Vann i jord

Simulering av vann- og energibalansen på Værnes markvannsstasjon, Nord-Trøndelag

Trude Øverlie
Hervé Colleuille
Lars Egil Haugen

15
2006

RAPPORT

Vann i jord

Simulering av vann- og energibalansen på Værnes markvannsstasjon, Nord-Trøndelag

Norges vassdrags- og energidirektorat
2007

Rapport nr 15 - 2006

Vann i jord

Simulering av vann- og energibalansen på Værnes markvannsstasjon, Nord-Trøndelag

Utgitt av: Norges vassdrags- og energidirektorat

Forfatter: Trude Øverlie, Hervé Colleuille og Lars Egil Haugen

Trykk: NVEs hustrykkeri
Opplag: 40
Forsidefoto: Fra venstre til høyere (ovenfra): Gandhals telemåler med snøskala (Ås). Jordprofil på Karasjok. Markvannsstasjon Værnes. Klima- og markvannsstasjon Kise. Tensiometer. Stasjon Skurdevikåi med snøpute. Infiltrasjonsmålinger på Groset. Overløp ved Groset-tjern (Foto Hervé Colleuille)
ISBN: 82-410-615-2

Sammendrag: Markvannsmodellen COUP er parametrisert og verifisert for markvannsstasjonen på Værnes. Fra simuleringer av vann- og energibalanse for normalperioden 1961-1990 er det utarbeidet normaler og ekstremer av bl.a. grunnvannsstand, markvannsunderskudd, snø- og teleforhold. Resultatet skal i tillegg til å være et nyttig verktøy i forhold til analyse og prognose av hydrologiske situasjoner, gjennom EACC-prosjektet benyttes til å undersøke effekten av klimaendringer på fysiske forhold i jorda.

Emneord: Grunnvann, markvann, snø, tele, jordtemperatur, fordamping, markvannsmodell, COUP

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

Desember 2006

Innhold

Forord **4**

Sammendrag **5**

1 Innledning **6**

2 Stasjonsbeskrivelse **8**

3 Klima **11**

4 Jord **14**

4.1 Kornfordeling 14
4.2 Jordas hydrauliske egenskaper 16

5 Metode **20**

5.1 Målinger ved Værnes markvannsstasjon 20
5.2 COUP-modellen 22

6 Parametrisering **24**

6.1 Vinterforhold 24
6.1.1 Snødybde 25
6.1.2 Teledybde 33
6.2 Jordtemperatur 36
6.3 Vannbalanse 40
6.3.1 Vannopptak og matrikspotensial 41
6.3.2 Drenering og grunnvannnsstand 48

7 Verifisering av modellen **54**

7.1 Snødybde 55
7.2 Teledybde 57
7.3 Grunnvannsstand 59

8 Normalverdier **61**

8.1 Vinterforhold 61
8.2 Jordtemperatur 64
8.3 Vannbalanse 65

9 Konklusjon **70**

Referanser **72**

Vedlegg **74**

Forord

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

Den fysisk-baserte modellen COUP er benyttet for simulering av vann- og energibalanse i den umettede sonen i jorda. COUP-modellen er valgt fordi denne har er rutine for vinterhalvåret som muliggjør simulering av tele. Dette er nødvendig siden teleforholdene i jorda i stor grad styrer infiltrasjon av regn og smeltevann. Parametriseringen baserer seg på NVEs målinger i tilknytting til det nasjonale overvåkingsnettet for grunnvann og markvann. NVE disponerer pr. i dag parametersett for COUP-modeller for Ås (Akershus) og Groset (Telemark). Resultater av simuleringene med disse modellene er presentert i flere publikasjoner (Haugen et al., 2004; Haugen og Colleuille, 2004; Beldring et al., 2005; Colleuille, 2006; Øverlie, 2006; Colleuille et al. 2006).

Denne rapporten er den første av en serie som har til hensikt å dokumentere parametrisering og verifisering av COUP-modeller for ulike klima-, jord- og vegetasjonsforhold. Normalverdier for bl.a. snødybde, teledybde, fordamping, markvannsunderskudd og grunnvannsdannelse for perioden 1961-1990 er utarbeidet.

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

Oppbygging av modeller forutsetter pålitelige og gode observasjoner, og vi retter derfor en takk til alle som har bidratt indirekte i dette arbeidet med feltobservasjoner, drift av stasjonsnett, innlegging og kontroll av måledata.

Oslo, desember 2006

Morten Johnsrud
avdelingsdirektør

Sverre Husebye
seksjonssjef

Sammendrag

Denne rapporten om simuleringer av vann og energibalanse i jord ved NVEs markvannsstasjon på Værnes i Nord Trøndelag, er den første av en serie som har til hensikt å dokumentere parametrisering og verifisering av COUP-modeller for ulike klima-, jord- og vegetasjonsforhold. Arbeidet er i tilknytting til NFRs klimaprosjekt EACC "Ecology and economy of agriculture in a changing climate". Gjennom parametrisering av modeller representative for ulike områder, utvikles et verktøy for analyse og prognose av mark- og grunnvannstilstand. COUP-modellen for Værnes markvannsstasjon vil gjennom EACC prosjektet (UMB) bli anvendt til simulering av markvannsforholdene ved fremtidige klimascenarier for å analysere eventuelle effekter av klimaendringer på fysiske prosesser i jorda. Normalverdier er utarbeidet på grunnlag av simuleringer for perioden 1961-1990.

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. Snødekke er avgjørende for jordoverflatens temperatur og teledybden i jorda om vinteren. Telen spiller en viktig rolle for infiltrasjon av snøsmelting og regn og dermed grunnvannsfornyelse og fuktighetsforhold i jorda.

Markvannsstasjonen ble opprettet i 1992 og det er utført målinger av snø, tele, jordtemperatur, grunnvannsstand og matrikspotensial med tensiometer og motstandsblokker. Det er benyttet klimadata fra den meteorologiske stasjonen på Værnes ved simuleringene. Sammenligning av snømålinger fra den meteorologiske stasjonen med målinger fra markvannsstasjonen viser store forskjeller. Stasjonene er vindutsatt, noe som vil påvirke snømålingene. Vinterforholdene på Værnes er preget av ustabile vintre, noe som vanskeliggjør modellsimuleringene. Det har likevel lykkes å oppnå brukbar sammenheng mellom målt og simulert snø og teledybde i periodene benyttet til parametrisering (2000-2005) og verifisering (1992-1999). Simuleringene av jordtemperatur stemmer godt overens med målingene fra markvannstasjonen.

Grunnvannsstanden ved markvannsstasjonen ligger på mellom -5.5 og 7.5 meter dybde. Det ble oppnådd en rimelig god overensstemmelse mellom simuleringer og målinger, men i enkelte perioder er det avvik. De største avvikene forekommer i perioder med klare forskjeller mellom simulert og målt teledybde eller ved høy vannføring i Stjørdalselva.

