen og tilnærmet ukentlige målinger på Nordmoen er det også brukt data fra de automatiske snøputeregistreringene på Lybekkbråten. Lybekkbråten ligger i skogen nord for Gardermoen i nærheten av markvannsstasjonen Nordmoen (se figur 2.2).

I figur 6-4 er målt snødyp på Gardermoen plottet mot målt snødyp ved markvannsstasjon Nordmoen. Snømengdene er en del mindre ved Gardermoen flyplass enn Nordmoen. I tillegg er også dager med snødekke mindre på Gardermoen enn i området Nordmoen / Lybekkbråten. Tidligere analyser (Colleuille et al., 2001) viser at for perioden 1.9.1995 og 1.9.2000 hadde Lybekkbråten 169 snødager i løpet av vinteren mens Gardermoen hadde 133 snødager. Dette medfører i de fleste årene en tidligere avsmelting på Gardermoen enn Nordmoen. I tillegg kan det være forskjeller i snøsmeltingens intensitet siden den vil øke jo senere på våren en kommer (Colleuille et al., 2001).

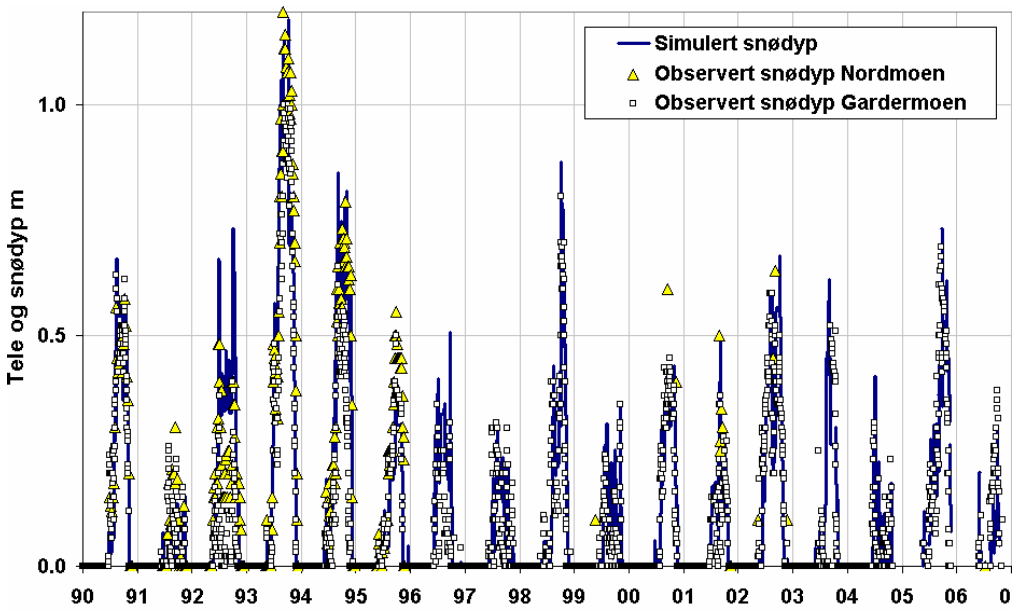
Tabell 6-3 viser statistiske resultater for simulert og målt snødyp ved markvannsstasjonen og ved den meteorologiske stasjonen, samt simulert og målt teledyp ved markvannsstasjonen.

Tabell 6-3: Resultat av tilpassing av snø- og teledyp i perioden 01/06.1990 til 30/06.2007.

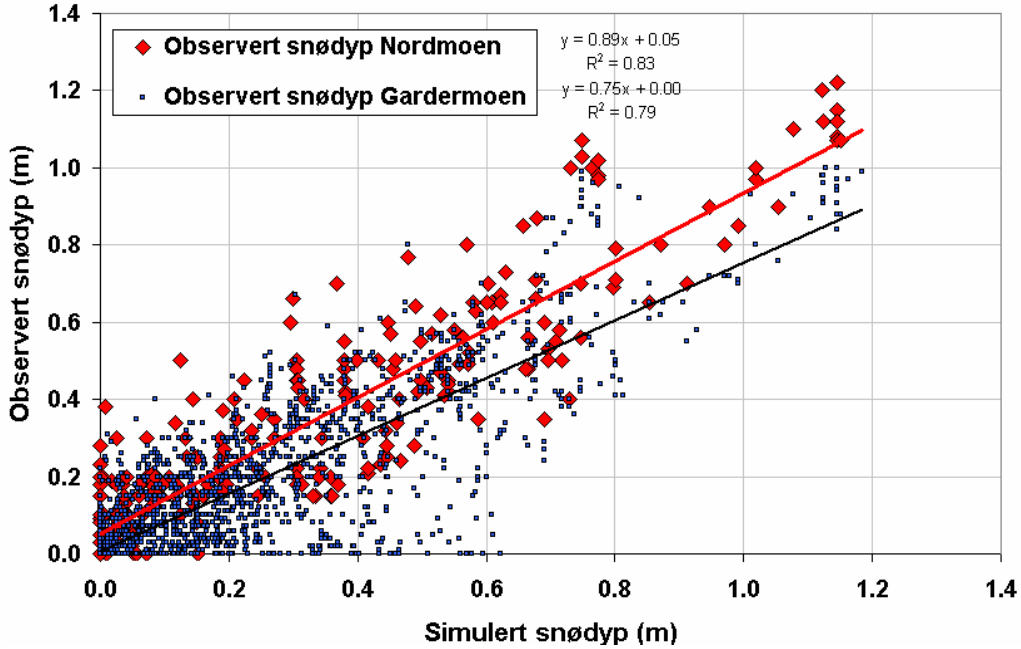
	Observasjoner (N)	R^2	Intersept	Helningskoef.	RM (1)	RMSE (2)
Snødyp Nordmoen	297	0,83	0,05	0,89	-0,02	0,13
Snødyp[4] Gardermoen	5618	0,79	0,00	0,75	0,02	0,10
Teledyp Nordmoen	293	0,68	-0,09	0,73	0,03	0,19
Snøens vannekvivalent Lybekkbråten	1379	0,90	20,5	0,88	-10,5	32,5

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

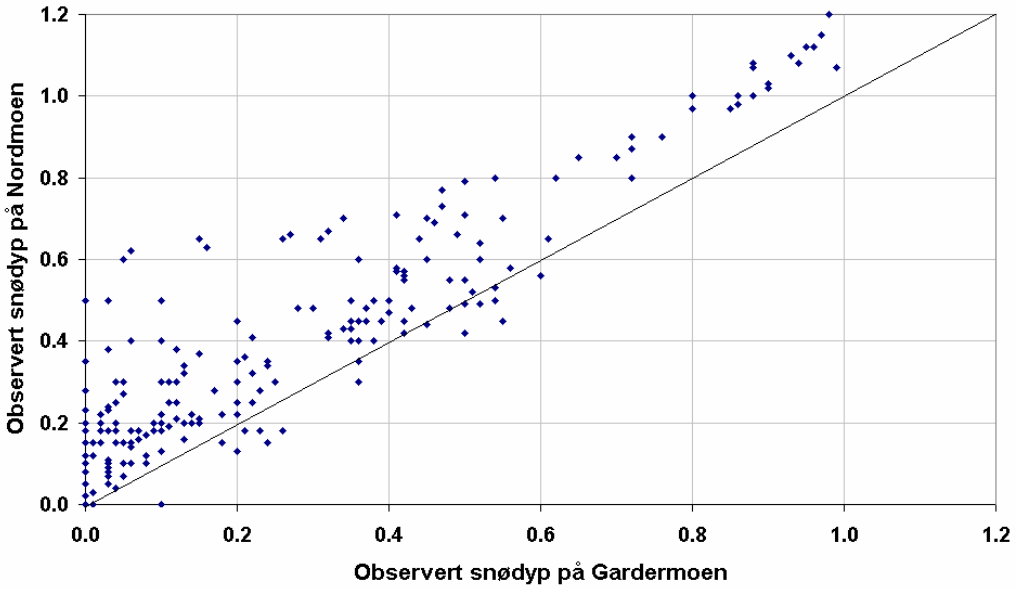
[4] Kun vinterperioden



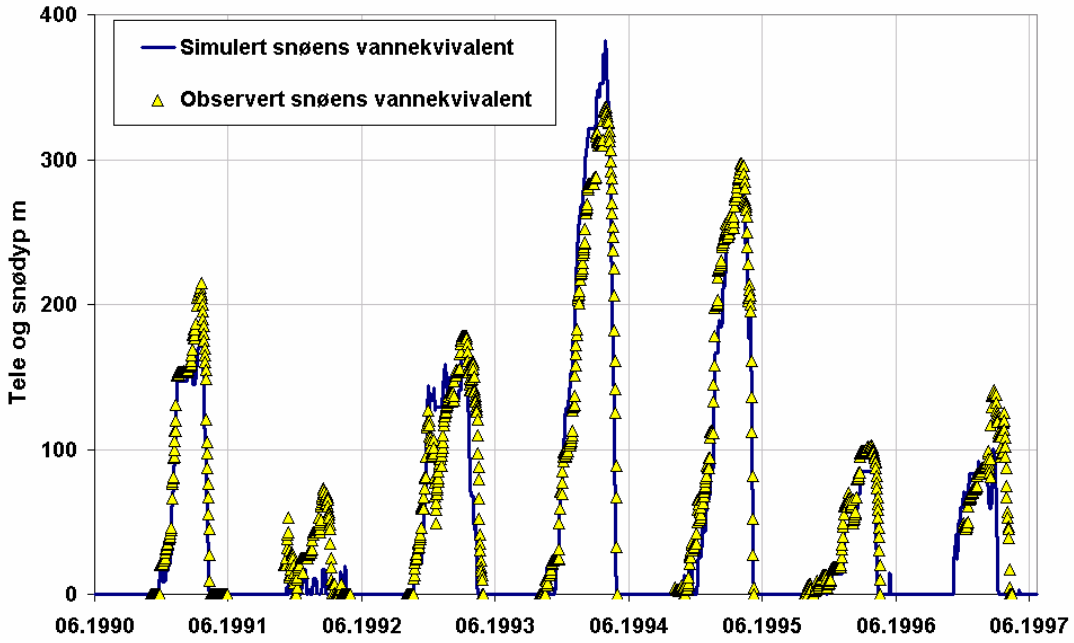
Figur 6-2: Simulert og observert snødyp på markvannsstasjon Nordmoen og klimastasjon Gardermoen i perioden 06.1990-06.2007.



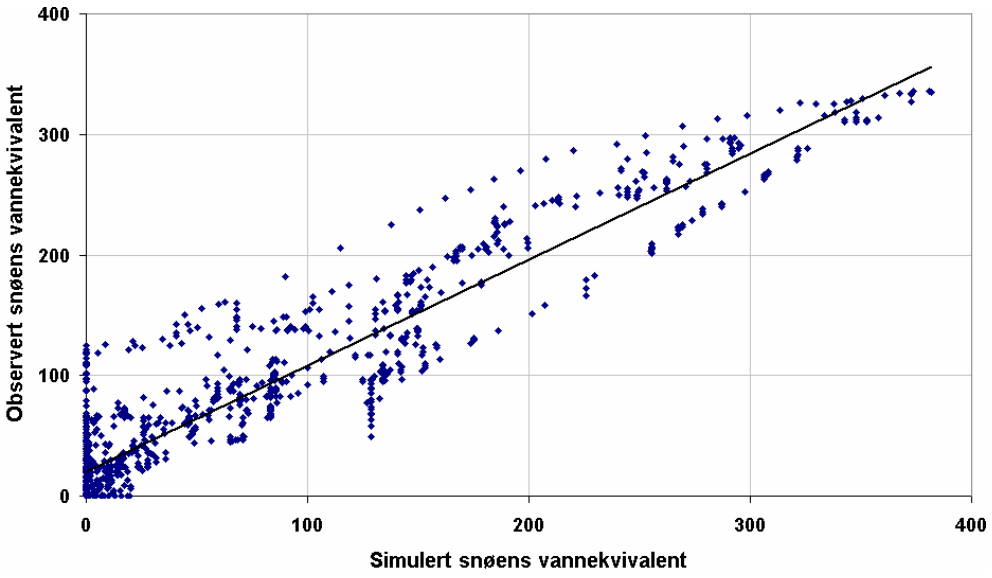
Figur 6-3: Simulert snødyp plottet mot samtidige snømålinger på markvannsstasjonen Nordmoen (triangler) og klimastasjonen Gardermoen (romber) i perioden 1/6.1990 til 30/6.2007. Linjene viser regresjonslinjene for henholdsvis markvannsstasjon og klimastasjon (stiplet).



Figur 6-4: Observert snødyp på Gardermoen plottet mot samtidige målinger på Nordmoen i perioden 6.1990 til 6.1997. Linje 1/1 er inntegnet.



Figur 6-5: Simulert og observert snøens vannekvivalent på Lybekkbråten i perioden 6.1990 til 6.1997.

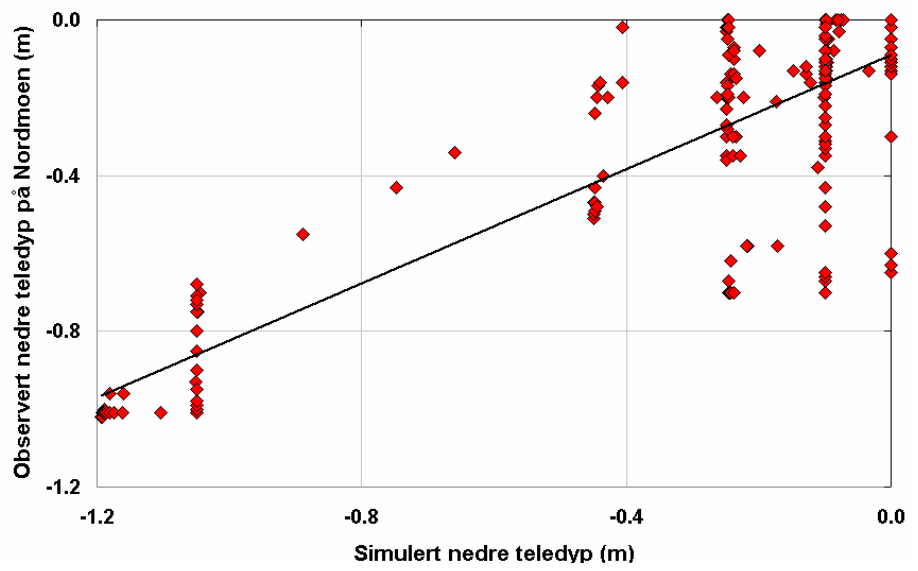


Figur 6-6: Simuleringer av snøens vannekvivalent plottet mot samtidige målinger fra snøputen på Lybekkbråten i perioden 6.1990 til 6.1997. Regresjonslinjen er inntegnet.

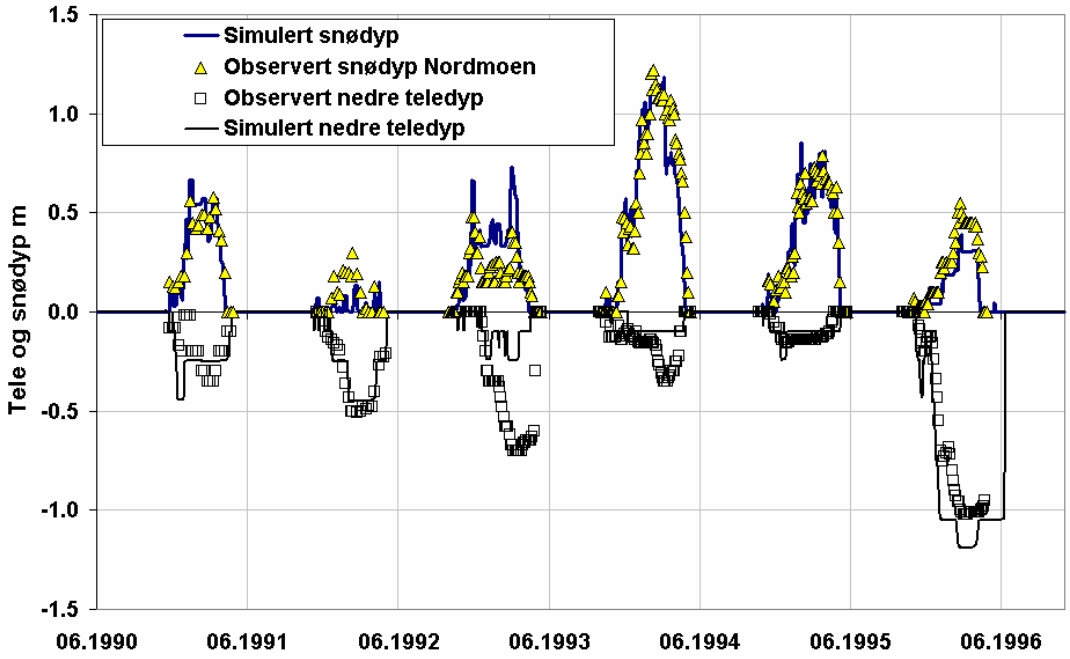
Figur 6-2 og 6-3 viser generelt at simulert snødyp er lavere enn målt snødyp både på Nordmoen og Gardermoen (underestimering). Dette kan skyldes lokal klimatiske forskjeller, lufttemperatur og nedbør, mellom den meteorologiske stasjonen på Gardermoen og Nordmoen.

Figur 6-5 og 6-6 viser bra tilpasningen mellom simulert og observert vannekvivalent i snø (snøpute) med unntak av vintere 1991-1992.

Figur 6-8 viser en relativt god tilpasning mellom observert og simulert teledyp. Avviket mellom simuleringer og observasjoner skyldes først og fremst den dårlige tilspaningen for vinteren 1992-93. Simulert teledyp underestimeres vinteren 1992-93 trolig på grunn av overestimeringen av snødyp. Vinteren 1995-1996 skiller seg fra de andre vintrene med et veldig stort teledyp. Tidspunktet for simulert teleløsning er ca 2 uker senere enn observert denne vinteren, selv om snøsmelting skjer på samme tidspunktet.



Figur 6-6: Simuleringer av teledyp plottet mot samtidige manuelle telemålinger på markvannsstasjonen Nordmoen i perioden 01/6.1990 til 30/6.2007. Linjen er regresjonslinjen.



Figur 6-7: Simulert og observert snø- og teledyp på markvannsstasjon Nordmoen i perioden 6.1990 til 7.1996. Simuleringer med parameter angitt i tabell 6-2.

6.3 Jordtemperatur

Det foreligger observasjoner av jordtemperatur for periode 10.2000-04.2004 for markvannsstasjon Nordmoen (over 1200 observasjoner unntatt for de 2 dypeste sensorene). Tilgjengelige data fra forsøksfelt Moreppen er begrenset til flere korte perioder mellom 2000 og 2006 (rundt 700 observasjoner).

Resultater fra simuleringer er vist i figurene 6-8 til 6-10. Medianverdier og ekstremer for hvert lag for målinger og simuleringer er vist i tabell 6-4 og 6-5 henholdsvis for Nordmoen og Moreppen. Tabellene 6-6 og 6-7 viser statiske mål for sammenhengen mellom simulert og målt jordtemperatur for begge stasjoner. Det er viktig å være oppmerksomt på at periodene hvor det foreligger observasjoner er forskjellig for Nordmoen og Moreppen. I tillegg er simuleringene utført for jorda på Nordmoen så eventuelle effekter av forskjeller i jordart mellom de to stedene er ikke tatt med. For Nordmoen er simulerte medianverdier litt høyere enn målt for de øverste jordlagene noe som trolig skyldes forskjeller i sommerhalvåret. Ekstremverdier om vinteren er tilnærmet det samme mens simulerte er høyere om sommeren. I tillegg skal nevnes at de benyttede lufttemperaturmålingene er fra et åpent område (Gardermoen) mens simuleringene er for et skogsområde, noe som klart kan påvirke øvre grensebetingelse for løsningen av energibalansen i COUP-modellen. Sammenligner en med målinger på Moreppen så er simulerte median og ekstremverdier lavere enn målingene. Selv om det er for en annen periode er det antagelig en effekt av jordartsforskjeller.

Tabell 6-4: Simulert og målt temperatur ved ulike dyp på Nordmoen. Første kolonne viser lagdybde ved simulering og måledybde. Deretter følger median temperaturer, høyeste og laveste temperatur i °C for perioden med målinger (se tabell 5-1).

Dybde (cm)		Median		Kaldest		Varmest	
Simulert	Målt	Simulert	Målt	Simulert	Målt	Simulert	Målt
10-20	**15**	1,7	0,7	-1,0	-0,9	17,2	15,2
20-40	**30**	2,0	1,6	0,0	-0,2	16,1	14,3
40-50	**45**	2,4	2,1	0,2	0,3	15,1	13,6
50-70	**60**	2,7	2,4	0,4	0,4	14,2	13,2
80-100	**90**	3,1	3,1	0,3	0,8	13,0	12,8
110-130	**120**	4,7	3,0	0,9	0,5	12,5	10,3

Tabell 6-5: Simulert og målt temperatur ved ulike dyp på Moreppen. Første kolonne viser lagdybde ved simulering og måledybde. Deretter følger median temperaturer, høyeste og laveste temperatur i °C for perioden med målinger (se tabell 5-2).