Totalt i dette arbeidet er det utført simuleringer av markvanns- og grunnvannssituasjonen for perioden 1961-2005 (parametriseringsperiode 2000-2005 , verifiseringsperiode 1992-1999 og normalperiode 1961-1990). Det er utarbeidet statistikk som beskriver både normaler og ekstremer i for blant annet grunnvannsnivå, jordas lagerkapasitet for vann, vannbalanse, jordtemperatur, snø og teledybde. Dette er et viktig grunnlag for å gjøre vurderinger i forbindelse med ekstreme hydrologiske situasjoner som tørke, flom og kraftforsyning. Normalverdier og variasjonsbredde for ulike variabler som beskriver jordas mark- og grunnvannstilstand vil bli brukt som grunnlag for vurdering av effekter av et endret klima.

1 Innledning

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

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

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

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

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

markvannsunderskuddet kan være kraftig underestimert i fjellområdet om vinteren (Beldring et al., 2005; Colleuille et al., 2006).

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

Denne rapporten er den første 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 Værnes med beliggenheten, jordtype, målinger og klimaforhold. Deretter følger en beskrivelse av parametersettet som er valgt for Værnes-modellen. Modellen er kalibrert for perioden 2000-2005 med data innsamlet fra markvannsstasjon Værnes. 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 1992-1999. Til slutt presenteres normalverdier og ekstremverdier for perioden 1961-1990.

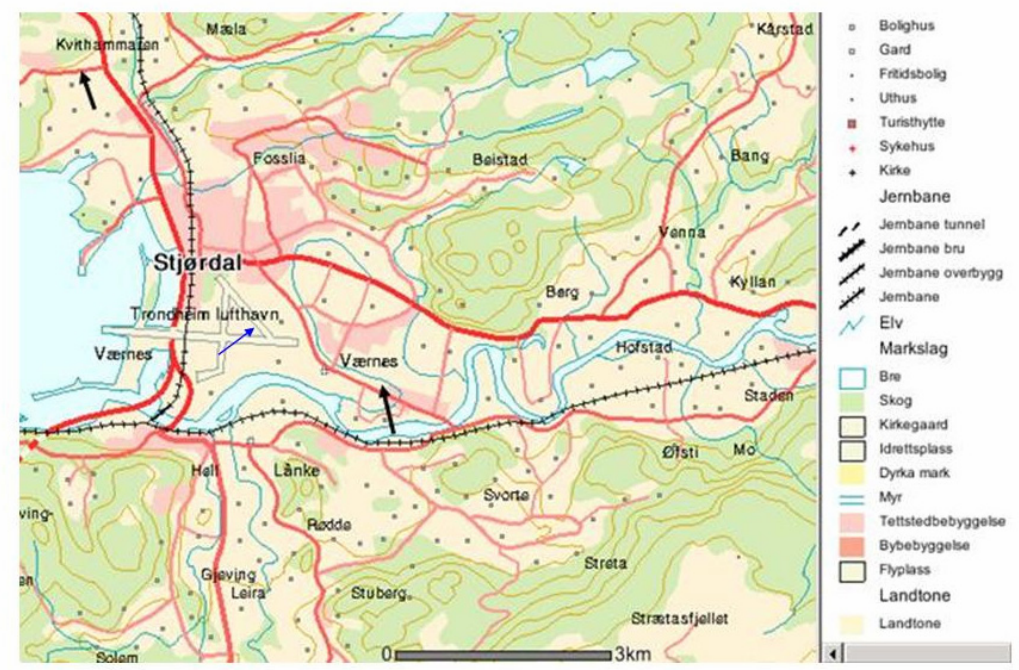
2 Stasjonsbeskrivelse

Værnes markvannsstasjon ligger i Stjørdal kommune i Nord Trøndelag, og nederst i Stjørsdalsvassdraget ca. 3 km fra utløpet til Stjørsdalselva i Trondheimsforden (Figur 2-1). Markvannsstasjonen ligger like øst for Værnes lufthavn, ca 5 km sørøst for Kvithamar. Jordene hvor stasjonen er etablert tilhørte tidligere Værnes prestegård og er nå en del av forsøksfeltene til Bioforsk Midt-Norge (Kvithamar).

Stjørdalselva er regulert med Funna kraftverk (1938), Tevla kraftverk (1994) og Meråker kraftverk (1994). Reguleringen har bidratt til reduserte flomvannføringer og reduserte is- og isgangsproblemer i Stjørdalselva (Sæther og Larsen, 2004). Ifølge flomsonekart er markvannsstasjonen ikke utsatt for oversvømmelser selv ved 500-årsflom, men enkelte veier og dyrket mark i det aktuelle området kan oversvømmes (Figur 2-3). Ekstremvannstander i sjøer i Trondheimfjorden gir de høyeste vannstandene i elva.

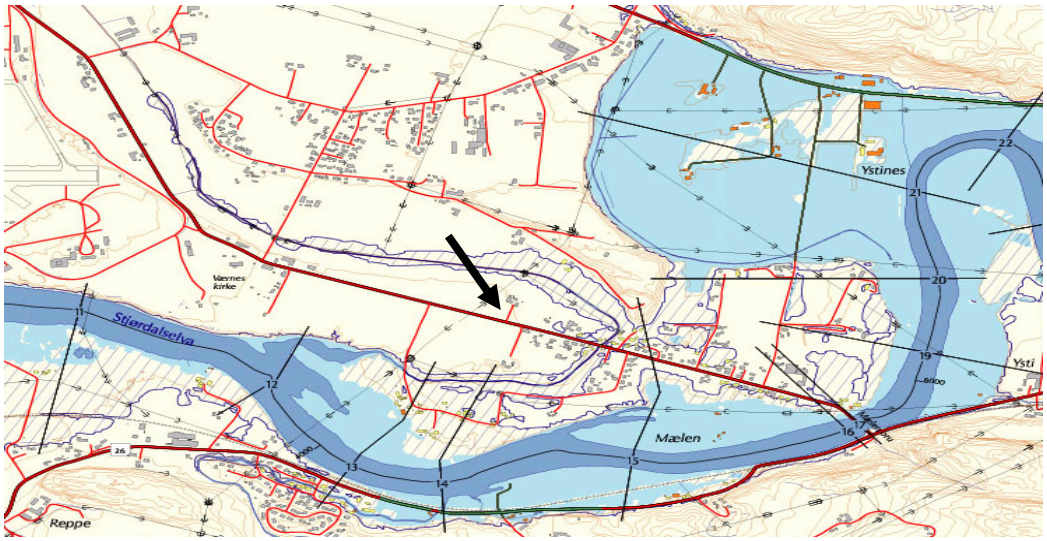
Landskapet ved Værnes prestegård ligger ca. 5-13 m.o.h. på en flate elveslette. Elva har endret løp mange ganger gjennom tidene (se Figur 2-2 og 2-3). Elvesletten består av et tykt dekke av fluviale avsetninger over leirskifer jf. kvartærgeologisk kart (Figur 2-4) og den nasjonale grunnvannsdatabasen GRANADA (NGU).