Dybde (cm)		Median		Kaldest		Varmest	
Simulert	Målt	Simulert	Målt	Simulert	Målt	Simulert	Målt
10-20	**15**	0,1	0,4	-3,4	-1,4	14,5	15,9
20-40	**30**	0,3	0,7	-1,6	-0,8	13,7	15,0
40-50	**40**	0,6	0,9	-0,4	-0,7	13,0	14,4
80-100	**90**	1,5	1,5	0,5	0	12,1	14,0
130-150	**140**	2,3	2,2	1,2	0,6	10,9	12,8

Tabell 6-6: Statistiske mål for sammenhengen mellom simulert og målt jordtemperatur på Nordmoen for perioden 07.2000-10.2006.

Dybde	Observasjoner (n)	R^2	Intersept	Helningskoef.	RM (1)	RMSE (2)
15 cm	1213	0,97	-0,35	0,97	0,5	1,1
30 cm	1214	0,97	0,0	0,95	0,2	0,9
45 cm	1214	0,98	0,18	0,93	0,1	0,7
60 cm	1214	0,97	0,24	0,95	0,0	0,7
90 cm	1049	0,93	0,24	0,98	-0,1	1,0
120 cm	1061	0,97	-0,18	0,92	0,5	0,8

(1): RM = 1/n ∑(sim-målt)

(2): RMSE= √(∑(sim-målt)^2)/n)

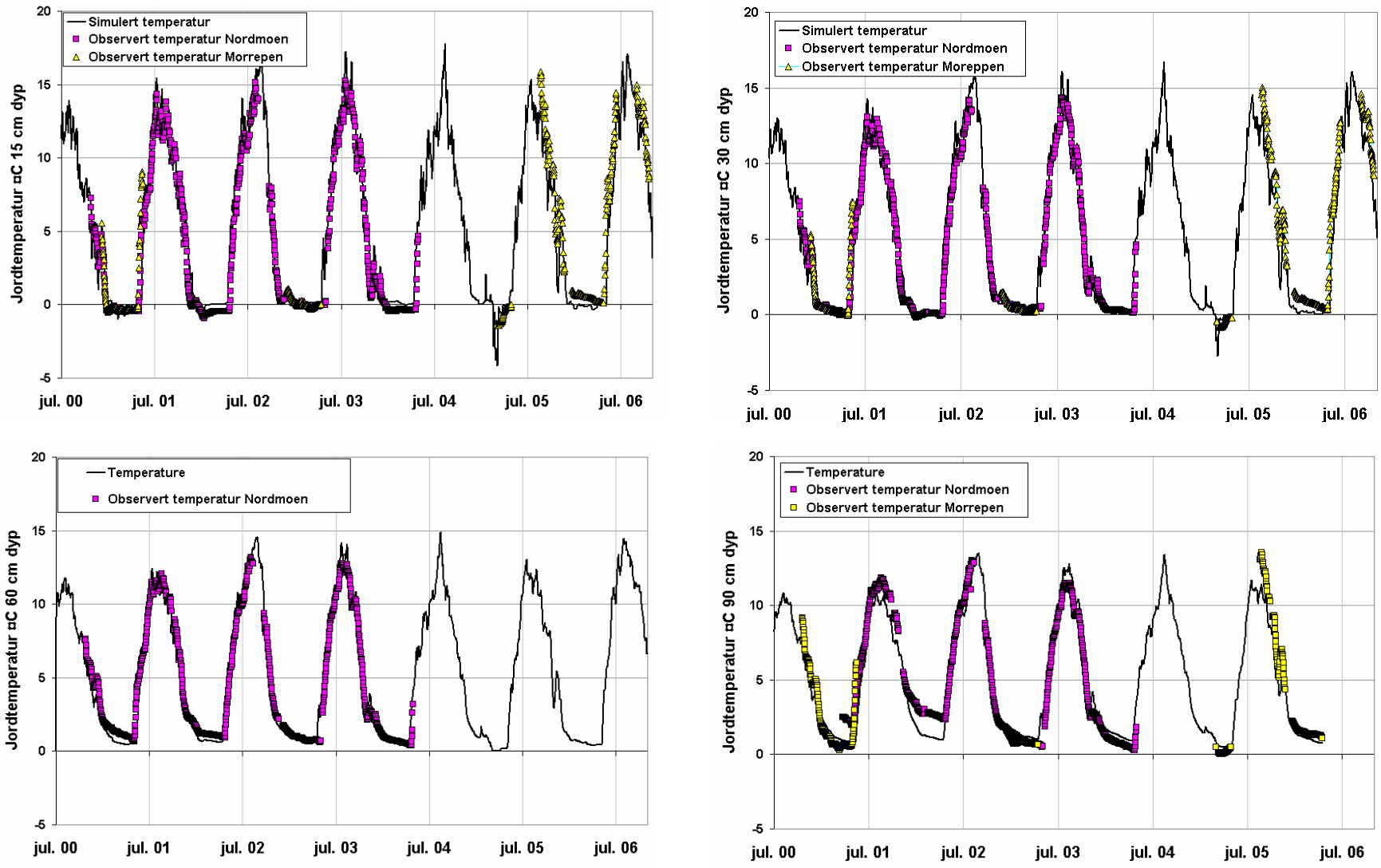
Tabell 6-7: Statistiske mål for sammenhengen mellom simulert og målt jordtemperatur på Moreppen for perioden 07.2000-10.2006.

Dybde	Observasjoner (n)	R^2	Intersept	Helningskoef.	RM (1)	RMSE (2)
15 cm	662	0,92	0,38	1,12	0,4	1,0
30 cm	662	0,95	0,43	1,12	-0,7	1,3
40 cm	711	0,95	0,24	1,12	0,1	0,7
90 cm	711	0,95	-0,20	1,20	-0,4	1,2
140 cm	711	0,97	-0,43	1,20	-0,3	0,9

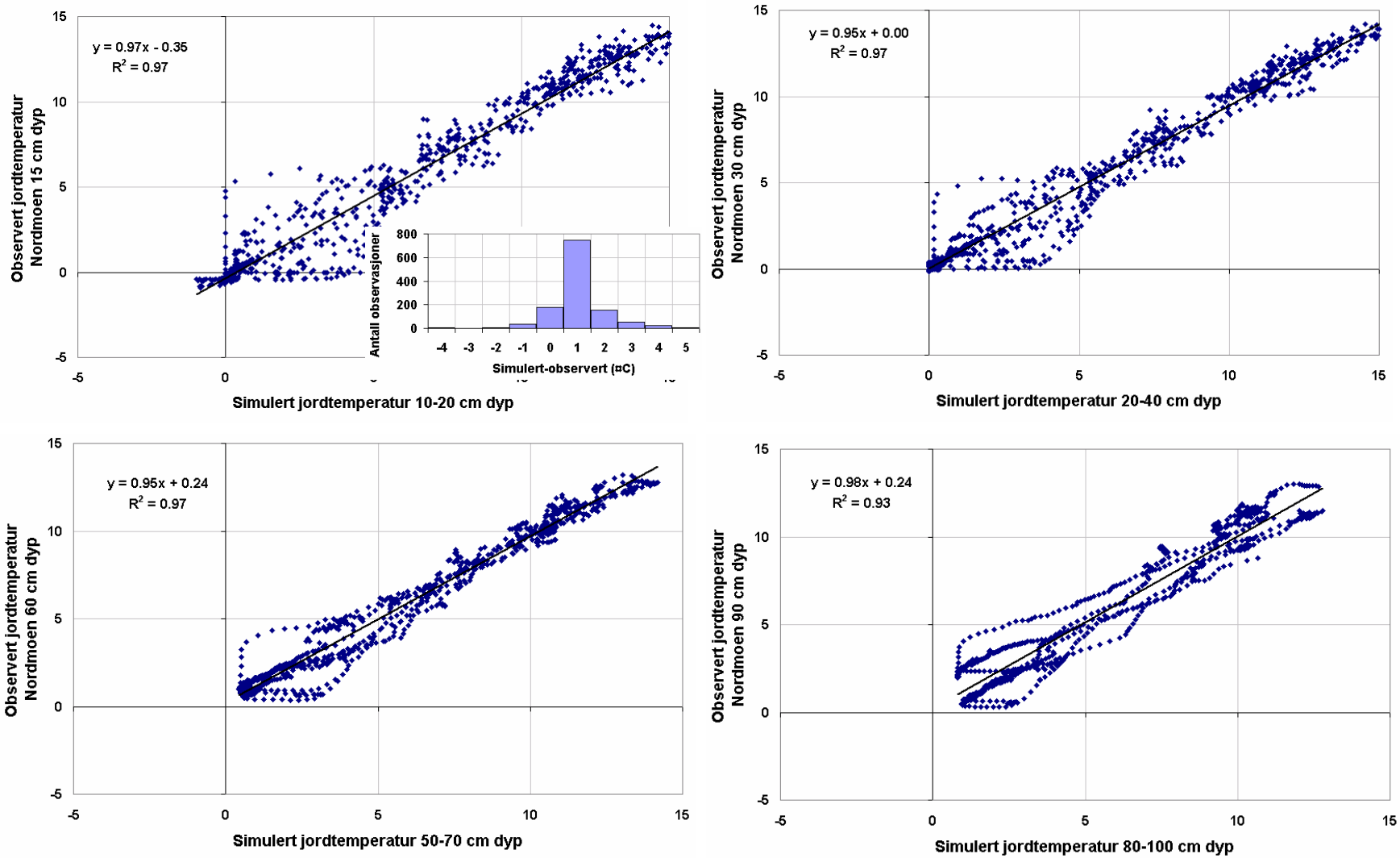
(1): RM = 1/n ∑(sim-målt)

(2): RMSE= √(∑(sim-målt)^2)/n)

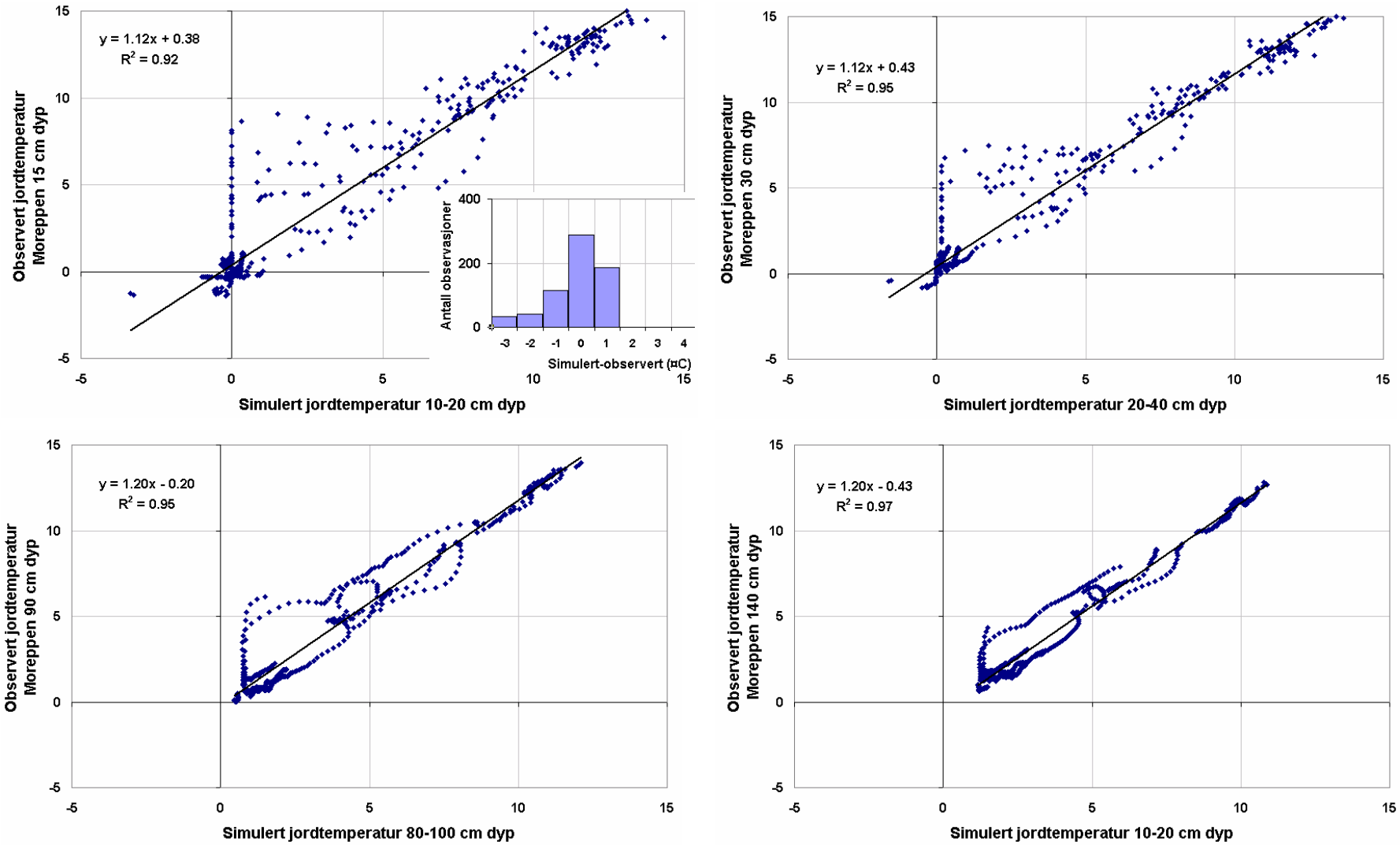
Figur 6-8 viser simulert og målt temperatur i perioden 07.2000 til 10.2006. Figur 6-9 og 6-10 viser simulert jordtemperatur plottet mot målt jordtemperatur med regresjonslinjen inntegnet. Målt og simulert jordtemperatur viser god sammenheng og helningskoeffisienten for regresjonslinjen er svært nær en 1:1 linje og skjæringspunktet med y-aksen (intersept) er også nær 0 °C. Histogrammene i nederste rad i figurene viser at 50 % av avvikene mellom målt og simulert på 15 cm dyp ligger innenfor rundt ± 1 °C, men med enkelte forskjeller opp mot 3 °C. Avvikene er litt skjevere for Moreppen hvor simuleringer om vinteren er litt kaldere enn observert.



Figur 6-8: Simulert og målt temperatur på Nordmoen og Moreppen i perioden 10.2000-10.2005 for dypene 15 cm, 30 cm, 60 cm og 90 cm.



Figur 6-9: Sammenheng mellom simulerte jordtemperatur og målt på Nordmoen for 15 cm, 30 cm, 60 cm og 90 cm dybde. Histogrammet viser frekvensen for avviket simulert minus observert på 15 cm dyp.



Figur 6-10: Sammenheng mellom simulert jordtemperatur og målt på Moreppen for 15 cm, 30 cm, 60 cm og 90 cm dybde. Histogrammet viser frekvensen for avviket simulert minus observert.

6.4 Vannbalanse

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

Det er her valgt å presentere resultater fra simuleringer med 2 hovedtyper vegetasjon:

- Skog (barskog): Granskog uten undervegetasjon som er tenkt å representere forholdene nær Nordmoen markvannsstasjon;
- Gras: Vegetasjonstypen er tenkt å representere graskledde områder nær Gardermoen flyplass samt områder hvor skogen er fjernet og bare undervegetasjonen er igjen som for eksempel Moreppen forsøksfelt.

I tillegg er en ekstremtype, kortklipt plen, simulert og enkeltresultater er vist i vedlegg 3. Selv om COUP-modellen gir muligheter for simuleringer av vegetasjon med flere bestandshøyder så er dette ikke inkludert i rapporten.

Plantevekst

For simulering av evapotranspirasjonen er det nødvendig med en beskrivelse av planteutviklingen i løpet av vekstsesongen. Dette inkluderer bladarealindeks (LAI), bestandshøyde og rotdyp. Grunnlaget for beskrivelsen av barskog er hentet fra databasen i COUP og er for en barskog i Syd-Sverige (Jansson og Karlberg, 200; Canadell et al., 1996; Gell et al., 1997 og 1999).

Den enkleste rutinene for plantevekst i COUP-modellen er å beskrive plantevekstutviklingen på bestemte dagsnummer som vil gjelde for hvert år i simuleringsperioden. Et annet alternativ, som er valgt her, er å relatere vekststart og utvikling til lufttemperatur (varmesum) og lage drivfiler med daglige verdier for bestandshøyde, rotdyp og bladarealindeks. Ut fra klimadata for perioden 1961-1990 fra den meteorologiske stasjonen på Ås, er det forsøkt å knytte ulike utviklingstrinn til varmesum. Siden det foreligger svært lite data for dette, må dette sees på som et forsøk på å komme frem til en modell for plantevekstutvikling. Håpet er at en gjennom utprøving kan finne ut eventuelle mangler/feil i antagelsene bak den enkle modellen. Følgende forutsetninger ligger bak denne enkle modellen for gras, som tidligere er brukt for å beskrive plenvekst på andre markvannsstasjoner:

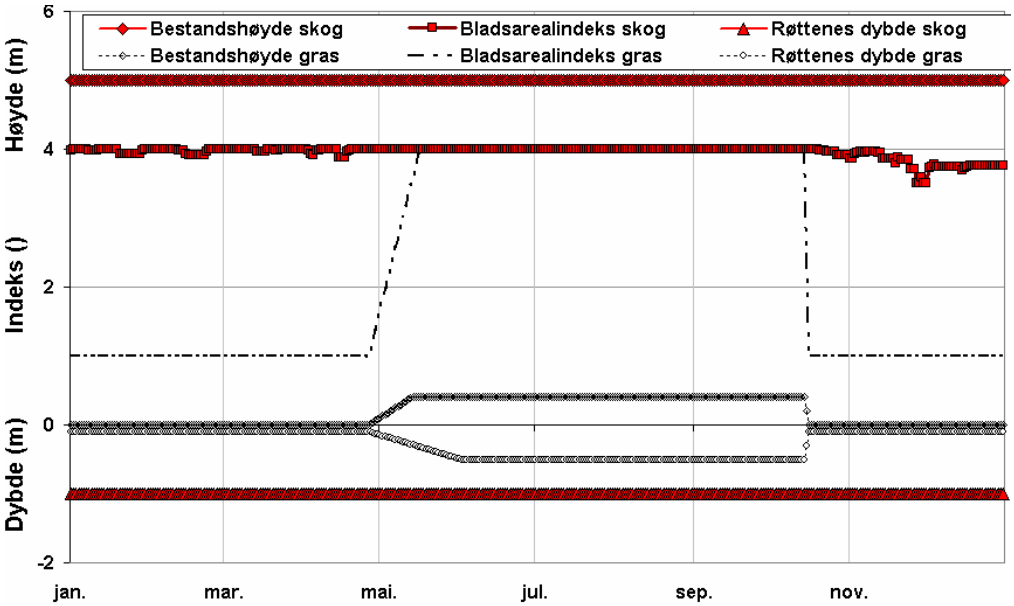
1. Vekststart om våren estimeres til når 7-døgnsmiddel av lufttemperatur passerer 5 °C;
2. Utviklingstrinn som funksjon av varmesum (basistemperatur = 0 °C):
    a. Maksimum bestandshøyde er nådd etter 150 døgngrader;
    b. Maksimum bladsarealindeks er nådd etter 200 døgngrader;
    c. Maksimum rotdyp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

3. Vekstavslutning om høsten estimeres til når 7-døgnsmiddel av lufttemperatur passerer 5 °C;

Under forutsetning av at tilsvarende varmesummer er nødvendig for at grasen på Gardermoen skal nå de ulike utviklingstrinnene, er tilsvarende beregninger foretatt ut fra klimadata for den meteorologiske stasjonen Gardermoen. Ut fra lufttemperaturmålinger på Gardermoen for perioden 1980-2006, er gjennomsnittlig vekststart estimert til 27. april (dagsnummer 117), plantehøyde på 40 cm nåes ca 16. mai, rotdyp på ca 0,5 m 3. juni og vekstavslutning ca 19. oktober (Tabell 6-9). Et eksempel på vekstutvikling ut fra forutsetningen gitt ovenfor er vist i figur 6-13.

Tabell 6-9: Dagnummer når ulike utviklingsstadier for gras oppnås. Beregnet ut fra lufttemperaturdata målt på Gardermoen for perioden 1980-2006.