Stasjonsnavn	Værnes
Stasjonsnr. (Hydra II)	124.33.0
Vassdragsnavn	Stjørsdalsvassdraget
Regine/vassdragsnr.	124.A21
Høyde	ca. 10 m o. h.
Kartblad	1621-1
Kommune	Stjørdal
Fylke	Nord-Trøndelag
Løsmasser/Bergart	Fluviale avsetninger over leirskifer

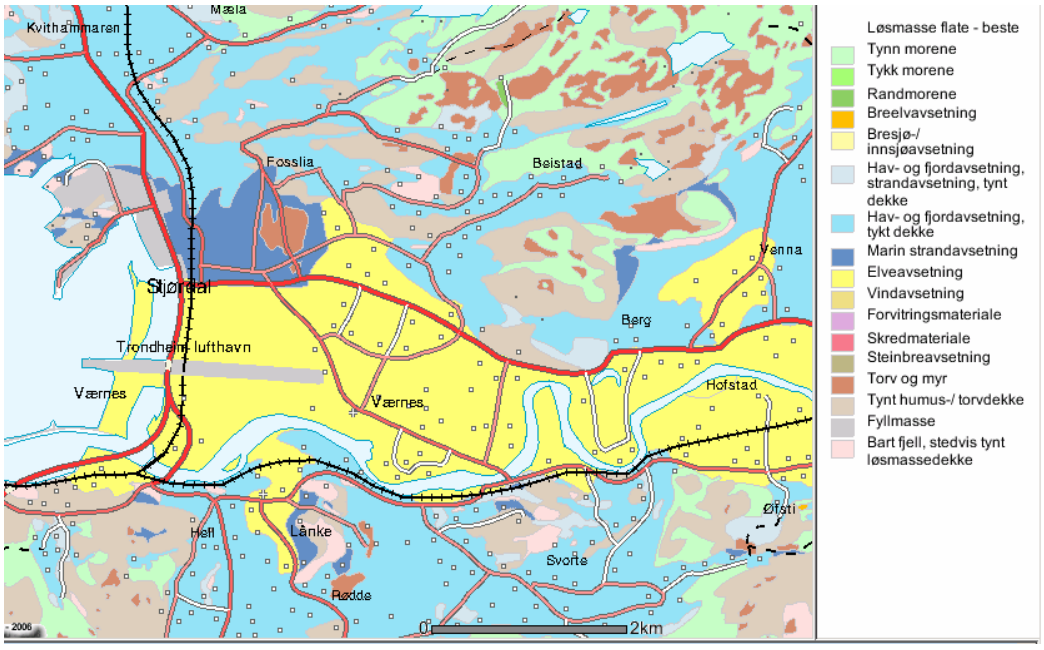


Figur 2-1: Oversiktkart som viser beliggenheten til markvannsstasjonene Værnes og Kvithamar samt arealbruk. Blå pil viser beliggenheten av den meteorologiske stasjonen på Værnes lufthavn. Kart: Arealis portalen.

Figur 2-2: Flybildet av Stjørsdalselva som viser beliggenheten til markvannsstasjon Værnes. Foto: NVE database.



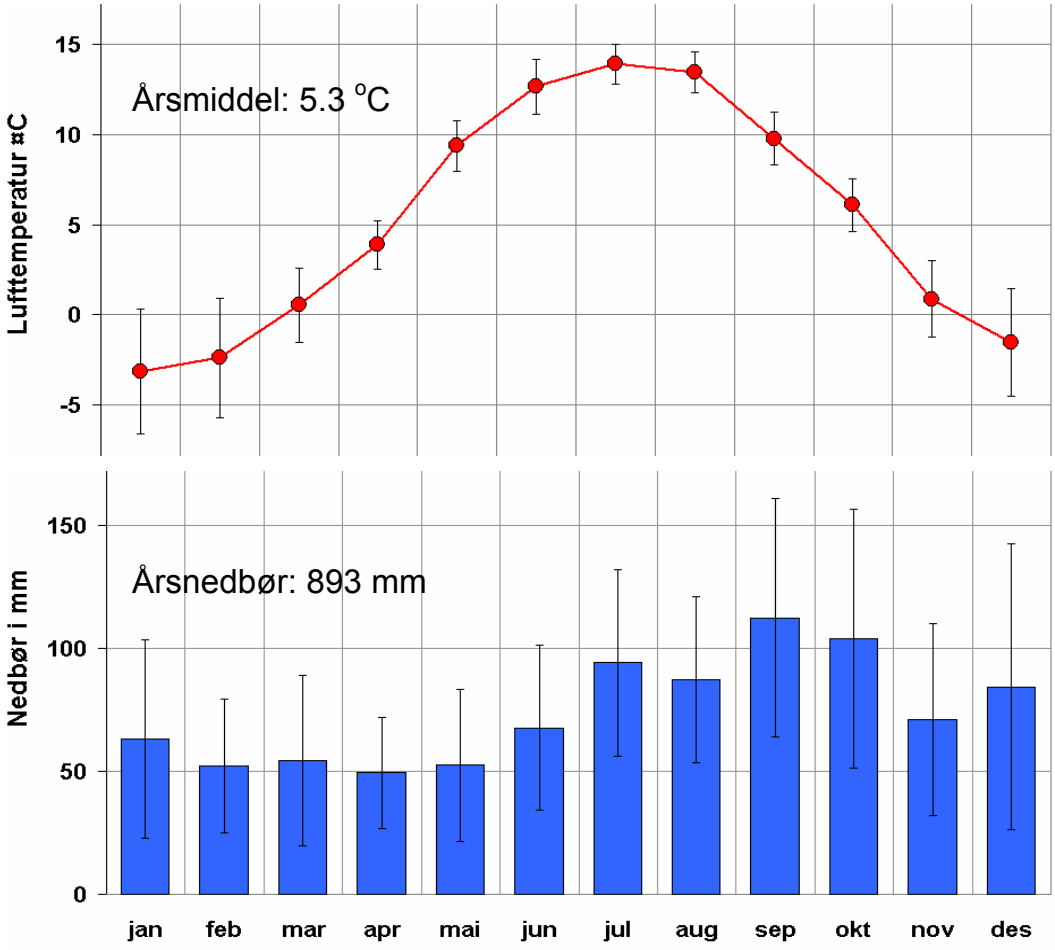
Figur 2-3: Flomsonekart med 100-årsflom med beliggenheten til markvannsstasjonen. Kart: NVE (Sæter og Larsen, 2004).



Figur 2-4: Kvartærgeologisk kart (NGU).