	Dagnummer			
Utviklingstrinn	**Middel**	**Standard-avvik**	**Tidligst**	**Seinest**
Vekststart LAI=1 Rotdyp=0,1 m Plantehøyde=0,01 m	117	9	100	140
Plantehøyde = 0,4 m nåes	136	6	128	155
LAI=3 nåes	140	6	134	158
Rotdyp= 0,50 m nåes	154	4	148	167
Vekstslutt LAI=1 Rotdyp=0,1 m Plantehøyde=0,01 m	292	8	274	310



Figur 6-13: Eksempel på skog- og grasutvikling med bladarealindeks (LAI), bestandshøyde og rotdybde estimert fra lufttemperaturmålinger (1992).

En samlet oversikt over ulike planteegenskaper for de 3 vegetasjonstypene er vist i tabell 6.8. Plantekarakteristikker for rotdyp, bladarealindeks og bestandshøyde er konstant gjennom året for skog men er en funksjon av varmesum for gras.

Tabell 6.8. Plantekarakteristikker brukt i modellene.

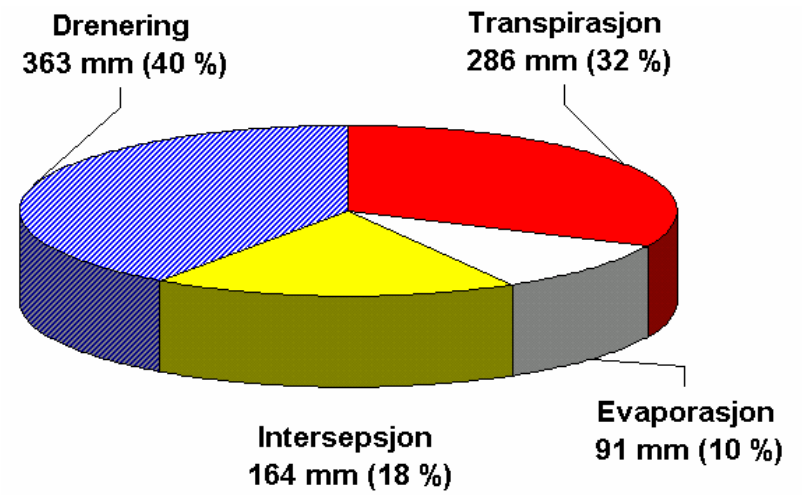
	Rotdyp (m)	**Bestands-høyde (m)**	**Blad-arealindeks LAI**	**Intersepsjon pr. LAI mm/m^2**	**Stomata maksimum ledningsevne m/s**	**Plante albedo %**
Skog	**-1**	**5**	**4**	**0,33**	**0,0125**	**8**
Gras	**-0,1 til -0,5**	**0,01 til 0,4**	**1 til 4**	**0,2**	**0,03**	**25**
Plen	-0,1 til -0,5	0,001 til 0,04	1 til 3	0,2	0,02	25

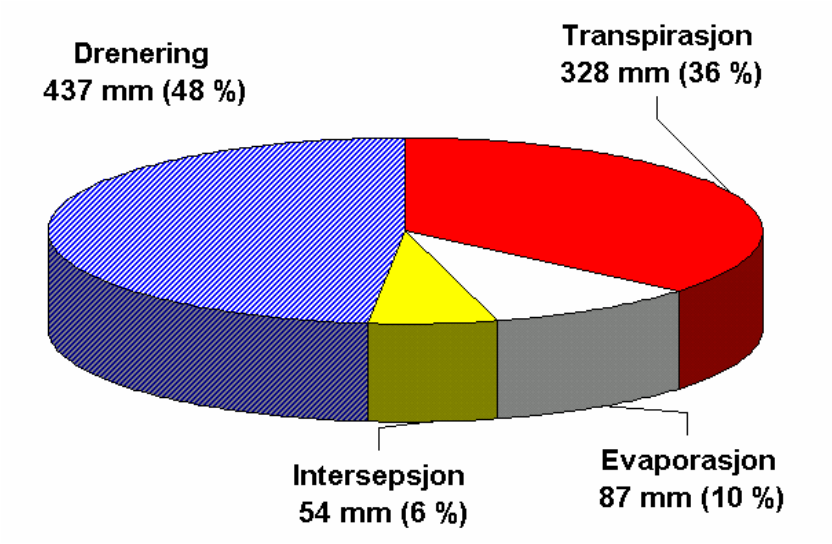
I vedlegg 4 er vist et eksempel på effektene av ulike parametre tilknyttet plantevekst på ulike vannbalansekomponenter.

Figur 6-11 viser simulerte gjennomsnittlige årsverdier for transpirasjon, evaporasjon, drenering, og fordamping av vann fanget opp av vegetasjonen (intersepsjon) i parametriseringsperioden (16 hydrologiske år). Figur 6-12 viser simulerte vannbalansekomponenter for hvert år i parametriseringsperioden. Tabell med verdier for de ulike årene i perioden 1980-2006 er vist i vedlegg 2. Det presenteres også i vedlegg 3 resultatene fra simuleringer for plen.

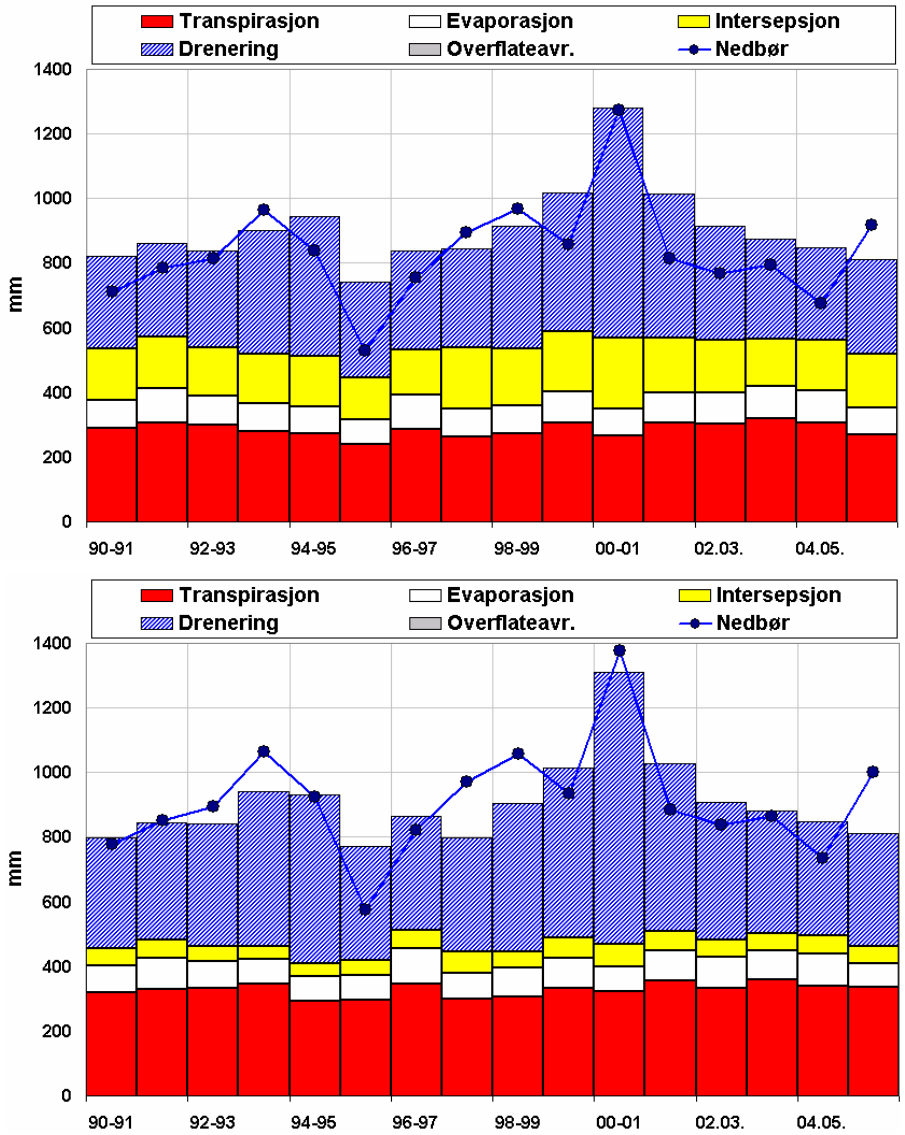
Årsnedbøren i parametriseringsperioden er fra 576 til 1376 mm med et gjennomsnitt på 910 mm. Det er ikke simulert overflateavrenning i perioden slik at all nedbøren infiltreres i jorda.

Det gjennomsnittlige totale vanntapet fra skog er simulert til 541 mm hvorav 255 mm er fordamping av vann fra jordoverflata (evaporasjon) og bladoverflata (intersepsjonsvann). Gjennomsnittlig drenering er 363 mm noe som tilsvarer 40 % av årsnedbøren (Figur 6-11 og vedlegg 2). Det totale vanntapet fra gras er ca 87 % sammenlignet med skog noe som medfører at dreneringen er ca. 20 % høyere enn for skog. Økning i drensvann gir en økning i grunnvannsstand på ca 0,3 m. For å forenkle sammenligning ble grunnvannsstand justert på samme nivået for alle modeller.





Figur 6-11: Gjennomsnittlig årlig vannbalanse simulert i parametriseringsperioden (16 hydrologiske år: 1/10.1990-30/09.2006), øverst skog, nederst gras.

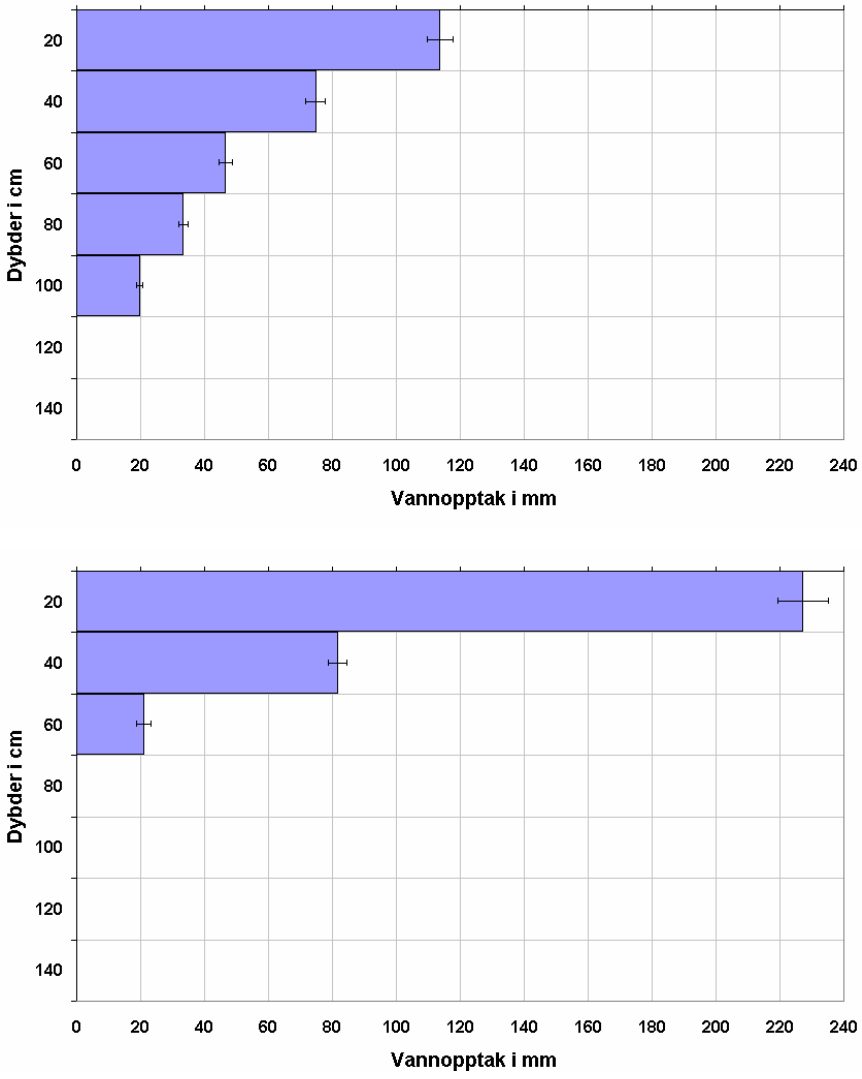


Figur 6-12: Vannbalanse simulert i parametriseringsperioden (16 hydrologiske år: 1/10.1990-30/09.2006) øverst: skog, nederst gras.

6.4.1 Vannopptak

Simulert rotopptak fra ulike jordlag for skog og gras er vist i figur 6-14. Det har vist seg at rotdyp i modellen har lite betydning for den totale mengden vannopptak.

Resultatene fra simuleringene for parametriseringsperioden 1990-2006 viser at plantenes vannopptak i gjennomsnitt er 286 og 328 mm/år for henholdsvis skog og gras. Høyeste og laveste årlige vannopptak er henholdsvis 323 og 239 mm for skog, og 365 og 294 for gras.

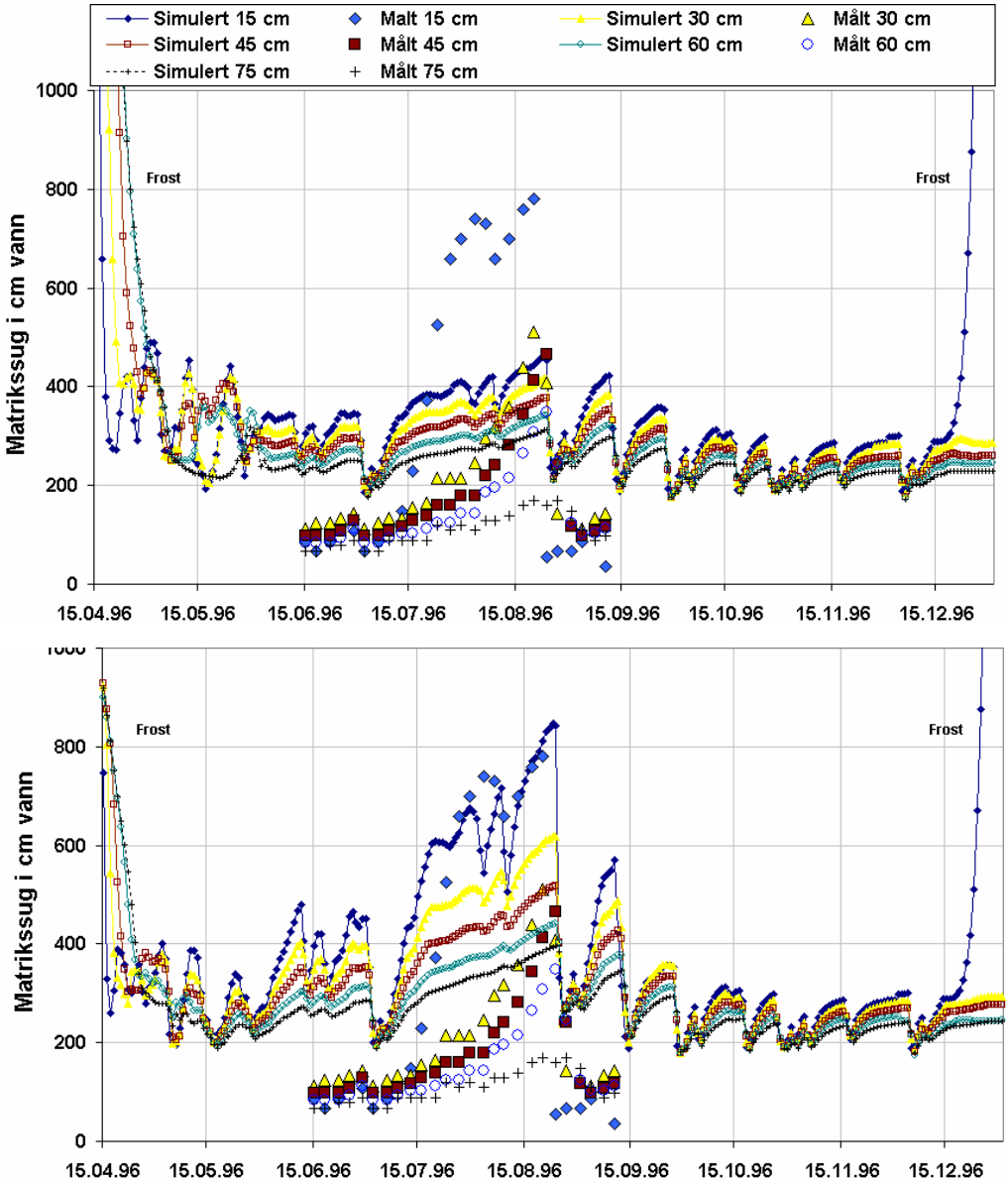


Figur 6-14: Gjennomsnittlig årlig simulert vannopptak som funksjon av dyp for årene 1990-2006. Standardavvik er tegnet inn. Øverst: skog og nederst: gras (se vedlegg 5 for mer detaljer).

.

6.4.2 Matrikssug og vanninnhold

I dette kapitlet er simulerte verdier sammenlignet med tensiometer- og nøytronmeter-målinger fra Nordmoen og TDR-målinger fra Moreppen. Det skal bemerkes at simuleringene kun er for jordegenskapene målt på Nordmoen.



Figur 6-15: Simulert og målt matrikssuget ved 15, 30, 45, 60 og 75 cm dyp i 1996. Øverst skog, nederst gras.

Figur 6-15 viser simulert matrikssug og tensiometermålinger for 5 dyp i 1995. Figuren illustrerer at simuleringene systematisk overestimerer tensiometeravlesningene når jorda er vått. De laveste simulerte verdier for matrikssugene er ca 190 cm sug, mens målinger viser klart mindre sug, oftest under 100 cm sug. Samme problemet vises i simuleringene for gras, men simulert økning i sug på 15 cm dyp viser bedre overensstemmelse med målingene enn for skog. Dette illustrerer godt hvilken effekt rotfordelingen har på matrikssuget. Simuleringene viser større uttørking for gras enn skog.
Det ble prøvd å endre jordas egenskaper dvs. pF-kurvene i simuleringene bl.a. ved å øke vannmengder som holdes i jorda ved metning og feltkapasitet (pF2) uten at dette ga en bedre tilpasning.

Tabell 6-10: Sammenhengen mellom tensiometermålinger og simulert matrikssug i perioden 1990-2003 (simulering for skog[5]).

Dybde (cm)		Observasjoner (n)	R^2	Intersept	Helningskoef.	RM (1)	RMSE (2)
Simulert	**Målt**						
10-20	**15**	208	0,28	262	0,22	107	194
20-40	**30**	217	0,61	193	0,67	139	157
40-50	**45**	213	0,50	184	0,79	158	170
50-70	**60**	191	0,44	154	0,98	151	161
70-80	**75**	201	0,15	182	0,75	160	172

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

Resultatene i tabell 6-10 og figur 6-16 viser at det finnes imidlertid en relativ god sammenheng mellom simulert og observert matrikssug (tensiometer) for de høyeste verdiene. For de lavere verdiene ser en at simulerte verdier varierer mer enn målingene, det samme som en ser øverst i figur 6-15.

Avvikene mellom simuleringer og observasjoner er sannsynligvis knyttet til at man har valgt å representere jordprofilet med kun 2 ulike lag, mens pF- og kornfordelingsmålinger viser at det er forskjeller mellom de øverste sjiktene med lokale forekomster av siltig sand.

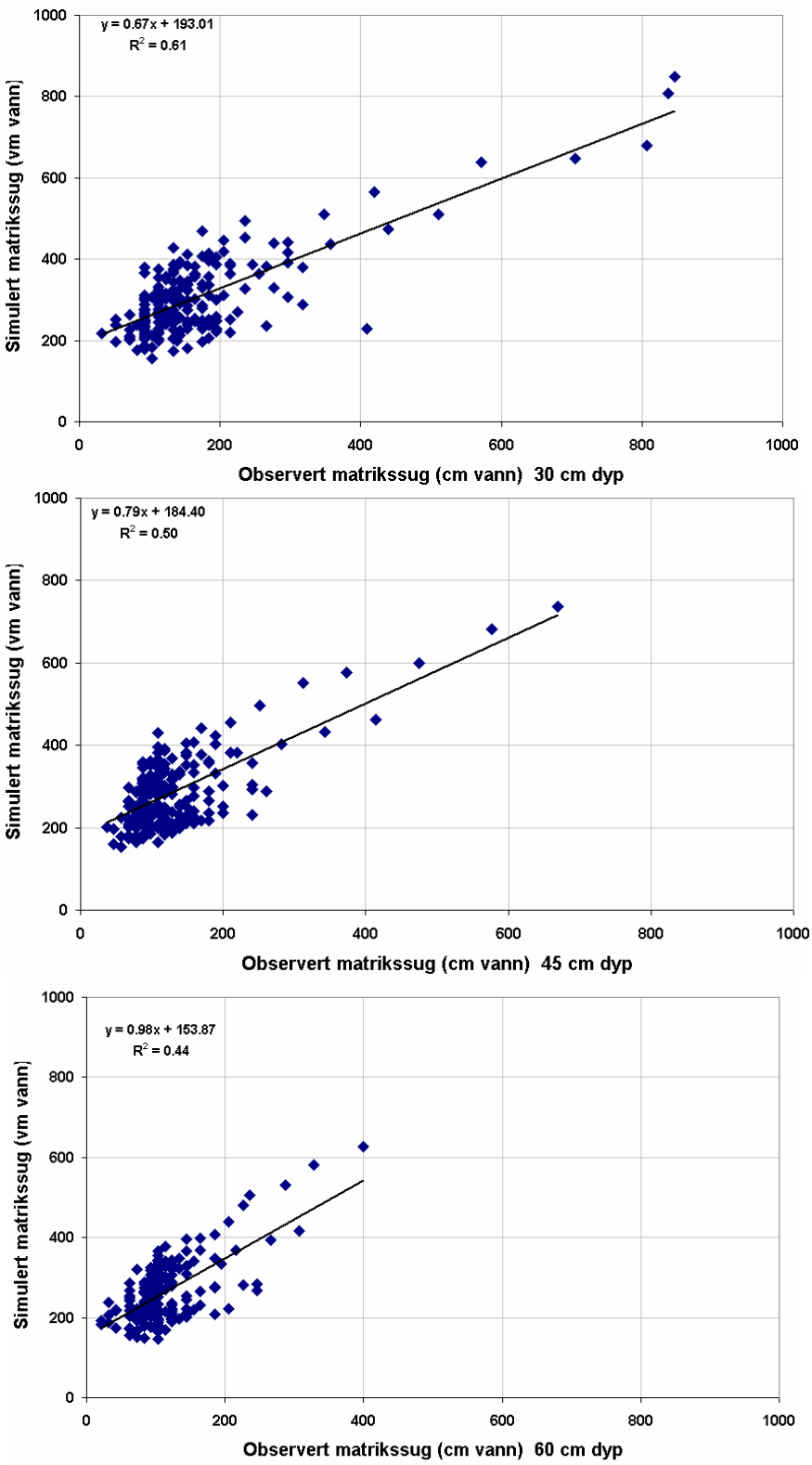
[5] Det er brukt i dette kapitlet en tidligere modell for skog med dypere rot og høyere transpirasjon (Rotdyp:-3 m; Bestandshøyde: 5 m; LAI:4; Intersepsjon pr LAI:0,2 mm/m^2; Stomata ledn.: 0,02 m/s; albedo: 25 %)

Tabell 6-11: Sammenhengen mellom målt (med nøytronmeter) og simulert vanninnhold i perioden 1990-2003 (simulering for skog).

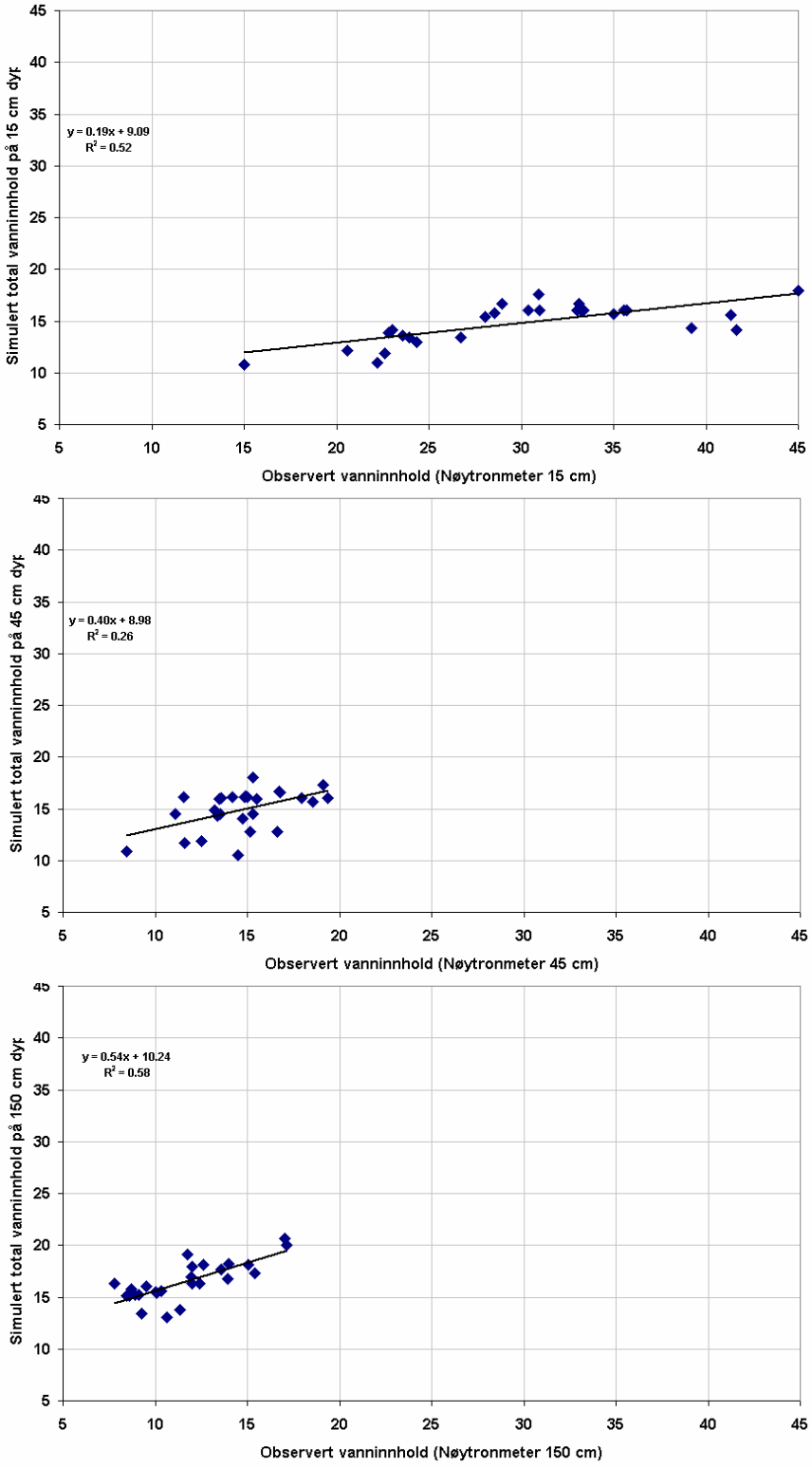
Dybde (cm)		Observasjoner (n)	R^2	Intersept	Helningskoef.	RM (1)	RMSE (2)
Simulert	**Målt**						
10-20	**15**	27	0,52	9,1	0,19	-15,2	16,3
20-40	**30**	27	0,44	8,2	0,32	-5,8	6,5
40-50	**45**	27	0,26	9,0	0,40	0,2	2,2
70-80	**75**	23	0,04	14,0	0,17	6,0	6,5
110-130	**120**	26	0,56	10,0	0,56	5,3	5,5
150-170	**150**	28	0,58	10,2	0,54	5,8	6,7
200-250	**240**	24	0,60	8,3	0,72	3,4	6,3

(1): RM = 1/n ∑(sim-målt)

(2): RMSE= √(∑(sim-målt)^2)/n



Figur 6-16: Sammenheng mellom simulert og målt matrikssuget (tensiometer) for 30 cm, 45 cm og 60 cm dyp. Simulering for skog.



Figur 6-17: Sammenheng mellom simulert og målt vanninnhold (nøytronmetermålinger på Nordmoen) på 15 cm, 45 cm, og 150 cm dyp.

Det er relativt stort avvik mellom absoluttverdiene for målt og simulert vanninnhold med intersept-verdier rundt 10 vol % og med helningskoeffisienter for regresjonslinjen på mellom 0,2 og 0,5. Det er derfor klart større endringer i målt vanninnhold i måleperioden enn i simulert vanninnhold. Middelverdiene fra de tre nøytronmeterrør er brukt i dette arbeidet. Standardavviket på de tre målingene er relativt stort, spesielt for de øverste lagene (5-8 vol %).

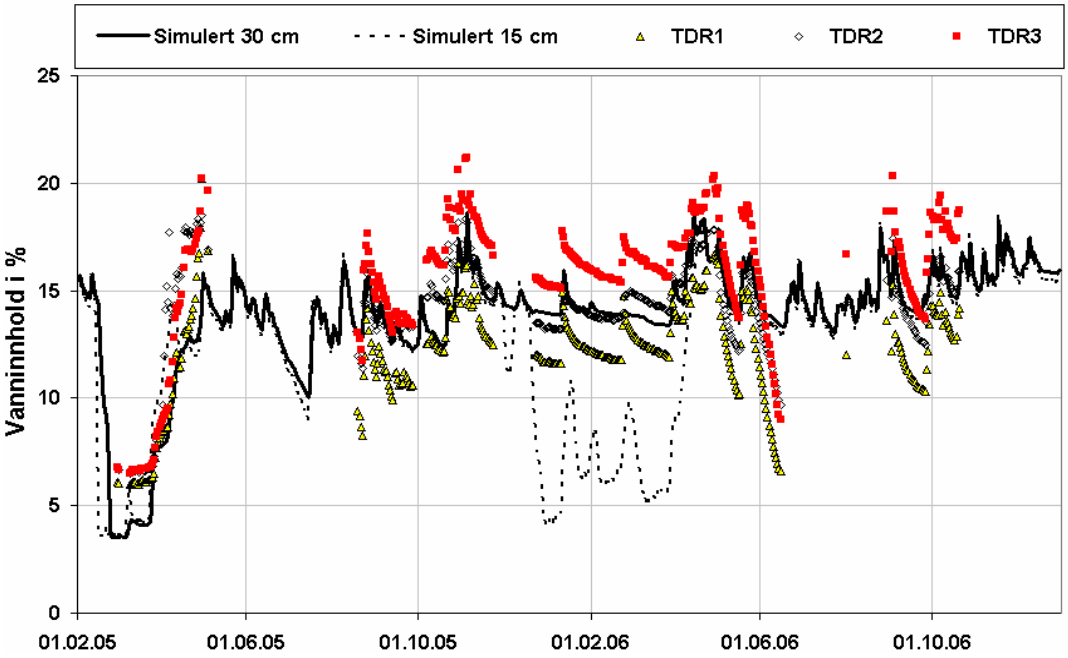
Selv om det er jorddata fra Nordmoen som er brukt i simuleringene så er det en god sammenheng mellom målt vanninnhold med TDR på Moreppen og simulert vanninnhold (tabell 6-12). Det er valg å sammenligne målinger (0-30 cm) med simulert vanninnhold på 20-40 cm dyp, siden det er simulert frost i jorda under 20 cm i modellen i vinteren 2005/2006 (figur 8-18) noe som har betydningen for mengden tilgjengelig vann.

Tabell 6-12: Sammenhengen mellom målt (TDR målinger på Moreppen) og simulert vanninnhold i perioden 2002-2006 (skog).

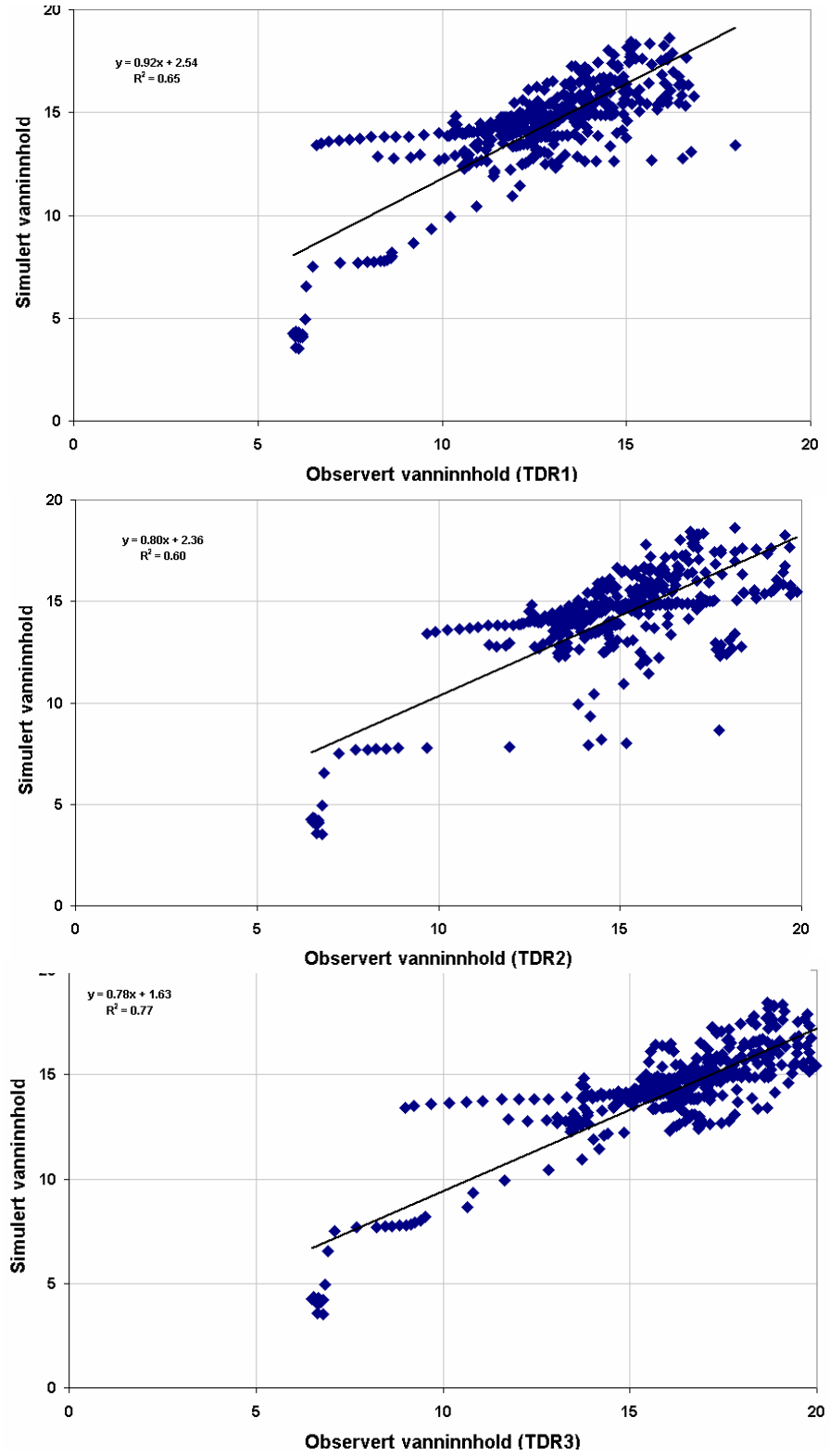
Dybde (cm)		Observasjoner (n)	R^2	Intersept	Helningskoef.	RM (1)	RMSE (2)
Simulert	**Målt**						
20-40	**0-30**	499	0,65	2,54	0,92	1,6	2,2
20-40	**0-30**	499	0,60	2,36	0,80	-0,6	1,8
20-40	**0-30**	499	0,77	1,63	0,78	-1,9	2,4

(1): RM = 1/n ∑(sim-målt)

(2): RMSE= √(∑(sim-målt)^2)/n



Figur 6-18: Simulert og målt vanninnhold med TDR på Moreppen ved 0-30 cm dyp.



Figur 6-19: Sammenheng mellom simulert og målt vanninnhold (TDR målinger på Moreppen).

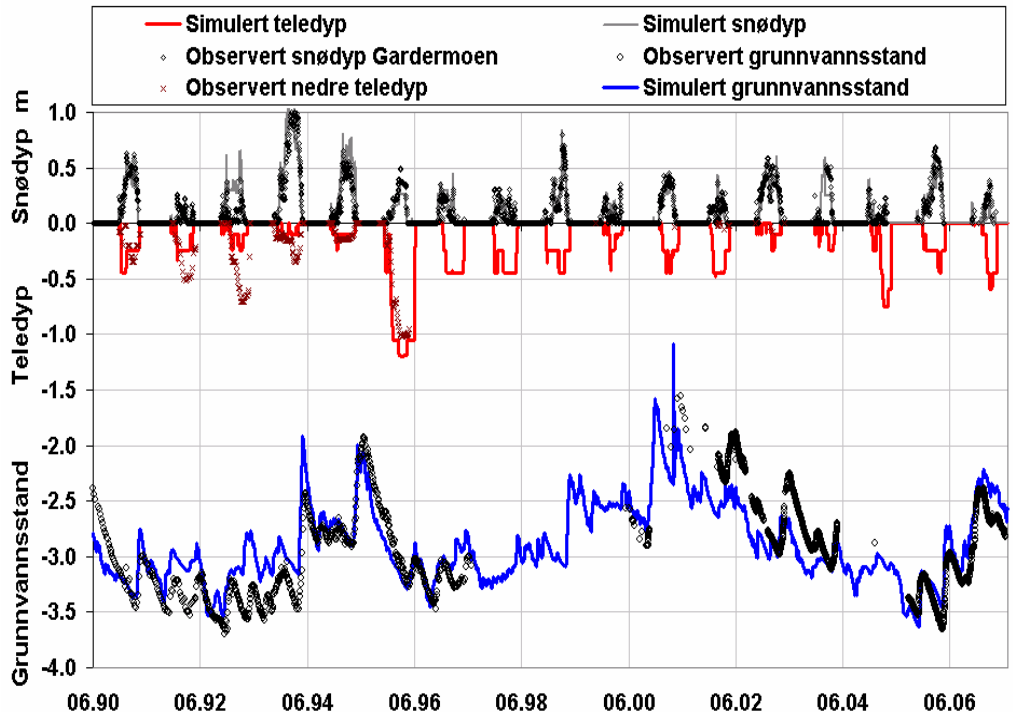
6.4.3 Grunnvannsstand og drenering

Simuleringene for skog er i utgangspunktet kalibrert mot grunnvannsstand målt på Nordmoen siden dataene tilgjengelig fra Moreppen bare dekker enkelte korte perioder. Det er en god sammenheng mellom fluktuasjoner i grunnvannsstand målt på Moreppen (se figur 2-5) og Nordmoen slik at denne parametriseringen også kan anvendes for Moreppen ved å endre nedre grensebetingelse slik at dreneringsdypet senkes 1 m. For øvrig er nedre grense i jordprofilet antatt tett, dvs. ingen vertikal vannstrømning ut av bunnen av profilet isteden transporteres vannet lateralt ut av jordprofilet til et dreneringssystem. Sammen med jordas hydrauliske egenskaper er dreneringsdyp og avstand mellom grøftene viktig for tilpasningen mellom målt og simulert grunnvannsstand. Det er valgt en lineær løsning for drenering slik at den horisontale strømningen ut, er lik det aktuelle lagets mettede vannledningsevne multiplisert med høydeforskjellen midt mellom grøftene og grøftedypet og dividert på halv grøfteavstand (”hydraulisk gradient”). Beste tilpassing er funnet ved grøftedyp på 6,1 m og med den største mulige grøfteavstanden (10.000 m) tillat i modellen, dvs. avstanden fra profilet til drensrørene er da 5000 m. Den nedre grensebetingelsen som er benyttet er selvsagt en klar forenkling men det har vist seg svært effektivt i forbindelse med parametriseringen. I resultatene fra modellsimuleringene er grunnvannsstanden satt til øverste nivå der jorda er vannmettet.

Ulike kombinasjoner av jordas vannledningsevne og drensdyp gir tilnærmet samme resultat mhp simulert grunnvannsstand. Valget av parametre/jordegenskaper er vist i tabell 6-13. Porevolum er i utgangspunktet satt til 43 % som samsvarer med målinger på Nordmoen. Ulike simuleringer har vist at denne verdien i liten grad påvirker resultatene for simulert grunnvannsstand.

Tabell 6-13. Viktige parameterverdier brukt ved simuleringen av grunnvannsstand.

Parameter	Verdier	Kommentarer
Drain level	-6,1 m (skog)	-6,4 m (gras)
Drain spacing	10.000 m	Største mulig avstand
Surface coefficient	0,8 1/dag	Standard
Total conductivity	1500 mm/dag	>2 m dyp
Matrix conductivity	150 mm/dag	>2 m dyp
Saturation (pF)	43 %	35 % Moreppen



Figur 6-20: Simulert og observert snødyp, teledyp og grunnvannsstand for parametriseringsperioden (Skog).