3 Klima

Data fra den meteorologiske stasjonen på Værnes lufthavn er benyttet i simuleringene. Stasjonen ligger ca 2 km fra markvannsstasjonen. Beliggenheten er vist i Figur 2-1. Månedsnormaler for lufttemperatur og nedbør for perioden 1961-1990 er vist i Figur 3-1. Standardavvik for månedsverdiene er inntegnet i figuren. Årsmiddel av lufttemperatur er 5,3 °C og midlere årsnedbør er 892 mm for perioden 1961-1990.



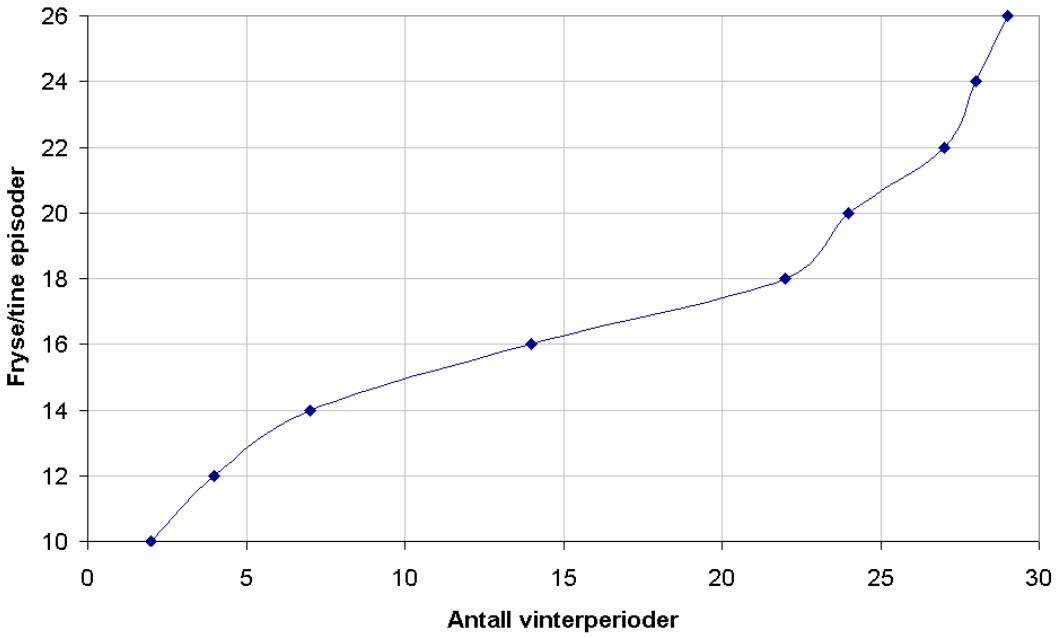
Figur 3-1: Månedsmiddel lufttemperatur (øverst) og månedssum nedbør i perioden 1961-1990 (nederst). Standardavvik for månedsverdiene er inntegnet i figuren.

Den kaldeste årsmiddeltemperaturen i perioden 1961-1990 var 3,6 °C og den varmeste 7,1 °C. Det tørreste året har en årsnedbør på 644 mm og det fuktigste 1287 mm. For normalperioden er nedbøren relativt likelig fordelt mellom vinter (oktober-mars) og sommerhalvåret (april-september) med henholdsvis 429 og 463 mm. De mest nedbørrike månedene er normalt høstmånedene.

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 29 vintrene henholdsvis 80 dager og - 415 døgngrader. For 3 av årene (10 %) er det mindre enn 53 dager med frost (minimum 28 dager pr. år), mens 3 av årene har frost mer enn 107 dager (maksimum 131 pr. år).

Den kjøligste vinterperiodene har en midlere lufttemperatur på -7,9 °C på dager med frost. Tilsvarende data for den varmeste vinterperioden viser lufttemperatur på -2,5 °C.

Figur 3-2 viser antall fryse-/tineepisoder i løpet av vinteren, d.v.s. når midlere lufttemperatur går fra pluss til minus. Største antall fryse-/tineepisoder registrert er 26. Halvparten av vintrene har mer enn 16 fryse-/tineepisoder.

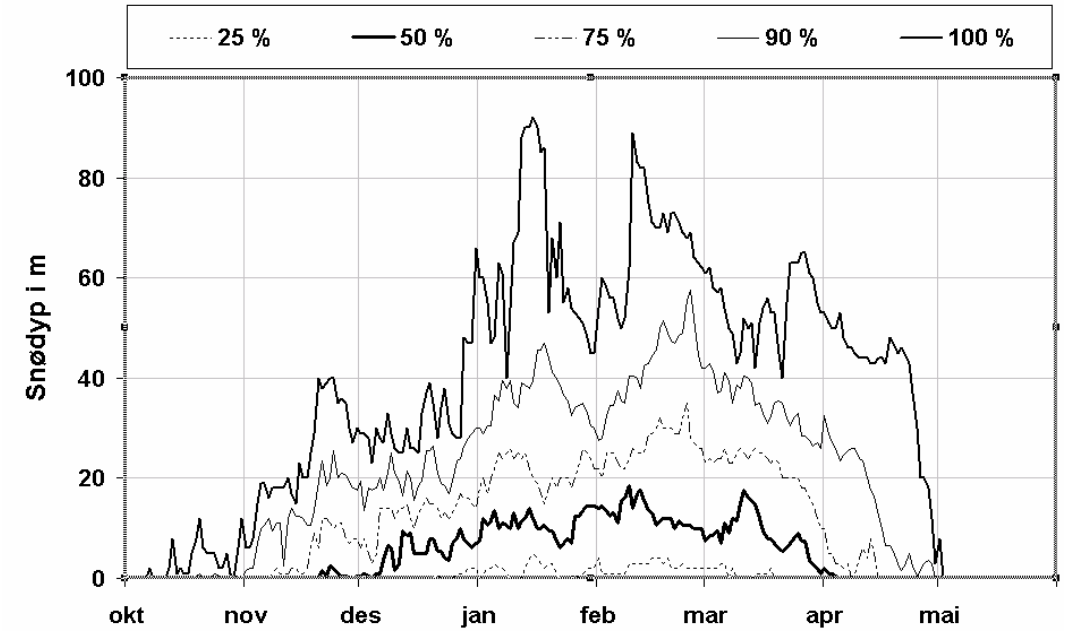


Figur 3-2: Antall vinterperioder versus antall fryse/tining episoder innen vinter i periode 1961-1990.

For vintrene i perioden 1961-90 er antall dager med snødybde > 5 cm i middel lik 82 dager varierende fra 28 til 147 dager. Middel av maksimum snødybde hver vinter er 45 cm varierende fra 26 til 92 cm.

Observert snødybde for hver av vintrene (1961-90) i perioden 1/10 – 30/4 er rangert for hver dato. Ved rangering er snødybder < 5 cm satt til 0 cm. I Figur 3-3 er det vist ulike percentiler for snødybde som funksjon av dato. De ulike percentilene i figuren gir et inntrykk av spredningen i snødybde på de ulike datoene. Kurven for 75 prosent percentilen viser at for 75 % av årene er snødybden lavere enn kurven mens 25 % av årene har større snødybder.