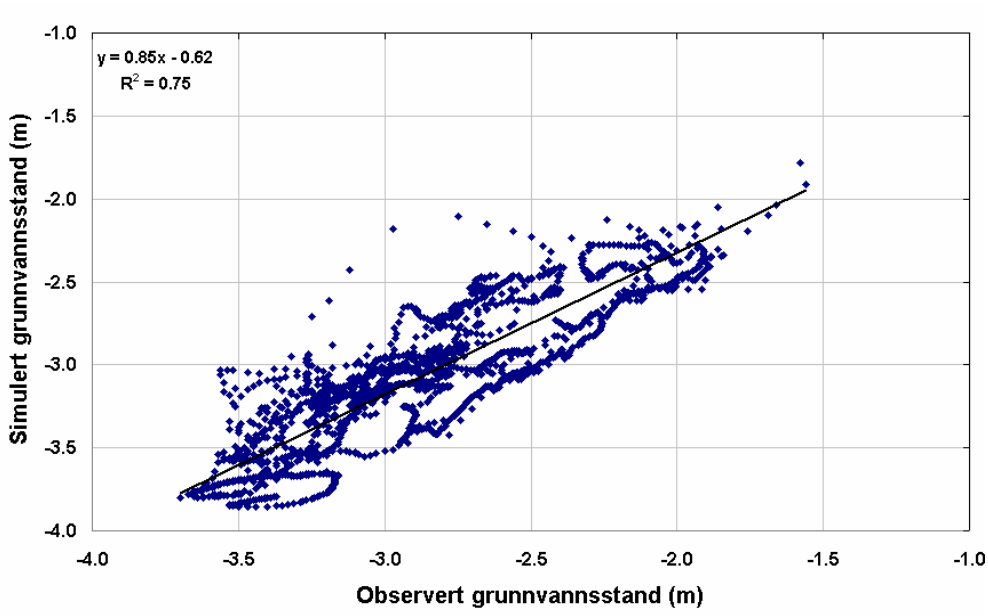
Figurene 6-20 og 6-21 viser god sammenheng mellom målt og simulert grunnvannsstand (R^2=0.75), se også tabell 6-14. Selv om middelavviket er under 20 cm så viser figur 6-19 at det forekommer avvik opp mot 50 cm (1996), men for ca 80 % av målingene er avviket under 30 cm. Figur 6-20 viser at simulert grunnvannsstand er litt høyere enn målt grunnvannsstand i perioden 2002-2004[6].

Tabell 6-10: Sammenheng målt og simulert grunnvannsstand for markvannsstasjonen for parametriseringsperioden (06.1990-06.2007). Resultater for lineær regresjon, middelavvik og kvadratavvik

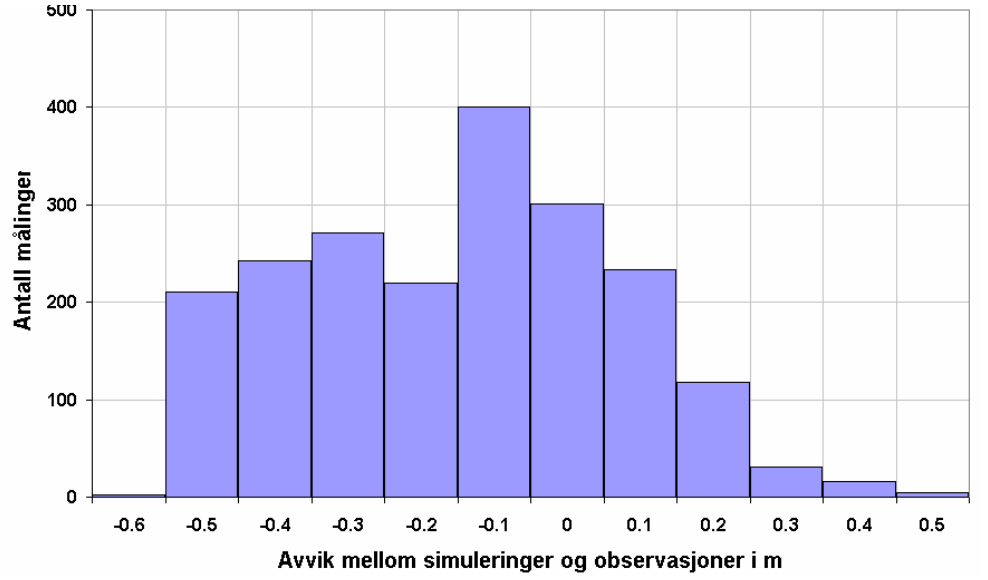
Observasjoner (n)	R^2	Intersept	Helningskoef.	RM (1)	RMSE (2)
2058	0,75	-0,62	0,85	-0,19	0,29

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

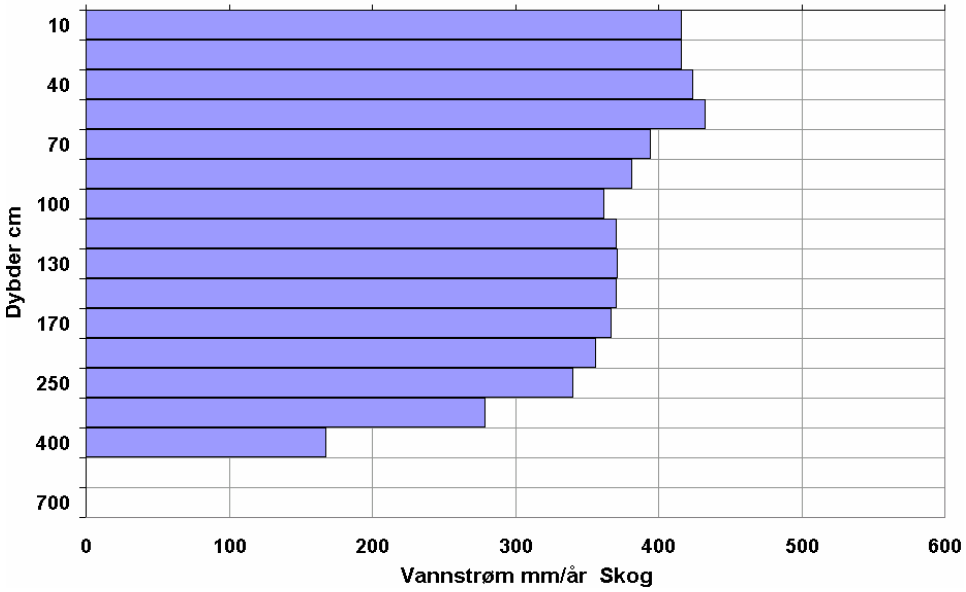
[6] Det er i denne perioden at målinger av grunnvannsstand ble flyttet fra et peilerør til en større borebrønn og målingene ble foretatt med en ny type logger (Logotronics). Kontrollmålinger tyder imidlertid ikke på at dette kan forklare dette avviket.



Figur 6-21: Observert mot simulert grunnvannsstand for markvannsstasjon Nordmoen.



Figur 6-22: Histogram for simulert minus observert grunnvannsstand i parametriseringsperioden.



Figur 6-23: Årsmiddelverdier for simulert vannstrømning mellom ulike jordlag, mm vann/år for perioden 1990-2006 (skog).

I simuleringene er nedoverrettet vannstrøm (mm/døgn) positiv og oppoverrettet (kapillær stigning) negativ. På årsbasis dominerer den nedoverrettede vannstrømmen og den årlige gjennomsnittlig vanntransport mellom lagene er derfor positiv (figur 6-23).

Årsum simulert vannstrøm ved 1.3 m dyp og total drenering, som er vanntransporten ut gjennom drenssystemet, betraktes her som et mål på nydannelse av grunnvann.
Figur 6-24 og 6-25 viser at største årlige vertikale vannstrømning ved 1.3 m dyp i parametriseringsperioden (1990-2007) er for simuleringene for skog 770 mm/år (2000-

2001) tilsvarende ca. 56 % av nedbøren. Lavest årlige vannstrømning er 122 mm (1995-96) tilsvarende ca 21 % av nedbøren. For simuleringer med bare gras er tilsvarende tall for de samme årene henholdsvis 881 mm (64 % av nedbøren) og 144 mm (25 % av nedbøren).

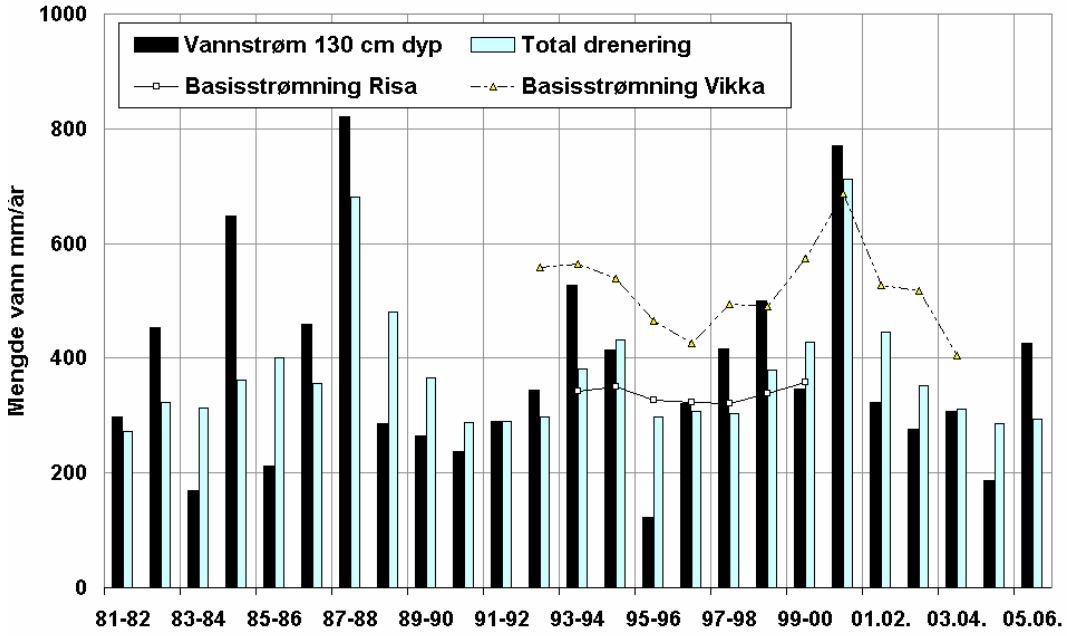
I tørre år (1995-96) er simulert vannstrøm ved 130 cm dyp mindre enn simulert drenering, noe som gir en betydelig senkning av grunnvannsstand (figur 6-24 og figur 6-20). Svært våte år (2000-01) er simulert vannstrøm ved 130 cm dyp større enn dreneringen og klar økning i simulert og også målt grunnvannsstand skjer (figur 6-24 og figur 6-20).

Figur 6-24 viser basistrømning (base flow) beregnet ut fra avløpsmålinger utført på Risa og Vikka (se vedlegg 6). Base flow som et internasjonalt anerkjent begrep kan oppfattes som en fellesbetegnelse på alt vann som stammer fra lagrede magasiner, for eksempel grunnvannsreservoarer, innsjøer, myrer eller breer. I områder hvor det er lite innsjø, myr eller bre, består base flow overveiende av grunnvann. Det er interessant å notere at beregnet grunnvannsdannelse (basisstrømning) ut fra "Base flow" analyser på Gardermoen (Wong og Colleuille, 2005) gir verdier som ligger nær simulerte årlige drensvannsmengder med skog, noe som tyder på at resultatene fra simuleringer er rimelige. Sammenhengen mellom årlig (hydrologiske år) sum basisstrømning og simulert total drenering er god for Risa (7 år, $R^2 = 0,93$) og litt lavere for Vikka (12 år, $R^2 = 0,66$). Det er imidlertid ikke god sammenhengen mellom daglige simulerte dreneringsmengder og beregnet basisstrømning.

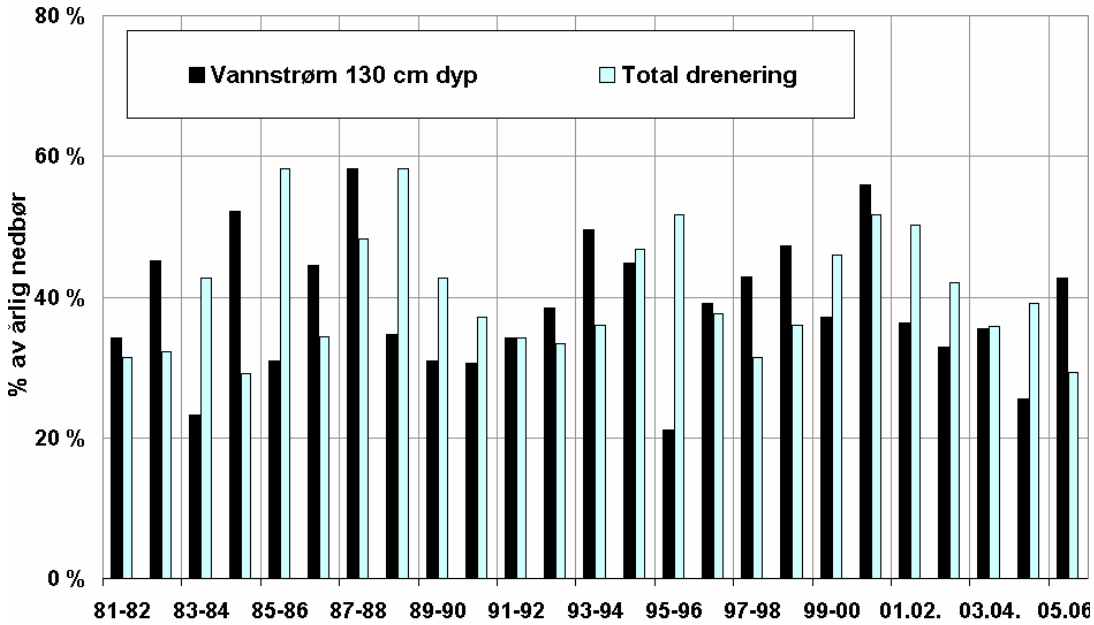
Figur 6-26 viser simulerte døgnverdier for vannstrømning ved 130 cm dyp og total drenering for 2 ekstremperioder, årene 1995-1996 (tørr) og 2000-2001 (vått) for skog

I vedlegg viser også vannstrømning og drenering for perioden 2000 til 2007 for både skog og gras.

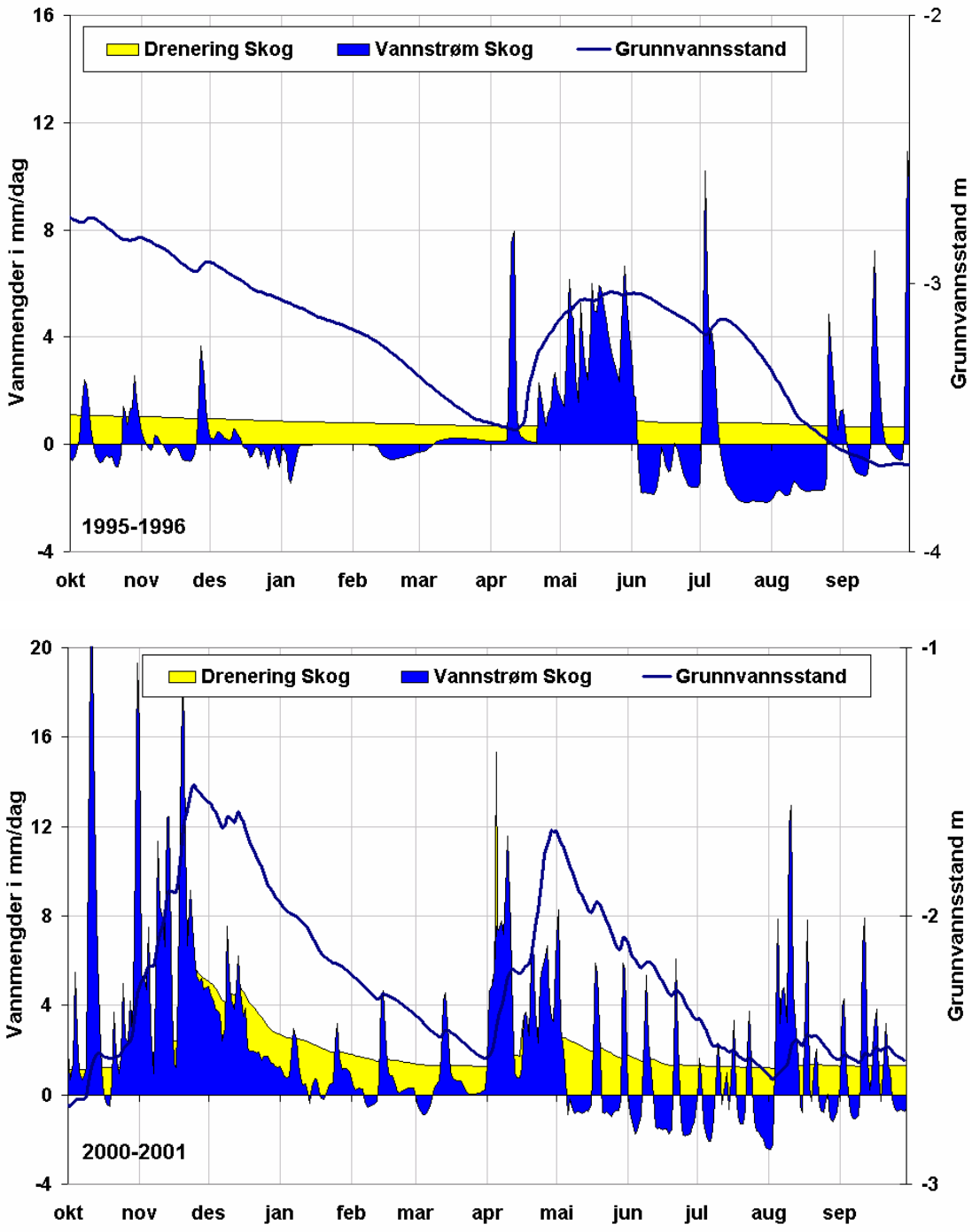
Årene 1995-1996 karakteriseres med en lav simulert vannstrømning ved 130 cm og også liten drenering. Døgnverdiene viser også at størstedelen av sommeren er det en oppoverrettet strømning (kapillær stigning). Høsten 1995 er det kun 3 mindre episoder hvor nedoverrettet vannstrømning er større enn total drenering. Vinteren 1995/96 var en kald vinter med lite snø og simulert dyp tele. Det var derfor minimal vanntransport i jorda før snøsmeltingen 1996 hvor en kommer opp i døgnverdier på 10 mm/dag. Årene 2000-2001 karakteriseres med en stor simulert vannstrømning ved 130 cm dyp nesten kontinuerlig fra høsten 2000 til våren 2001. Vannstrømningen er større enn 20 mm/dag noen dager på høsten og litt under 12 mm/dag ved snøsmeltingen. Det er interessant å notere at det foregår små episoder med vanninfiltrasjon om vinteren selv om det er simulert dypt frost i jorda i denne perioden.



Figur 6-24: Middelverdier for årlig vannstrømning ved 130 cm dyp og total drenering ut fra jordprofilet gitt i mm vann pr. år for årene 1981-2006 (hydrologiske år). Beregnet bassistrømning fra Risa og Vikka (Wong og Colleuille, 2005).



Figur 6-25: Middelverdier for vannstrømning innom lag på 130 cm dyp og total drenering ut fra jordprofilet gitt som prosent av årsnedbøren for årene 1981-2006 (hydrologiske år).



Figur 6-26: Daglig vannstrømning innom lag på 130 cm dyp og total drenering ut fra jordprofilet, samt grunnvannsstand for ekstreme årene 1995-96 og 2000-2001 (skog).

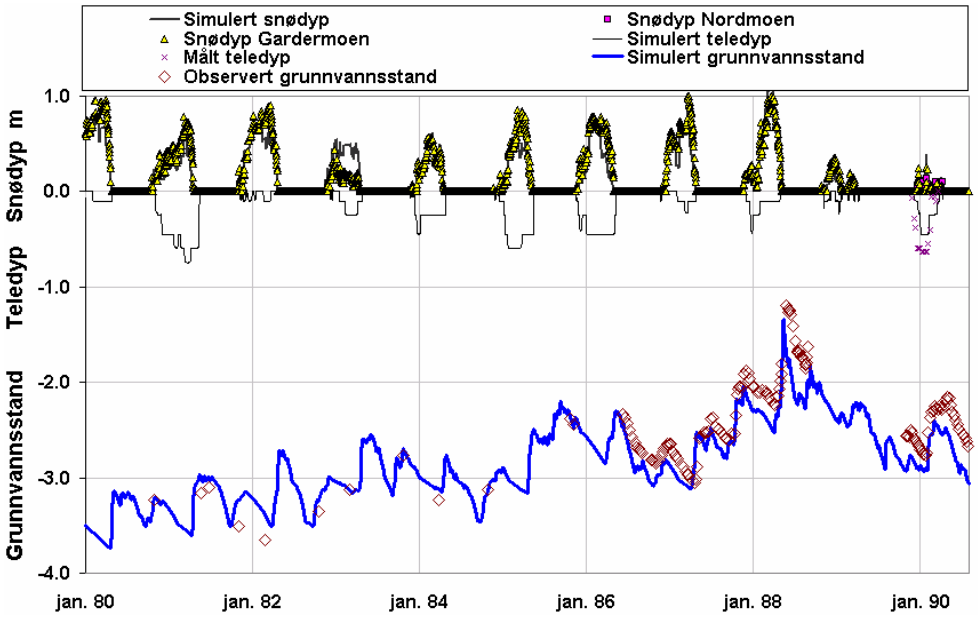
7 Verifisering av modellen

Ut fra parametriseringen av COUP mot målinger ved markvannsstasjon Nordmoen for perioden 1/6-1980 til 30/6-2007 kom en frem til et parametersett som her sjekker mot målinger fra en annen, uavhengig tidsperiode. Det foreligger målinger av grunnvannsstand, snødyp, snøens vannekvivalent og teledyp for perioden 1/6-1980 til 30/5-1990 (tabell 7-1).