Mediankurven for snødybden (50 % percentilen) viser at 21/11 er første dag med snødekke og at snøen er smeltet 5/4. Tilsvarende medianverdier for lufttemperatur viser at temperaturen passerer 0 °C 11/12 og 5/3. Det er enkelte korte frostperioder både før og etter de to datoene men de er ikke tatt med her.



Figur 3-3: Observert snødybde presentert som percentiler i perioden 1961-1990.

4 Jord

4.1 Kornfordeling

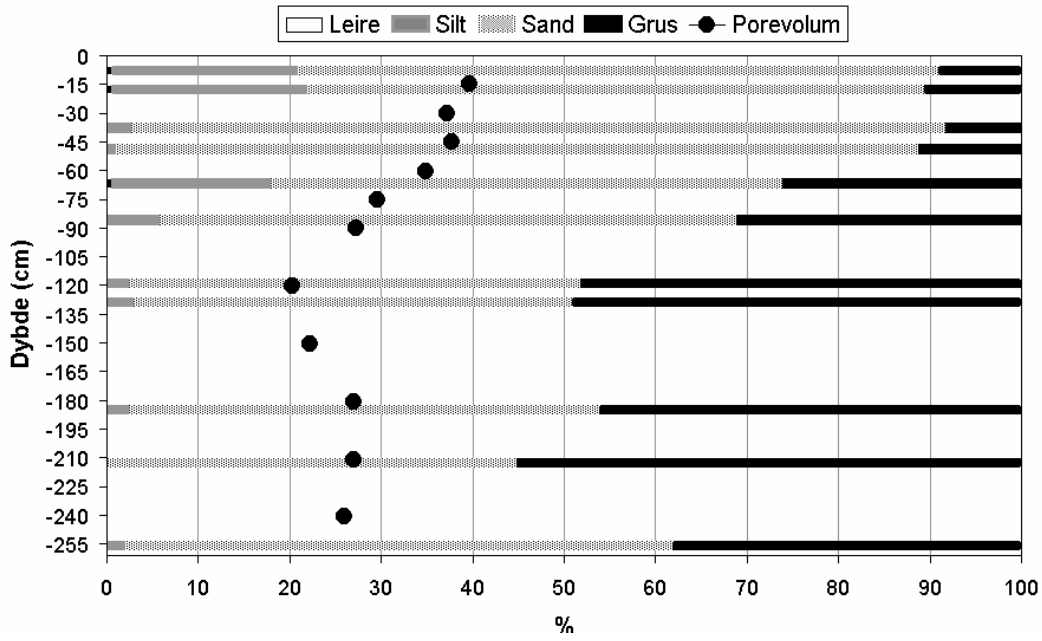
Området Kvithamar og Værnes prestegård er kartlagt av Jordregisterinstituttet (Solbakken, 1987). Totalt 13 ulike jordtyper er kartlagt for områdene. Det foreligger detaljert jordsmonnskart for Værnes prestegård (Solbakken, 1987). Et vanlig trekk for Værnesområdet er at en finner et siltigholdig topplag varierende fra 20 til 100 cm tykkelse. Markvannsstasjon ligger i et området kartlagt som bestående av godt til moderat godt drenert siltig mellomsand over grusholdig grovsand og grusholdig mellomsand (Solbakken, 1987). Et representativt profil for området nær markvannsstasjonen er beskrevet i Vedlegg 1. Ulike fysiske og kjemiske egenskaper for jordprofilet er vist i tabeller i vedlegget.

Tabell 4-1 viser kornfordelingen i de ulike sjiktene i profilet fra kartleggingen (Solbakken, 1987) og for prøver fra ulike dyp tatt ut på markvannsstasjonen (analyse utført ved Planteforsk, 1992) Kornfordelingsanalysen for prøver tatt ved Værnes markvannsstasjon er utført av Planteforsk i 1992. I Vedlegg 2 er det vist en mer detaljert kornfordeling for datasettet fra markvannsstasjonen slik det er benyttet i modellen. Det ble tatt ut prøver ned til 2,5 meter. Figur 4-1 viser et dybdeprofil med kornfordeling for prøver tatt ut i forbindelse med nedsetting av nøytronmeterrør på markvannsstasjonen og porevolum beregnet ut fra målinger med gammameter og materialtetthet (NVEs målinger 1992).

Tabell 4-1: Kornfordeling av prøver fra profil for jordtype 10 av Solbakken (1987) og fra jordprøver tatt ut på markvannsstasjonen Værnes.

Profil for jordtype 10 fra Solbakken (1987)						
Sjikt	**Dyp cm**	**Jordart**	**Sand %**	**Silt %**	**Leir %**	**C %**
Ap1	0-22	Siltig mellomsand	71	25	4	1,5
Ap2	22-34	Siltig mellomsand	74	23	3	1,0
Bg	34-53	Siltig mellomsand	83	16	1	0,4
BCg	53-98	Mellomsand	95	4	1	-
C	>98	Mellomsand	96	3	1	-

Profil for NVE markvannsstasjon (1992)					
Dyp cm	**Jordart**	**Sand %**	**Silt %**	**Leir %**	**Glødtap %**
15	Siltig mellomsand	77	22	0,7	4,8
30	Siltig mellomsand	76	24	0,6	4,2
45	Mellomsand	97	3	0,1	2,1
60	Siltig mellomsand	78	22	0,7	0,7
75	Grovsand	99	1	0	0,7



Figur 4-1: Kornfordelingsanalyser for prøver tatt ut i forbindelse med nedsetting av nøytronmeterrør ved markvannsstasjonen og porevolum beregnet ut fra gammametermålinger utført av NVE og materialtetthet.

Med utgangspunkt i tilgjengelige profilbeskrivelser og prøvedybdene for målinger ved markvannsstasjonen er det valgt å benytte 5 sjikt i modellen. Sjiktinndelingen er vist i tabellen nedenfor. Det er antatt at jorda er relativt homogen under 70 cm dybde.

Tabell 4-2: Sjiktinndeling benyttet i COUP-modelllen for Værnes markvannsstasjon.

Sjikt	Dybde (m)
1	0 - 0,2
2	0,2 - 0,4
3	0,4 - 0,5
4	0,5 - 0,7
5	0,7 -

4.2 Jordas hydrauliske egenskaper

Vannretensjons- eller pF-analyse er en metode for å måle porestørrelsesfordeling eller vannets bindingsenergi i jorda på laboratorium. Kurver som viser sammenhengen mellom jordas matrikspotensial og jordas volumetriske vanninnhold kalles pF-kurver, jordas fuktighetskarakteristikk eller vannretensjonskurver. pF er definert som logaritmen med grunntall 10 til tallverdien av matrikspotensialet gitt som cm H_2O. Sammenhengen mellom ulike enheter for jordas matrikspotensial er vist i Tabell 4-3. Tabellen viser også poreradius beregnet under antagelsen at porene kan beskrives som rette parallelle rør. Poreradien er da gitt ved d = *0,3* / *h* der *r* er radius i cm og *h* er matrikspotensialet i cm H_2O. Videre i denne rapporten betegnes matrikspotensialet som sug i cm H_2O.

Tabell 4-3: Sammenhengen mellom ulike enheter for jordas matrikspotensial (sug) samt beregnet poreradius.

	bar	cbar = kPa	cm H_2O	pF	Porediameter (μm)
Visnegrense	15	1500	15000	4,2	0,2
	5	500	5100	3,5	0,6
	1	100	1020	3	3
Feltkapasitet	0,1	10	102	2	30
	0,01	1	10.2	1	300
Vannmetning	0	0	0	-	-

Vannretensjonsanalyse for ulike dyp ved markvannsstasjonen (utført ved Planteforsk, 1995) er gitt i Tabell 4-4. Analysen av prøvene fra 60 cm dybde viser et større totalt porevolum og større andel mindre porer enn prøvene fra de andre dypene.

Tabell 4-4: Retensjonsdata som vol % vann og sug i cm H_2O benyttet i modellen for de ulike sjiktene.

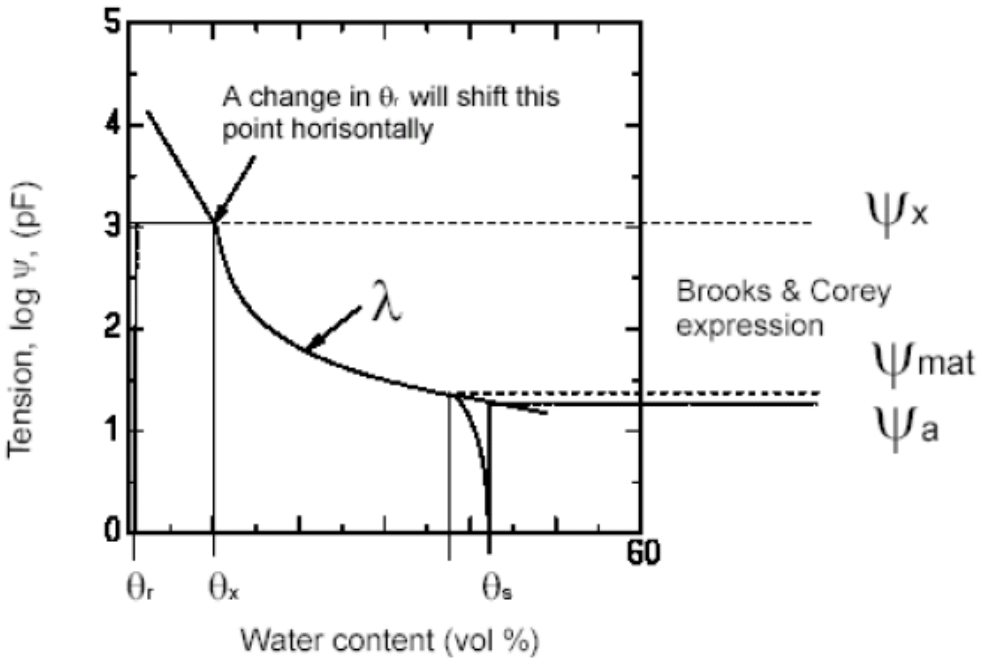
	cm H_20							
Dybde (cm)	**0**	**10**	**20**	**40**	**70**	**100**	**1000**	**15000**
15	45,5	42,1	41,8	39,9	37,4	34,6	18,3	5,2
30	43,3	37,4	22,3	14,1	9,8	8,2	4,2	1,2
45	40,7	35,8	18,2	11	7,1	6,1	3,7	1,1
60	53,2	49,2	47,1	45	42,2	39,3	10,2	2,5
75	37,8	23,5	7,1	5,2	3,9	3,4	2,2	0,6

For modellsimuleringene må sammenhengen mellom matrikspotensial og vanninnhold (vannretensjonskurven) være gitt som en kontinuerlig funksjon. I COUP er det brukt 3 ulike funksjoner for beskrivelsen av hele vannretensjonskurven. Disse er beskrevet nedenfor og vist skjematisk i eksempel hentet fra Jansson og Karlberg (2001) i Figur 4-2. Parametriseringen benyttet i tilpassingen og kurvene for de fem sjiktene plottet sammen med måledataene er gitt i Vedlegg 3.

1. Makroporefunksjon – funksjon for området nær vannmetning hvor en har de groveste porene. Matrikspotensialet er gitt ved:
$\psi = \psi_{mat} - \psi_{mat}((\theta-\theta_s+\theta_m) / \theta_m)$
der θ_m er makroporer. Default-verdien i modellen er 4 vol%. θ_s er porøsitet og ψmat er matrikspotensialet som svarer til vanninnholdet ved $\theta_s - \theta_m$. Andelen makroporer er ikke definert tilknyttet målinger men vurderes ut fra kurvetilpasning

2. Brooks & Corey's funksjon (1964):
$Se = (\psi / \psi_a)-\lambda$
der ψ er aktuell tensjon, ψ_a er tensjonsverdien der de første porene tømmes ("air-entry") og λ er porestørrelsesfordelings indeks. Se er effektiv metning definert som
$Se = (\theta - \theta_r) / (\theta_s - \theta_r)$
der θ_s er porøsitet, θ_r er restvanninnhold ("residual water content") og θ er aktuelt vanninnhold.
Funksjonen brukes fra makroporefunksjonen til et bestemt matrikspotensial. Denne grensen (ψ_x) er for våre simuleringer satt til matrikspotensial ved –1100 cm

3. Log/log-funksjonen fra det valgte grensepotensialet (ψ_x) til visnegrensa (-15 000 cm H2O) Funksjonen er gitt ved:
$\text{Log}(\psi / \psi_x) / \log(\psi_{wilt} / \psi_x) = (\theta_x - \theta)/(\theta_x - \theta_{wilt})$
Der θ_x er vanninnhold ved potensialet $_{\psi x}$ og θ_{wilt} er vanninnhold ved visnegrensa ψ_{wilt}.