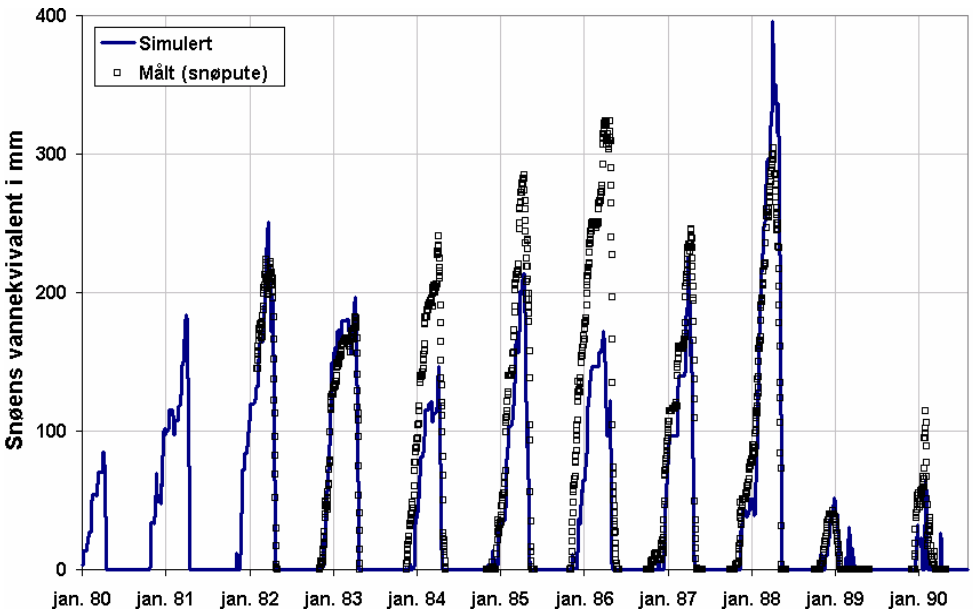
Det er kun simuleringene for skog som er beskrevet her.

Tabell 7.1. Parametriseringsperioden og verifiseringsperioden.

	Start	Slutt	Antall år
Tilgjengelige klimadata	1/1-1980	1/7-2007	27
Parametriseringsperioden	1/6-1990	30/6-2007	17
Verifiseringsperioden	1/6-1980	30/6-1990	10



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



Figur 7-2: Simulert og målt snøens vannekvivalent for verifiseringsperioden.

Figur 7-1, 7-2 og 7-3 samt tabell 7-2 viser samme relativt gode tilpasning mellom observasjoner og simuleringer som for parametriseringsperioden. Selv om det er få målinger av grunnvannsstand så viser simuleringen at både høy og lav grunnvannsstand beskrives bra. Svært få telemålinger men det ene året med målinger viser bra sammenheng. Snødyp er rimelig bra simulert, mens det er relativt store avvik mellom målt og simulert vannekvivalent i snø for vintrene fra høsten 1983 til våren 1986. Avvikene er såpass store og siden snødypmålingene viser bra samsvarer tyder dette på snødrift mot snøputa, lokale variasjoner i nedbørsmengder eller feil ved snøputemålingene.

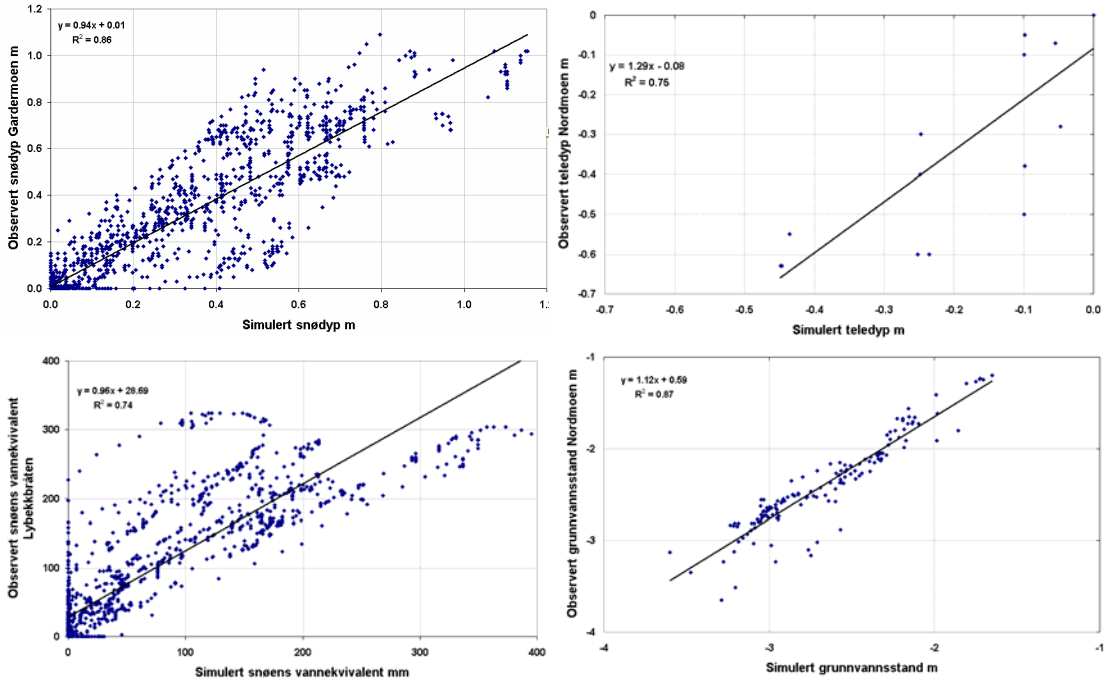
Tabell 7-2: Sammenheng mellom observert og simulert snøens ekvivalent, snødyp, teledyp og grunnvannsstand for parametriserings- og verifiserings-perioden.

Snø- og teledyp (m)	Observasjoner (n)	R^2	Intersept	Helningskoef.	RM (1)	RMSE (2)
Snøens vannekvivalent						
Parametrisering	1379	0,90	20,5	0,88	-10,5	32,5
Verifisering	1734	0,74	28,7	0,96	-25,8	55,1
Snødyp (Gardermoen)						
Parametrisering	5618	0,79	0,00	0,75	0,02	0,10
Verifisering	3652	0,86	0,01	0,94	0,002	0,09

Teledyp						
Parametrisering	293	0,68	-0,09	0,73	0,03	0,19
Verifisering	20	0,76	-0,07	1,31	0,32	0,19
Grunnvannsstand						
Parametrisering	2058	0,75	-0,62	0,85	-0,19	0,29
Verifisering	147	0,87	0,59	1,12	0,27	0,33

(1): RM = 1/n ∑(sim-målt)

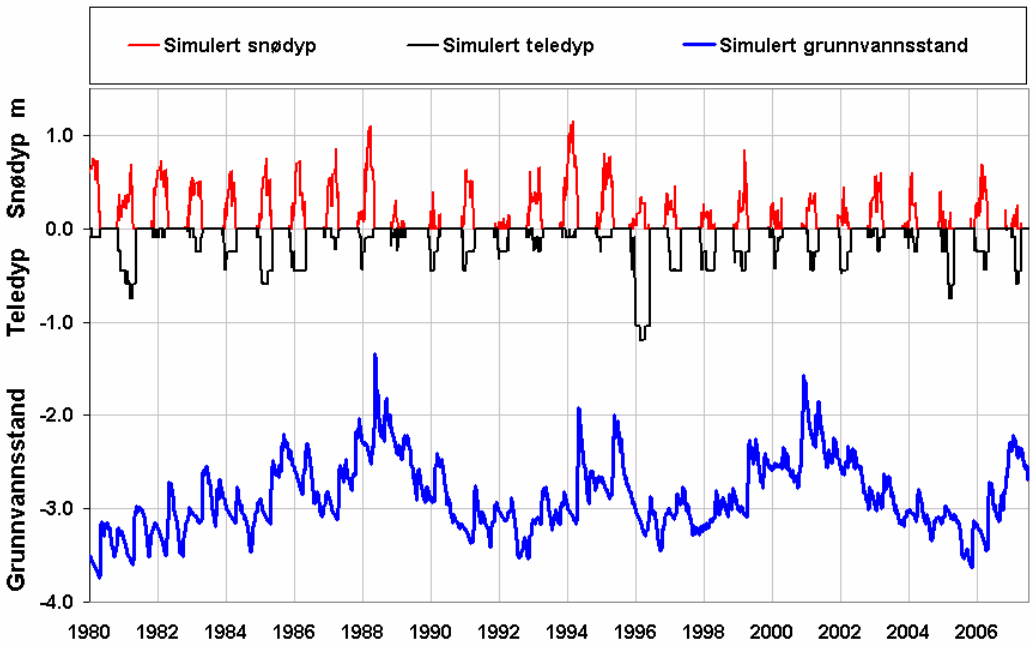
(2): RMSE= √(∑(sim-målt)^2)/n)



Figur 7-3. Sammenheng mellom simulert og observert snøens ekvivalent, snødyp, teledyp og grunnvannsstand for verifiseringsperioden.

8 Normalverdier

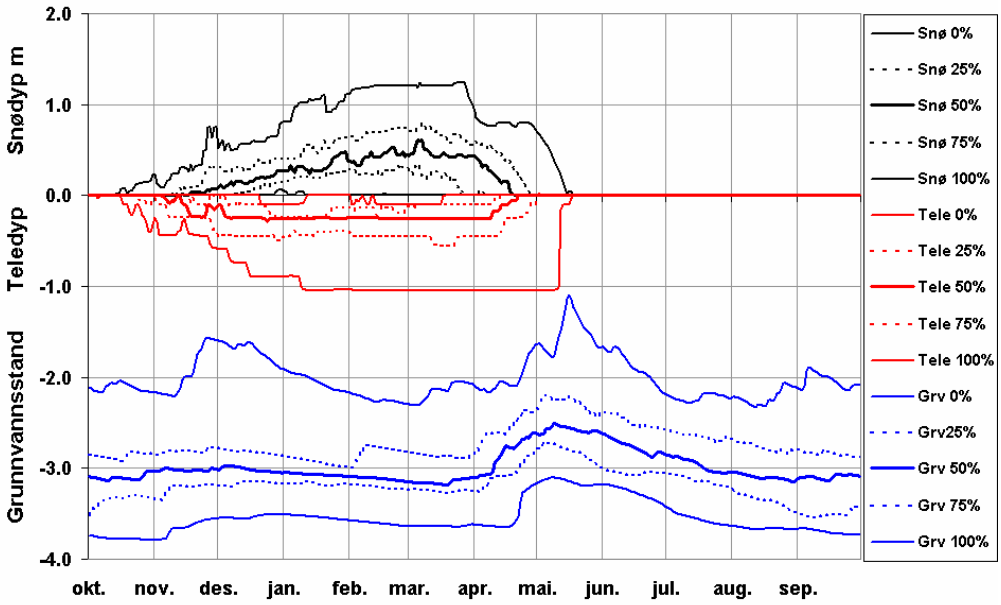
Siden det ikke foreligger klimadata for normalperioden 1961-1990, presenteres her resultater for hele perioden 01.1981-06.2007, dvs. totalt 27 år. Det er kun simuleringene for skog som er beskrevet her.



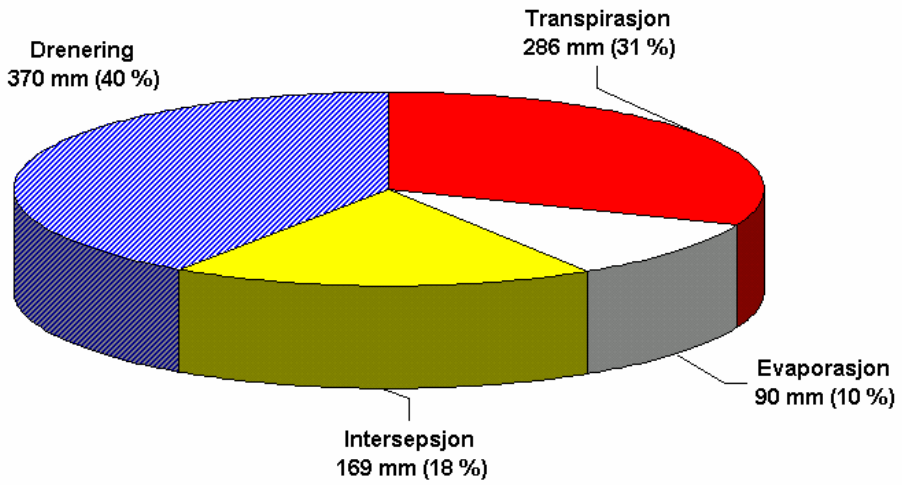
Figur 8-1: Simulert snø- og teledyp, samt grunnvannsstand i perioden 01.1980-06.2007

Figur 8-1 viser at variasjonen mellom årene både for snø- og teledyp, samt grunnvannsstand er relativt stor. I perioden er det enkelte ekstrem år som f. eks. vinteren 1995/1996 med lave snømengder og ekstremt dyp frost med følgende lavt grunnvannsstand om sommeren 1996. Det er tidligere vist at simuleringene fanget dette opp på samme måte som målingene.

Figur 8-2 viser medianverdier for snødyp, teledyp og grunnvannsstand samt andre persentiler for perioden 06.1981 til 09.2006. I gjennomsnitt legger seg snøen rundt 24. november og smelter rundt 22. april.



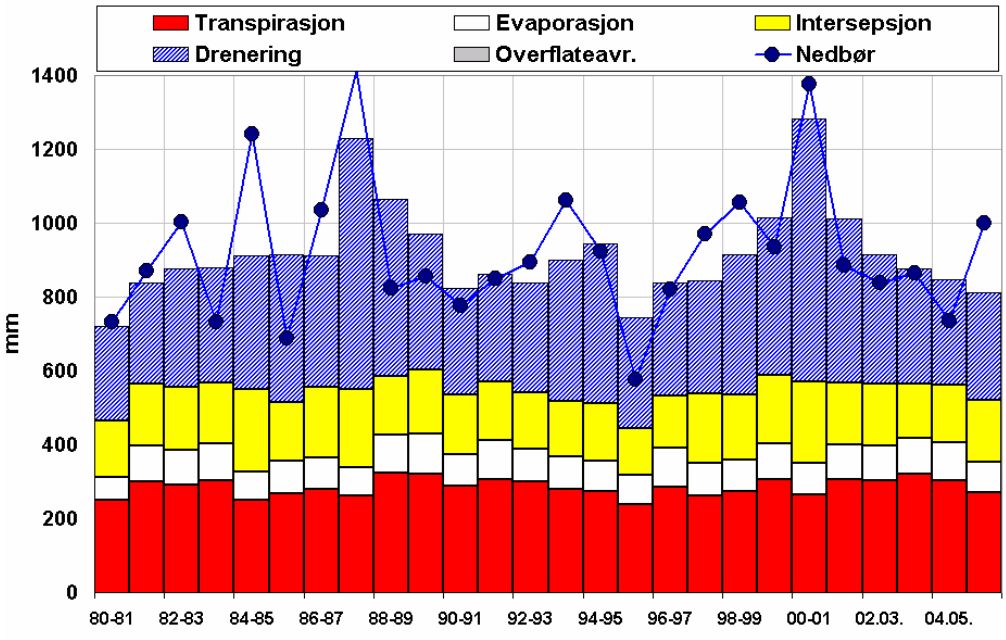
Figur 8-2: Forløp for snø- og nedre teledyp, samt grunnvannsstand i perioden 1981-2006. Kurver for persentiler 0, 25, 50, 75 og 100 % er tegnet inn.



Figur 8-3: Årlig gjennomsnittlig vannbalanse simulert i perioden 1980-2006 (26 hydrologiske år: 1/10.1980-30/9.2006, skog).

Figur 8-3 viser simulerte gjennomsnittlige årsverdier for transpirasjon, fordamping fra jordoverflaten (evaporasjon), drenering, og fordamping av vann fra intersepsjonsvann for perioden 1980-2006 (26 hydrologiske år). Simuleringene viser at ca. 40 % av årsnedbøren årlig transporteres gjennom jordprofilet til de antatte drensgrøftene, mens ca. 60 % tapes ved fordamping hvorav over halvparten ved transpirasjon.

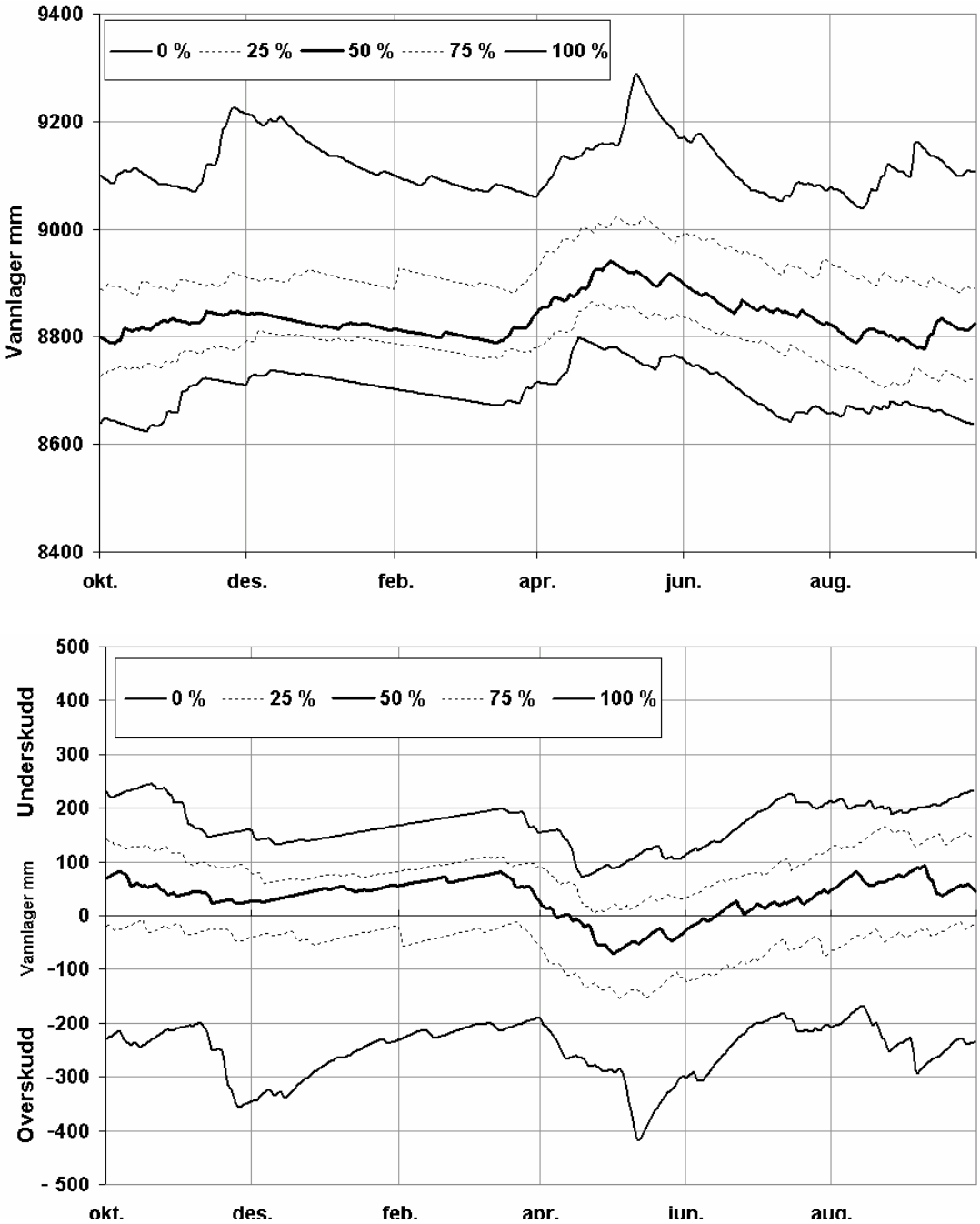
Figur 8-4 viser simulerte årsverdier for de samme vannbalansekomponentene for hvert av årene i perioden. Det minste totale vanntapet, 444 mm, er simulert for 1995-96, mens det største, 604 mm, for 1989-1990. Størst drenering, 712 mm, simuleres i 2000-2001 som er et år med ekstremt mye nedbør (justert nedbør: 1376 mm). Minst drenering, 259 mm, er simulert i 1980-81 (justert nedbør: 732 mm).



Figur 8-4: Simulert vannbalanse med skog modellen i perioden 10.1980-04.2006 (hydrologiske år).

Figur 8-5 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. Grunnvannsstandsvariasjonene på Gardermoen er påvirket av prosessene som foregår i hele nedbørfelt. Det er i tillegg større variasjon i grunnvannforhold fra år til år. Det er derfor vanskelig å estimere feltkapasitet og dermed markvannsunderskudd som den er presentert i figur 8-5 er usikkert.

Variasjonen i lagerkapasiteten er på over 660 mm. Figuren viser at den generelle trenden er markvannsunderskudd (positiv verdi for lagerkapasitet) om slutten av vinteren og om sommeren (juli-oktober) og markvannsoverskudd (negativ verdi for lagerkapasitet) etter snøsmeltingen (april-juni). Det er altså ved snøsmeltingen at det meste av grunnvannsfornyelsen og største avrenningen forekommer.



Figur 8-5: Simulert vannlager (øverst) og lagerkapasitet for vann (nederst) i perioden 1981-2006 (Persentiler er angitt). Simuleringer for skog.

9 Konklusjon

Parametrisering av COUP-modellen ble foretatt i tilknytning til måleserier fra Nordmoen markvannsstasjon og forsøksfelt Moreppen for perioden fra og med 1/6.1990 til og med 30/6.2007. De viktigste parametrene som ble endret fra ”default-verdiene” i modellen var tilknyttet vinterforholdende, drenering av jordprofilet og plantekarakteristikker.

Den parametriserte modellen ble deretter testet mot et uavhengig datasett fra Nordmoen markvannsstasjon for perioden fra og med 1/6.1981 til og med 30/6.1990. For begge perioden ble det benyttet meteorologiske data fra Gardermoen (met.no).

Simuleringene viser bra overensstemmelse med målingene av snødyp målt på Gardermoen og snøens vannekvivalent målt på Lybekkbråten både i parametriseringsperioden (R^2 = henholdsvis 0,79 og 0,86) og i verifiseringsperioden (R^2 = henholdsvis 0,81 og 0,74). Resultatet er relativt god for teledyp for begge perioder (R^2 = henholdsvis 0,68 og 0,76) med unntakelser for noen vinter hvor snødyp er dårlig simulert. Avviket er imidlertid på maksimum 20 cm. I parametriseringsperioden ble det også funnet en god sammenheng mellom simulert og målt jordtemperatur i ulike dybder både med data fra Nordmoen og Moreppen ($R^2 > 0,92$), 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 0,75 og 0,87).

Det ble valgt i dette arbeidet å bygge 2 modeller for å kunne simulere forholdene med skog (Nordmoen og Moreppen) og med grasdekke (Gardermoen flyplass). Resultatene viser at grunnvannsdannelsen simulert i skogen er ca. 80 % av den som er simulert med gressdekke pga. høyere evapotranspirasjon i skogen. I modellen med skog transporteres årlig ca. 40 % av årsnedbør gjennom jordprofilet til de antatte drensgrøftene. Ca. 60 % tapes ved fordamping hvorav over halvparten tapes ved transpirasjon. Pga. av få målinger med TDR målinger på Moreppen er det vanskelig å analysere om modellen er riktig parametrisert mht. plantenes vekst.

Simuleringsresultatene for parametriserings- og verifiseringsperioden viser såpass bra overensstemmelse med måledata at det brukte parametersett for COUP-modellen antas å være et tilfredsstillende verktøy for å simulere markvannstilstand på Nordmoen markvannsstasjon. Sammenligninger som er utført mot målinger på Moreppen, indikerer at med bruk av aktuelle jorddata fra stedet, små endringer i dreneringsparametre og plantevekst vil parametersettet også kunne brukes for Moreppen ev. andre steder i Gardermo-området.

Det er foretatt simuleringer for perioden 1980-2007 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 01.1980 til 06.2007. Det er utarbeidet statistikk som beskriver både normaltilstand og variasjonsbredde bl.a. grunnvannsnivå, jordas lagerkapasitet for vann, fordampning, jordtemperatur, snø og teledybde over en periode på 26 hydrologiske år.

Referanser

AAgaard P. and Tuttle K.J., 1996. Proceeding to the Jens-Olaf Englund Seminar, Protection of groundwater resources against contaminants, 16-18 September, Gardermoen, Oslo University. 460 pp.

Abrahamsen G., Bjor K. and Teigen O., 1976. Field experiments with simulated acid rain in forest ecosystems. I. Soil and vegetation characteristics, experimental design and equipment. SNSF-project, FR 4/76, 15 pp.

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.

Bjor K. and Huse M., 1988. Grunnvannsvariasjoner og jordtemperatur ved Nordmoen feltstasjon. Notat Norsk Institutt for skogforskning.

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

Canadell J., R.B. Jackson, J.R. Ehleringer, H.A. Mooney, O.E. Sala and E.D. Schulze, 1996. Maximum rooting depth of vegetation types at the globale scale. Oecologia (1996) 108:583-595.

Colleuille L.E. Haugen, H-C. Udnæs og K. Møen, 2001. Infiltrasjonsprosesser i frossen jord på Gardermoen. Analyse av markvann-, grunnvann-, tele- og snøobservasjoner. NVEs oppdragsrapport 8-2001, 72 s.

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., 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.

Colleuille H., Haugen L.E. og Øverlie T., 2007. Vann i jord. Simulering av vann- og energibalansen på Groset markvannsstasjon, Telemark. NVE Rapport 19-2007.

French H.K., Afnes E., Søvik A., Swensen B., Pedersen T.S., Gillebo E., Kitterød N-O., Wong W.K., Skøien J.O., 2001. Felteksperimenter på Gardermoen – hva har vi

lært? In Kitterød N-O., 2001. Spredning av forurensning i grunnen. En populærvitenskapelig oppsummering av Gardermoenprosjektet.

Grell A., A. Lundberg, A. Lindroth, A.S. Morén and E. cienciala, 1997. Evaporation components of a boreal forest: variations during the growing season. Journal of Hydrology 197 (1997) 70-87.

Grell A., A. Lindroth and M. Mölder, 1999. Seasonal variation of boreal forest surface conductance and evaporation. Agricultural and Forest Meteorology 98-99 (1999) 563-578.

Holm T., 1998. The funnelling effect of an inclined layer on unsaturated flow (cand, scient. Oppgave UiO).

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)

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.

Kitterød N-O., 1997. Stochastic estimation and simulation of heterogeneities important for transport of contaminants in unsaturated zone. Dr. Scient avhandling, UiO.

Kitterød N-O., 2001. Spredning av forurensning i grunnen. En populærvitenskapelig oppsummering av Gardermoenprosjektet.

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

Pedersen T.S., 1994. Væsketransport i umettet sone. Stratigrafisk beskrivelse av toppsedimentene på forskningsfeltet, Moreppen og bestemmelse av tilhørende hydrauliske parametre. Del I og del II. Cand. Scient. oppgave i geologi, UiO.

Pedersen T.S., Gillebo E., Alfnes E., Søvik A., Aagaard P., 2000. Lysimeter II Moreppen. Beskrivelse av felt og installasjoner. Oppdragsrapport 3, NVE.

SINTEF i OSLs rapport, 2000. Grunnvannsmodell for Oslo lufthavn AS. Modelldokumentasjon. OSLs rapport 20, mars 2000.

Stuarnes A. og Sveidstrup T.E., 1979. Field experiments with simulated acid rain in forest ecosystems. 2. Description and classification of the soils used in field, lysimeters and laboratory experiments. SNSF-project, FR 15/79, 35 pp.

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.

Tuttle K.J., 1997. Sedimentological and hydrogeological characterisation of a raised ice-contact delta. The preboreal delta-complex at Gardermoen, Southeastern Norway. Doctor Scientarium. Dept. of Geology. UiO

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.

Wong W. og Colleuille H., 2005. Elv og grunnvann. Estimering av grunnvannsbidrag til det totale avløpet ved hydrogramseparering. Rapport Miljøbasert vannføring 5-2005.

Vedlegg 1 Parametersetting

Parametersetting for skog (Sim 563) og gras (Sim 575)

Was run (October 10, 2007. 22:10:10) as Simulation # 563 with Version 2.42, 21 Septe
Started from 1980-01-01 00:00 to 2007-07-01 00:00
Stored output data every 1440 minutes and used a minimum of 256 iterations per day
Model Nordmoen HEC

Data base selections

Soil	300:13 Nordmoen hec	66.3	/10.8	A N

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
	RadGlobInput	Estimated
	TempAirCycle	Annual
	TempAirInput	Read from PG-file
	VapourAirInput	As relative humidity
Numerical	NumMethod	Central Difference
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	DensityOfNewSnow	120	Kg/m3	
	SnowDepthInitial	0.7	m	
	SnowMassInitial	100	mm	
	WaterCapacityPerLAI	0.2	mm/m2	(575)
Interception	WaterCapacityPerLAI	0.33	mm/m2	
	CondMax	0.03	m/s	(575)
Potential Transpiration	CondMax	0.0125	m/s	
	AlbedoLeaf	25	%	(575)

Plant	AlbedoLeaf	8	%	
Soil heat flows	SoilInitTempConst	3	øC	
	DrainLevel	-6.4	m	(575)
Drainage and deep percolati	DrainLevel	-6	m	
	DrainSpacing	1.000e+4	m	
Water uptake	NonDemandRelCoef	0	Kg/m2day	
	InitialGroundWater	-3.6	m	(575)
Soil water flows	InitialGroundWater	-3.5	m	
	InitialPressuredHead	600	cm water	

Parameters Tables

Plant ***Above ground characteristics with time*** ***1 elements***

	LeafAreaIndex		
DayNumber		CForm	
1	4	1	(563)
1	0	1	(575)

Plant ***Root depths development with time*** ***1 elements***

	pRoot Depth	
pDay Number		
1	-1	(563)
120	-0.1	(575)

Soil Profile ***Compartment Sizes*** ***20 elements***

Thickness Laye(1-20)							
0.1	0.1	0.2	0.1	0.2	0.1	0.2	0.1
0.2	0.2	0.2	0.3	0.5	0.5	1	1
2	5	5	5		(563)		

Soil Hydraulic ***Brooks-Corey, water retention, measured h 2 elements***

	Lower Depth		Air Entry		Wilting Point		Macro Pore	
Upper Depth		Lambda		Saturation		Residual Water		Upper Boundary
0	2	0.62005	24.9217	44	6.5	6.25545	4	8.000e+3
2	10	0.761614	23.5667	43	6.5	4.79703	4	8.000e+3

Soil Hydraulic ***Hydraulic conductivity, measured horizons 2 elements***

	Lower Depth		Total Conductivity		Macro Pore	
Upper Depth		Matrix Conductivity		n Tortuosity		
0	2	4.000e+3	4.000e+4	1	4	(563)
2	10	150	1.500e+3	1	4	(563)

Model Input Files

Meteorological Data	Meteorological data	C:\HEC\COUPDATA\NORDMOEN\AKLIM.BIN
Validation	Validation File	C:\HEC\COUPDATA\NORDMOEN\AOBS2.BIN

Vedlegg 2 Vannbalanse for gras og skog

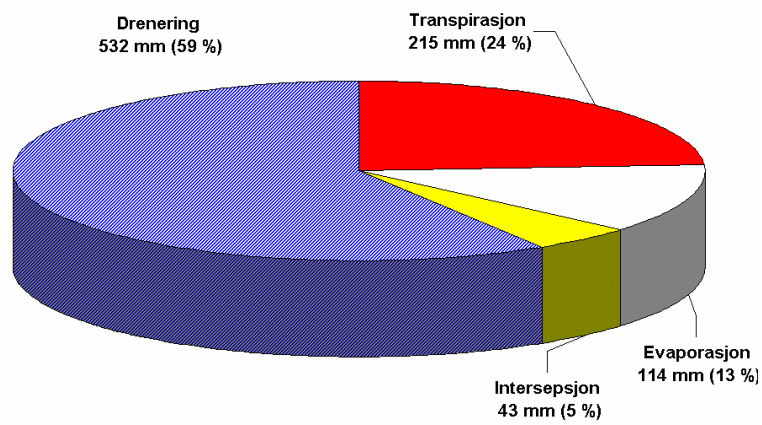
Hydrologisk år: 1/10-31/09 Ny modell for skog (Sim 563)

	Evaporasjon	Transp.	Evapotransp.	Drenering	Intersep.
80-81	62.30	250.74	463.54	257.04	150.50
81-82	94.88	301.27	564.09	273.23	167.94
82-83	94.11	291.66	554.56	322.97	168.79
83-84	99.59	303.16	567.01	313.33	164.26
84-85	76.60	250.57	551.29	361.45	224.12
85-86	87.19	268.53	515.52	400.32	159.80
86-87	87.06	278.37	557.00	355.09	191.57
87-88	77.65	261.35	548.78	681.02	209.78
88-89	103.37	323.06	585.84	479.77	159.42
89-90	108.42	320.70	604.18	365.85	175.06
90-91	85.68	288.98	534.37	288.49	159.71
91-92	106.38	306.49	570.83	290.26	157.96
92-93	88.83	299.69	540.31	297.72	151.79
93-94	85.47	280.85	518.67	381.74	152.34
94-95	82.20	272.56	513.01	432.37	158.25
95-96	78.31	238.18	444.70	298.16	128.20
96-97	105.69	285.42	531.16	308.15	140.06
97-98	88.09	261.49	539.26	304.04	189.68
98-99	86.34	272.58	536.30	379.85	177.38
99-00	95.80	306.18	587.17	428.98	185.19
00-01	84.57	264.97	569.83	711.71	220.29
01.02.	93.91	306.08	567.86	445.23	167.87
02.03.	94.92	303.53	563.55	352.11	165.10
03.04.	97.76	320.05	565.85	310.37	148.04
04.05.	101.23	304.29	560.52	286.91	155.00
05.06.	81.69	270.15	518.50	293.32	167.75
Gjen 80-06	**90.3**	**285.8**	**545.1**	**370.0**	**169.1**
Gjen 90-06	**91.1**	**286.3**	**541.4**	**363.1**	**164.0**

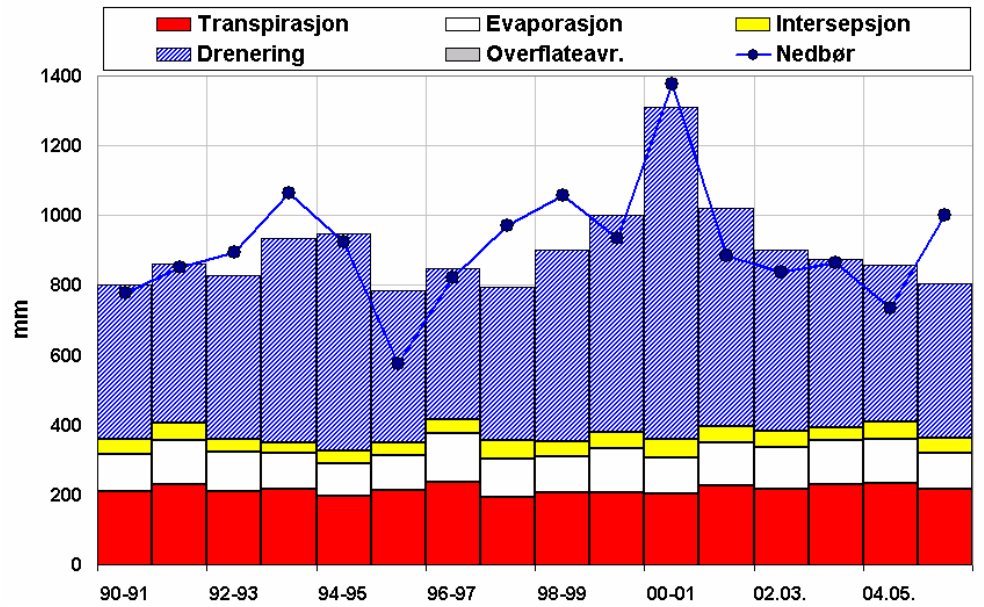
Hydrologisk år: 1/10-31/09 Ny modell for gras (Sim 574)

	Evaporasjon	Transp.	Evapotransp.	Drenering	Intersep.
80-81	67.13	287.48	406.71	320.77	52.09
81-82	91.03	333.81	472.32	344.97	47.48
82-83	81.84	360.56	497.30	408.82	54.90
83-84	92.13	346.64	495.77	377.10	57.00
84-85	69.19	277.09	422.74	450.73	76.81
85-86	76.51	327.08	456.69	497.14	52.75
86-87	78.63	292.44	445.19	442.47	74.12
87-88	65.39	298.19	430.49	803.91	66.92
88-89	109.13	338.64	497.43	595.52	49.67
89-90	109.13	362.25	526.12	442.91	54.91
90-91	80.69	320.39	454.27	344.43	53.19
91-92	97.34	328.33	483.49	362.89	57.65
92-93	83.94	332.02	462.87	378.88	46.91
93-94	74.55	346.96	461.96	479.27	40.45
94-95	77.74	291.50	408.30	522.82	39.07
95-96	76.72	296.64	418.98	351.35	45.94
96-97	107.85	347.03	511.90	351.68	57.02
97-98	80.29	299.99	446.33	350.92	66.06
98-99	90.13	305.04	444.86	459.00	49.69
99-00	95.67	331.59	490.08	524.51	62.82
00-01	78.03	321.08	467.42	841.52	68.31
01.02.	93.98	355.88	508.42	518.11	58.57
02.03.	95.70	332.62	482.47	423.85	54.15
03.04.	89.91	360.34	500.79	379.24	50.55
04.05.	98.46	339.45	496.18	353.23	58.27
05.06.	72.05	336.93	461.72	348.30	53.18
Gjen 80-06	**85.9**	**325.8**	**467.3**	**449.0**	**55.7**
Gjen 90-06	**87.1**	**327.9**	**468.8**	**436.9**	**53.9**

Vedlegg 3 Vannbalanse for plen (kortklipt gras)



Årlig gjennomsnittlig vannbalanse simulert i parametriseringsperioden (16 hydrologiske år: 1/10.1990-30/09.2006) med plen (kortklipt gras).



Vannbalanse simulert i parametriseringsperioden (16 hydrologiske år: 1/10.1990-30/09.2006) med plen.