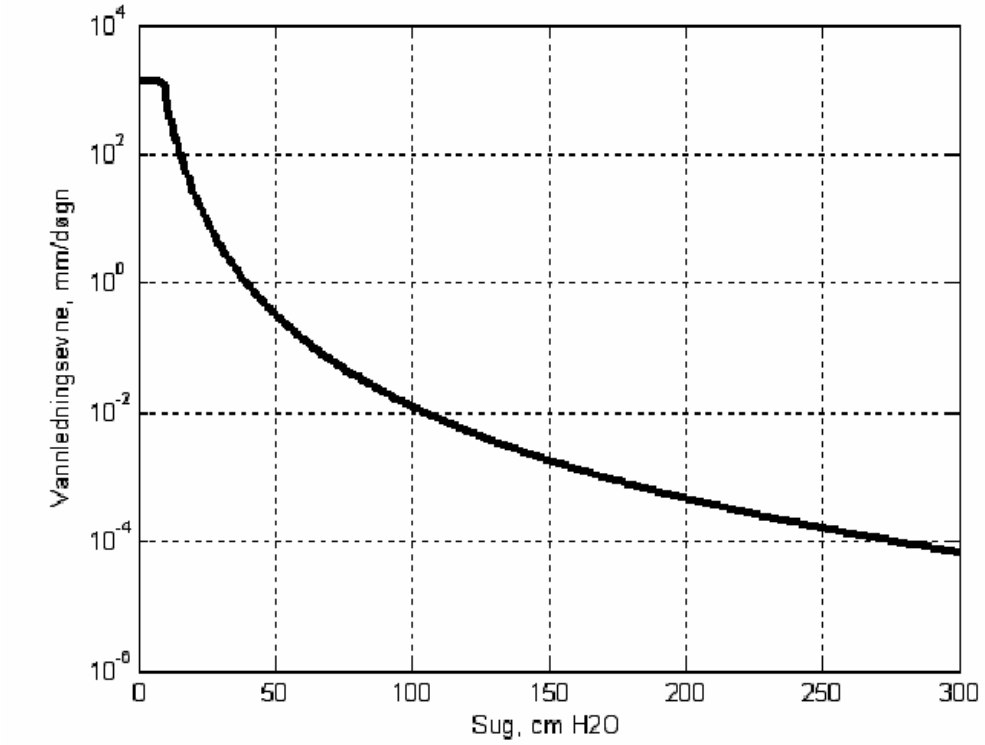
Figur 4-2: Beskrivelse av vannretensjonskurven i COUP-modellen med tre ulike funksjoner for ulike fuktighetsgrader (Jansson, P-E og Karlberg, L., 2001).

Vannledingsevne er et mål på jordas evne til å slippe igjennom vann og er avhengig av jordas porestørrelsesfordeling. Mettet vannledningsevne er ikke målt på Værnes og er derfor estimert fra kornfordelingskurver fra de ulike sjiktene (Jansson og Karlberg, 2001). Estimert mettet vannledningsevne for de fem sjiktene er vist i Figur 4-4. Det forligger ikke kornfordelingsanalyser for jordprøver fra større enn 75 cm dybde ved markvannsstasjonen. Ved tilpassing av modellen er det valgt å benytte en lavere verdi i det dypeste sjiktet i forhold til den estimerte fra kornfordeling ved 75 cm dybde. Vannledningsevnen i det dypeste laget påvirker i stor grad fluktuasjonen av simulert grunnvannsnivå siden samme verdi benyttes til bunnen av profilet. I tillegg til manglende informasjon om kornfordelingen i dypere lag er sammenhengen mellom mettet vannledningsevne og kornfordeling svært usikker.

Jordas umettede vannledningsevne (K_W) beregnes ut fra funksjonen (Mualem, 1976):

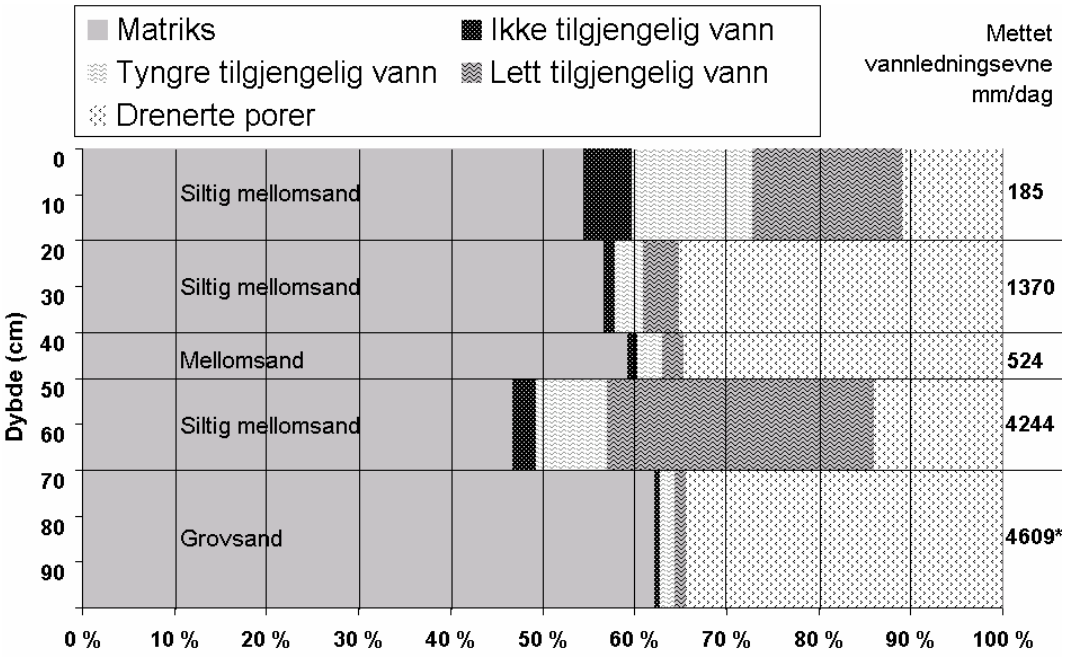
$$k_w = k_{mat}(\psi_a/\psi)^{2+(2+n)\lambda}$$

Parametrene ψ_a og λ kommer fra tidligere nevnte Brooks & Corey's funksjon og n er en parameter tilknytet tortuositet. k_{mat} er mettet vannledningsevne. Funksjonen viser tydelig sammenhengen mellom jordas vannretensjonskurve og jordas vannledningsevne ved ulike matrikspotensialer. Figur 4-3 viser sammenhengen mellom matrikspotensial (cm H_2O) og vannledningsevne (mm/dag) for sjiktet mellom 20 og 40 cm dybde. Sammenhengen mellom hydraulisk ledningsevne og matrikspotensial for de fem sjiktene er vist i Vedlegg 4.



Figur 4-3: Sammenhengen mellom matrikspotensial (cm H2O) og vannledningsevne (mm/dag) for sjiktet fra 20 til 40 cm dybde.

Jorddata for Værnes markvannsstasjon benyttet i modellen er vist i Figur 4-4 nedenfor som et dybdeprofil inndelt i fast materiale og porer av ulik størrelse i volumprosent. Det faste materiale er vist til venstre i figuren. Jordart fra kornfordelingsanalyse er ført inn. Det neste feltet viser volumprosent porer fylt med vann ved visnegrense (15 000 cm H_2O) eller porer mindre enn ca 0,1 µm. Dette er ikke tilgjengelig vann for plantene. Deretter følger plantetilgjengelig vann som er delt opp i tyngre tilgjengelig og lett tilgjengelig vann. Tyngre tilgjengelig vann er definert som andelen porer som dreneres mellom 1000 cm H_2O det vil si porer mellom ca 0,1 µm og 1,5 µm. Lett tilgjengelig vann er vannet som frigjøres mellom feltkapasitet (100 cm H_2O) og 1000 cm H_2O. Dette tilsvarer porer mellom 1,5 µm og 15 µm. Til høyre i figuren vises mettet vannledningsevne estimert fra kornfordeling. For det nederste sjiktet er denne senket i modellen til 2200 mm/dag som beskrevet tidligere.