Hydrologisk år: 1/10-31/09 Modell for plen (kortklipt gras) (Sim 471)

	Evaporasjon	Transp.	Evapotransp.	Drenering	Intersep.
80-81	86.75	200.95	331.02	475.25	43.32
81-82	114.98	228.15	382.15	458.44	39.03
82-83	113.33	223.96	380.63	512.20	43.34
83-84	120.61	224.08	391.85	485.51	47.16
84-85	91.27	181.13	331.31	577.11	59.14
85-86	102.45	207.21	350.97	591.69	41.08
86-87	106.50	184.22	348.98	540.19	58.27
87-88	91.46	190.08	332.42	928.53	50.88
88-89	135.48	220.80	397.87	673.71	41.59
89-90	140.73	227.81	415.37	537.97	47.00
90-91	107.84	208.27	358.87	442.66	42.70
91-92	127.73	228.70	405.16	457.53	48.61
92-93	113.16	208.52	359.67	467.97	37.98
93-94	102.84	216.27	350.73	584.19	31.62
94-95	92.64	197.75	324.73	621.80	34.34
95-96	98.27	213.93	349.02	436.58	37.03
96-97	136.88	237.24	415.85	433.58	41.73
97-98	107.85	194.35	355.14	439.93	52.94
98-99	104.25	206.30	353.36	546.74	42.81
99-00	124.28	206.67	380.17	621.37	49.22
00-01	105.11	201.79	359.73	951.49	52.84
01.02.	125.86	224.90	395.62	623.81	44.86
02.03.	119.49	217.33	382.32	519.51	45.51
03.04.	124.13	230.62	393.95	481.29	39.20
04.05.	128.89	231.55	408.68	448.21	48.24
05.06.	103.19	215.39	360.68	445.18	42.36
Gjen 80-06	**112.5**	**212.6**	**369.9**	**550.1**	**44.7**
Gjen 90-06	**113.9**	**215.0**	**372.1**	**532.6**	**43.2**

Vedlegg 4 Effekt av noen plantekarakteristikker på fordamping

Periode 1.01.1980 til 31.12.1982

mm/3år	541	542	543	544	545	546	547	548	548	548
Evaporasjon	219	214	222	219	246	251	239	79.6	252	252
Drenering	738	667	1015	738	703	898	1122	374	1014	1014
Transpirasjon	1325	1312	813	1324	1360	835	807	269	965	966
Intersepsjon	325	487	325	325	325	488	168	56	163	163

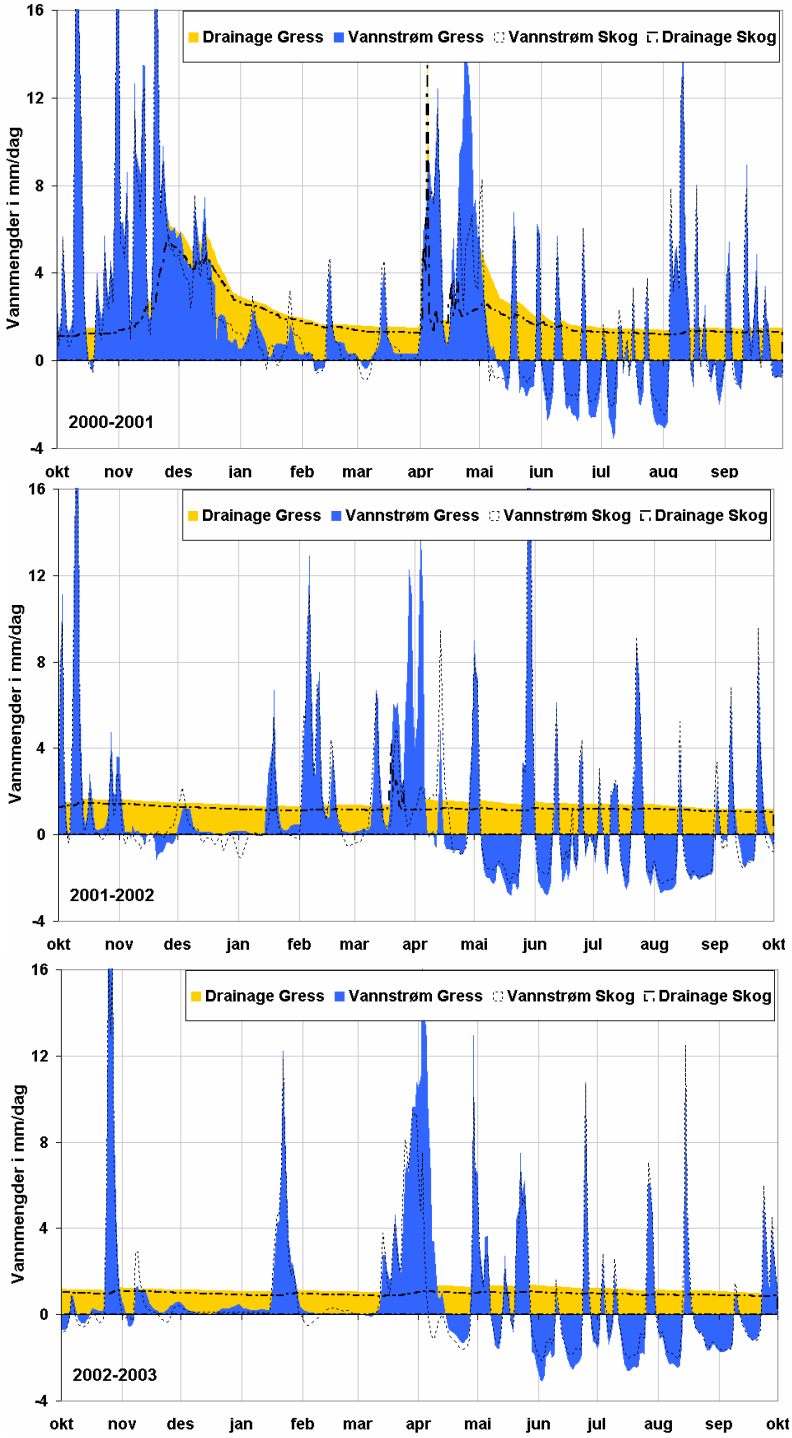
mm/år	541	542	543	544	545	546	547	548	549	550
Evaporasjon	73.0	71.3	74.0	73.0	82.0	83.7	79.7	26.5	84.0	84.0
Drenering	246.0	222.3	338.3	246.0	234.3	299.3	374.0	124.7	338.0	338.0
Transpirasjon	441.7	437.3	271.0	441.3	453.3	278.3	269.0	89.7	321.7	322.0
Intersepsjon	108.3	162.3	108.3	108.3	108.3	162.7	56.0	18.7	54.3	54.3
Sum	869.0	893.3	791.7	868.7	878.0	824.0	778.7	259.5	798.0	798.3

%	541	542	543	544	545	546	547	548	549	550
Evaporasjon	8.4	8.0	9.3	8.4	9.3	10.2	10.2	10.2	10.5	10.5
Drenering	28.3	24.9	42.7	28.3	26.7	36.3	48.0	48.0	42.4	42.3
Transpirasjon	50.8	49.0	34.2	50.8	51.6	33.8	34.5	34.5	40.3	40.3
Intersepsjon	12.5	18.2	13.7	12.5	12.3	19.7	7.2	7.2	6.8	6.8
Sum	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

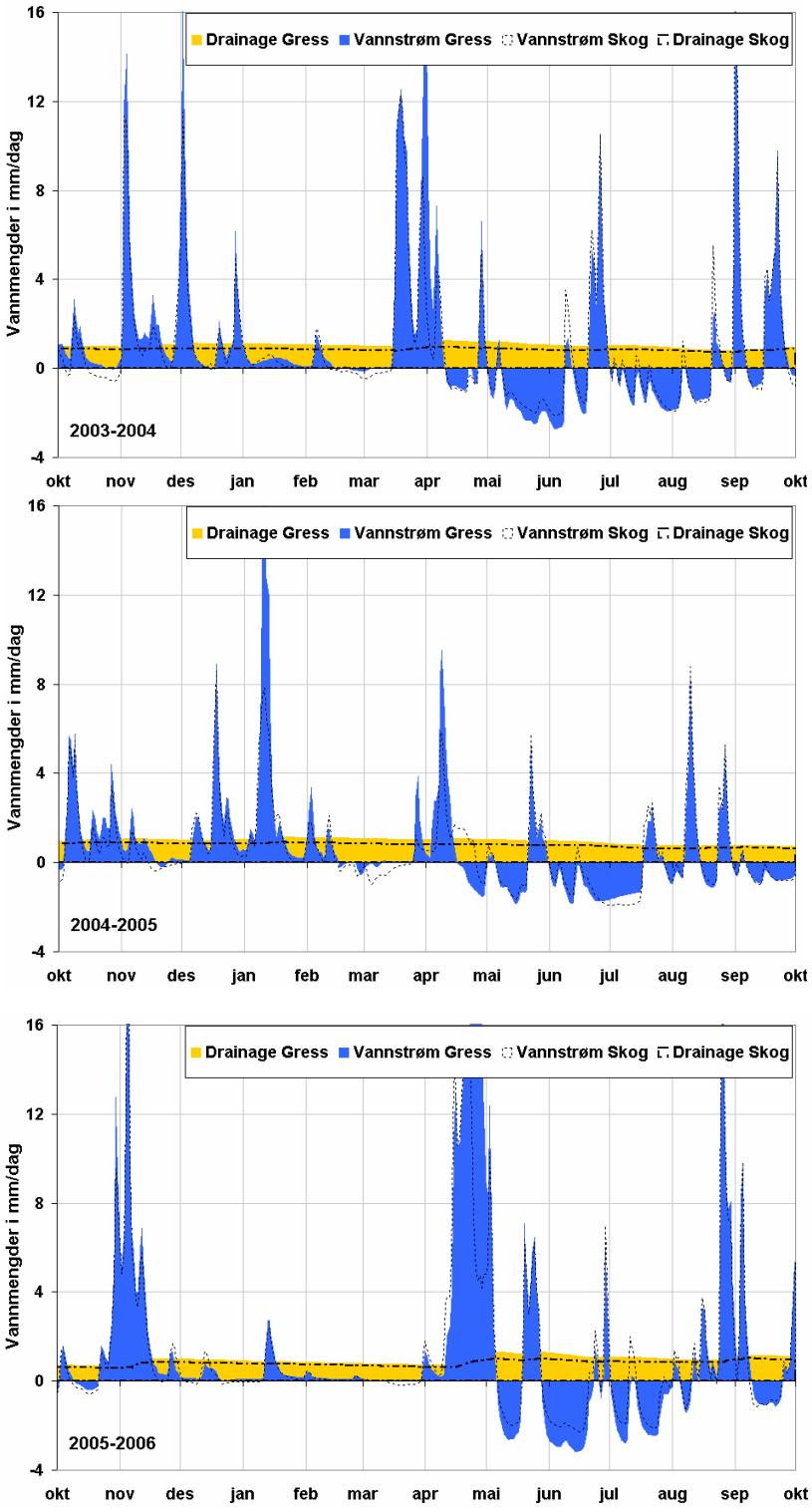
Simuleringer nR
541: Opprinnelig modell for skog (høy transpirasjon) med standard parameter
542: WaterCapacity Per LAI = 0,33 i stedet 0,2
543: CondMax = 0,0125 i stedet0,02
544: CritThresholdDry i WaterUptake = 400 i stedet 4000
545: Albedo = 8 i stedet 25
546: WaterCapacity =0,33; CondMax=0,0125; CriThresholdDry=400; Albedo=8
547: Parameter for gras (LAI, Proot, Høyde)
548: Samme med bin fil med variasjon hvert år
549: CondMax= 0,03 i stedet 0,2
550: CritThresholdDry i WaterUptake = 1000 i stedet 400

Det er endringer av kun en parameter pr. gang i forhold til standard parametrisering unntatt for 546. Sim_546 representerer modellen for skog, mens sim_549(og 550) modellen for gras. Sim_541 er opprinnelig modell for skog.

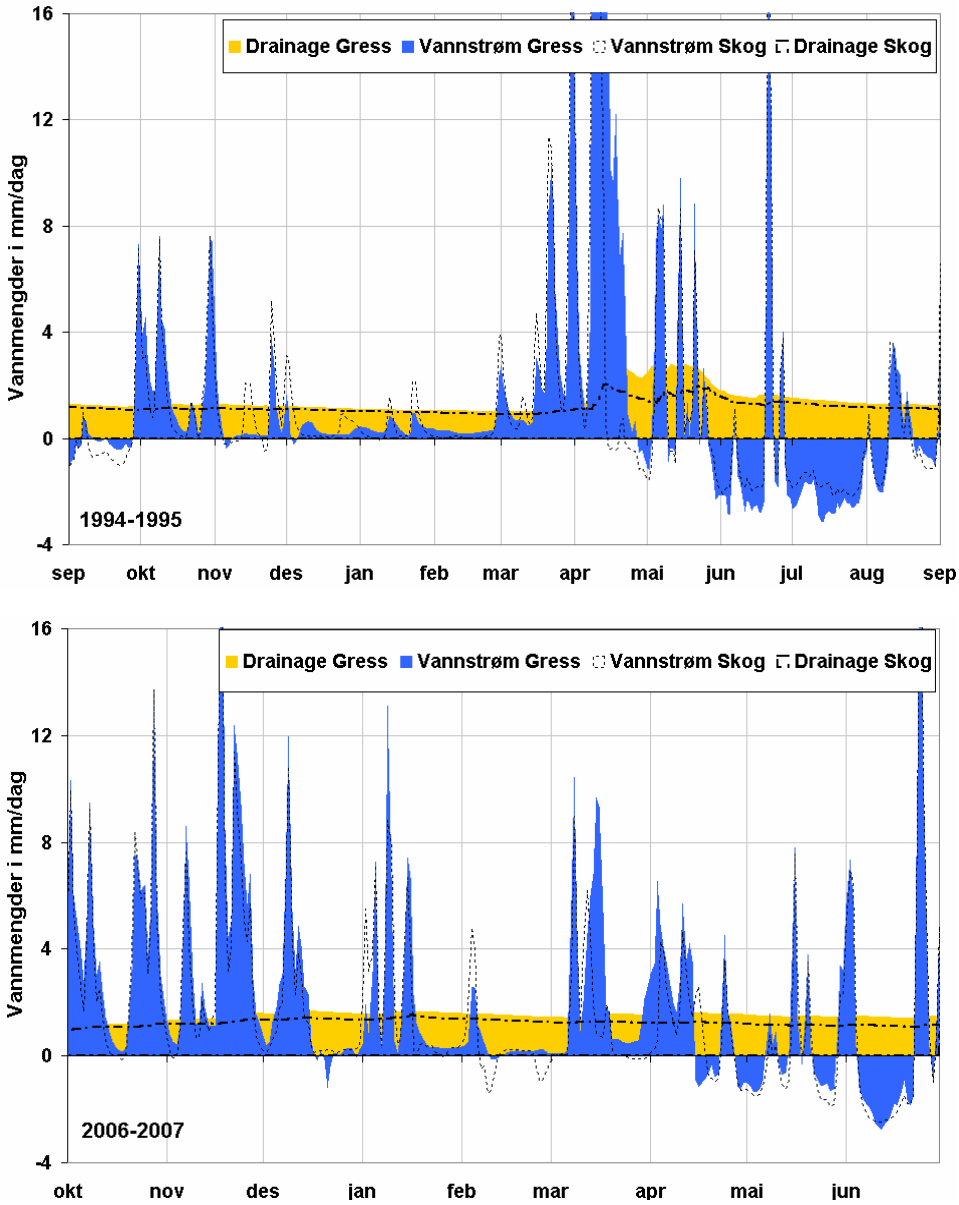
Vedlegg 5 Vannstrøm og drenering



Daglig vannstrømning innom lag på 130 cm dyp og total drenering ut fra jordprofilet for perioden 2000-2003.



Daglig vannstrømning innom lag på 130 cm dyp og total drenering ut fra jordprofilet for perioden 2003-2006.



Daglig vannstrømning innom lag på 130 cm dyp og total drenering ut fra jordprofilet for perioden 1994-1995 og 2006-2007.

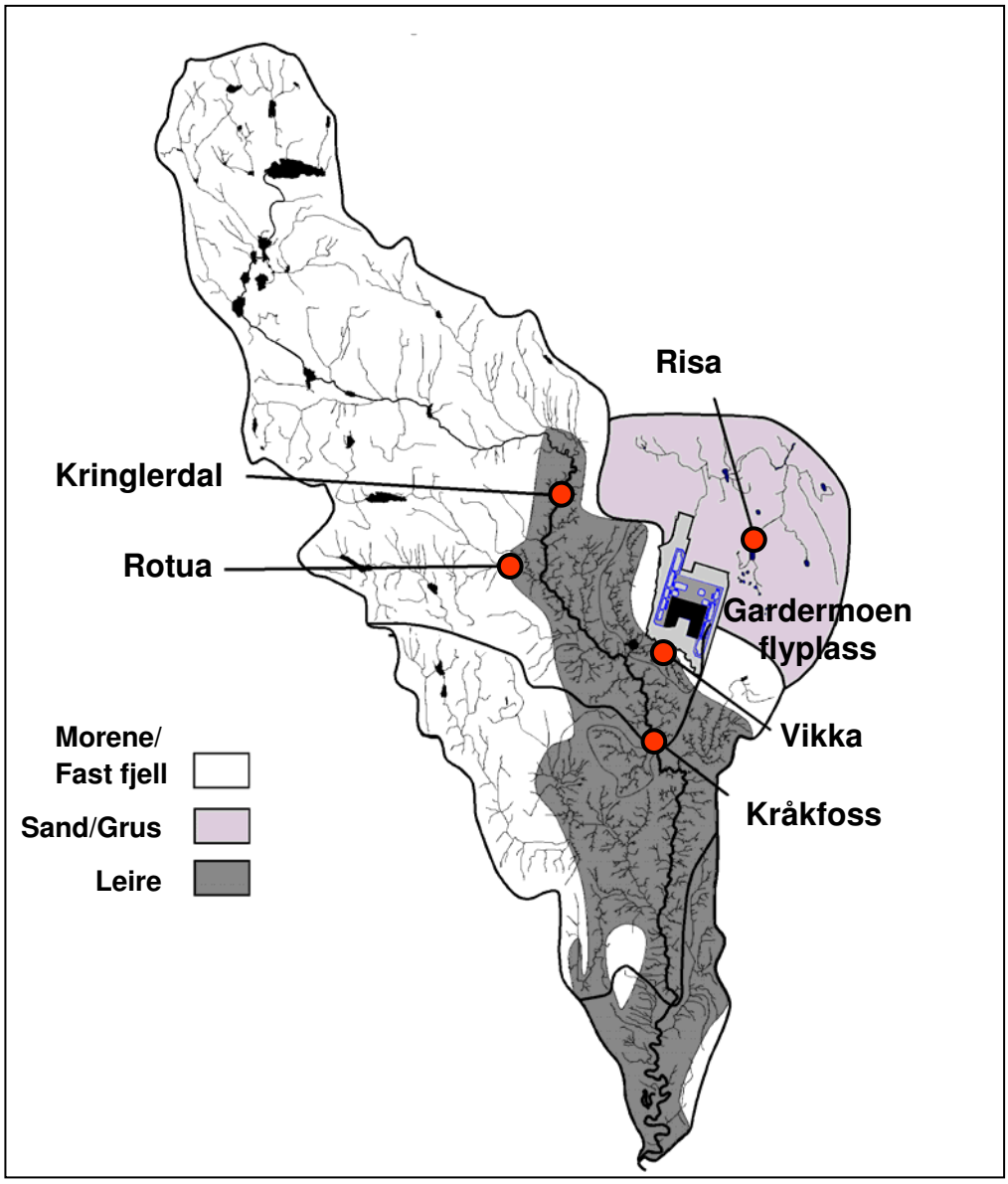
Vedlegg 6 Estimering av grunnvannsdannelse med BFI for Gardermoen (Wong og Colleuille, 2005)

Ut fra en vannbalansebetrakning og på årlig basis (hydrologisk år), hvis vi antar at det verken er oppmagasinering eller nedtapping av grunnvann fra grunnvannsmagasiner, er grunnvannsdannelsen omtrent lik grunnvannsbidraget (basisstrømning) i det totale avløpet. Metoden for å estimere grunnvannsbidraget er beskrevet i Wong og Colleuille (2005). Med grunnvann menes her grunnvann med lang oppholdstid, dvs. stabil temperatur og kjemiske karakteristika.

Oversikt over estimerte grunnvannsdannelse samt årsmiddel nedbør for utvalgte stasjoner ved Gardermoen.

	Kråkfoss	**Kringlerdal**	**Rotua**	**Vikka**	**Risa**
	1983-2003	**1983-2003**	**1982-2002**	**1992-2004**	**1992-2001**
Grunnvannsdannelse	287	301	272	**523**	**376**
Nedbør (mm/år)	1007	1065	998	**847**	**839**
Areal km^2	433	265	56	**4,6**	**54,4**

Ulike små vassdrag ved Gardermoen ble analysert for å teste metodens evne til å skille mellom vassdrag med ulik geologisk sammensetning. På Øvre Romerike har vi landets største selvmatende grunnvannsforekomst. Det vil si at all tilførsel av vann kommer fra nedbør, og det aktuelle grunnvannsmagasinet er en ca. 100 km^2 stor sand- og grus-avsetning. Risa med sitt tilsigsfelt ligger på denne grunnvannsforekomsten (Figur) og løsmassene består hovedsakelig av sand. Tilsigsfeltet til Kråkfoss, Kringlerdal og Rotua er derimot dominert av både morene og leire mens Vikka ligger i et område hvor størsteparten av løsmassene er i leire og sand (Bogen & Sandersen, 1991).



Løsmassesammensetning i Romerike (Modifisert av Halfdan Benjaminsen etter Bogen & Sandersen (1991)).

Tidligere undersøkelser viser at Risa er fullstendig matet med grunnvann fra Gardermoen-akviferen, og dette estimeres riktig av metoden. Godt og vel over 95 % estimert grunnvannsbidrag gjennom hele året. Vikka har også en veldig stabil, høy grunnvannsandel over hele året. Her har over 80 % av vannføringen sin opprinnelse fra Gardermoen-akviferen. Selv om det er kort avstand mellom stasjonene, oppfører de tre øvrige, Kringlerdal, Kråkfoss og Rotua, seg veldig annerledes i forhold til de ovennevnte. Grunnvannsbidraget varierer ganske mye i løpet av et år. Grunnvannsandelen når sin topp om vinteren (70~80 %) og kurvene er ganske spiss også i forhold til de nordlige stasjonene i Glommavassdraget. Om våren og høsten er grunnvannsbidraget på sitt laveste, ca. 30 %. Forklaringen er at de tre stasjonene ligger på den andre siden av Gardermoen-akviferen og dermed får sin grunnvannstilførsel fra et annet magasin bestående av morene og leire som har liten magasineringskapasitet.

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.)

Nr 20 Hervé Colleuille, Lars Egil Haugen: Vann i jord. Simulering av vann- og energibalansen på Gardermoen, Akershus (81 s.)