Figur 4-4: Dybde-volum diagram for jordprofil på markvannsstasjonen. Mettet vannledningsevne estimert fra kornfordeling er vist til høyre i figuren. * For dypeste sjikt i modellen er mettet vannledningsevne satt til 2200 mm/dag.

5 Metode

5.1 Målinger ved Værnes markvannsstasjon

Til parametrisering og verifisering av COUP-modellen for simulering av vann og energitransport i jord er det hovedsaklig benyttet måledata fra Værnes markvannsstasjon[2]. På markvannsstasjonene måles blant annet snødybde, teledybde, jordtemperatur ved ulike dybder, grunnvannsstand og målinger av elektriske motstand med sensorer på ulike dyp i jorda. Fra målingene av elektrisk motstand estimeres verdier for matrikspotensial, vanninnhold samt teledybde. En kort beskrivelse av målingene benyttet er gitt her. Utstyret og metodene er beskrevet mer detaljert av Colleuille og Gillebo (2002).

Snø

Det er utført snømålinger ved markvannsstasjonen i tidsperioden 1992-2002. Snødybden måles ved hjelp av en stake ved siden av telemåler. Nøyaktigheten antas å være +/- 1 cm.

Tele

De manuelle målinger av teledybde ved markvannsstasjonen er utført i tidsperioden 1992-2002. 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 nedenfor 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. Motstandssensorene er plassert med 15 cm dybdeforskjell. Med denne metoden registreres det 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. Den øverste motstandssensoren er plassert på 5 cm dybde. Teledybder mindre enn dette vil ikke kunne måles.

Jordtemperatur

Det er utført målinger av jordtemperatur med sensorer på ulike dyp ved markvannsstasjonen siden 1999 på timebasis. Dataene benyttet i parametriseringen av modellen er døgnmiddelverdier. Temperatursensorene er plassert på 5 cm, 15 cm, 30 cm, 45 cm, 75 cm, 90 cm og 150 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).

[2] På grunn av lite snømålinger i perioden benyttet til parametriseringen av modellen, er det også benyttet snødybdemålinger fra den meteorologiske stasjonen ved flyplassen på Værnes (Stasjon nr. 69100).

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.

Matrikspotensial og vanninnhold

Elektrisk motstand er målt på markvannsstasjonen siden 1999 for dypene 15 cm, 30 cm, 45 cm, 60 cm, 75 cm, 90 cm og 150 cm. Målingene registreres på timebasis. Sensoren består av en keramisk celle der motstanden måles mellom to innebygde elektroder (elektriske motstandsblokker). Vanninnholdet i den keramiske cellen varierer med jordas matrikspotensial 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. Innflytelsesområde er estimert til 5 – 15 cm. Motstandssensorene kan benyttes i et temperaturintervall mellom 0 og 80˚C. Sensorene påvirkes av temperaturen. Dette fører til at matrikspotensialet overestimeres ved temperaturer lavere enn 10 – 15˚C 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 utarbeides egne kalibreringskurver på grunnlag av samtidige målinger av matrikspotensial med tensiometer. Tensiometermålingene som ligger til grunn for kalibreringskurven er utført på relativt våt jord. Sammenhengen mellom elektrisk motstand og matrikspotensial i tørrere perioder er dermed svært usikker. Dette vil, sammen med sensorenes begrensede måleområde, føre til en betydelig usikkerhet spesielt med hensyn til absolutte verdier.

For enkelte år er det utført manuelle målinger av matrikspotensialet i jorda med tensiometer på markvannsstasjonen for dypene 15 cm, 30 cm, 45 cm, 60 cm, 75 cm og 90 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. Tensiometeret virker i den våte delen av markvannets variasjonsområde, det vil si ved sug mindre enn 75 – 85 kPa (Mullins, 1991). Ved 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.

Grunnvann

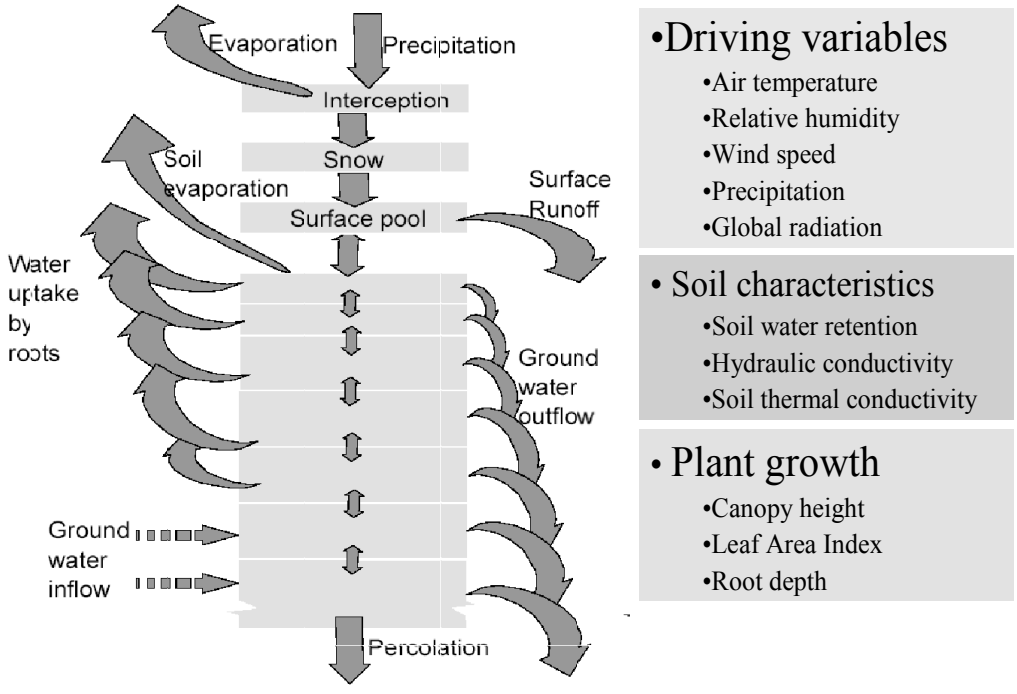
Grunnvannsstanden er målt ved markvannsstasjonen siden den ble opprettet i 1992. Målingene ble automatisert ved hjelp av en trykksensor og tilkoblet en logger i 1999. Ved markvannsstasjonene benyttes Wika-sensorer. Sensorene har et måleområde på mellom 5 og 10 meter vannhøyde og en nøyaktighet på rundt 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 vann- og energi-balanse-modellen COUP består av følgende oppgaver:

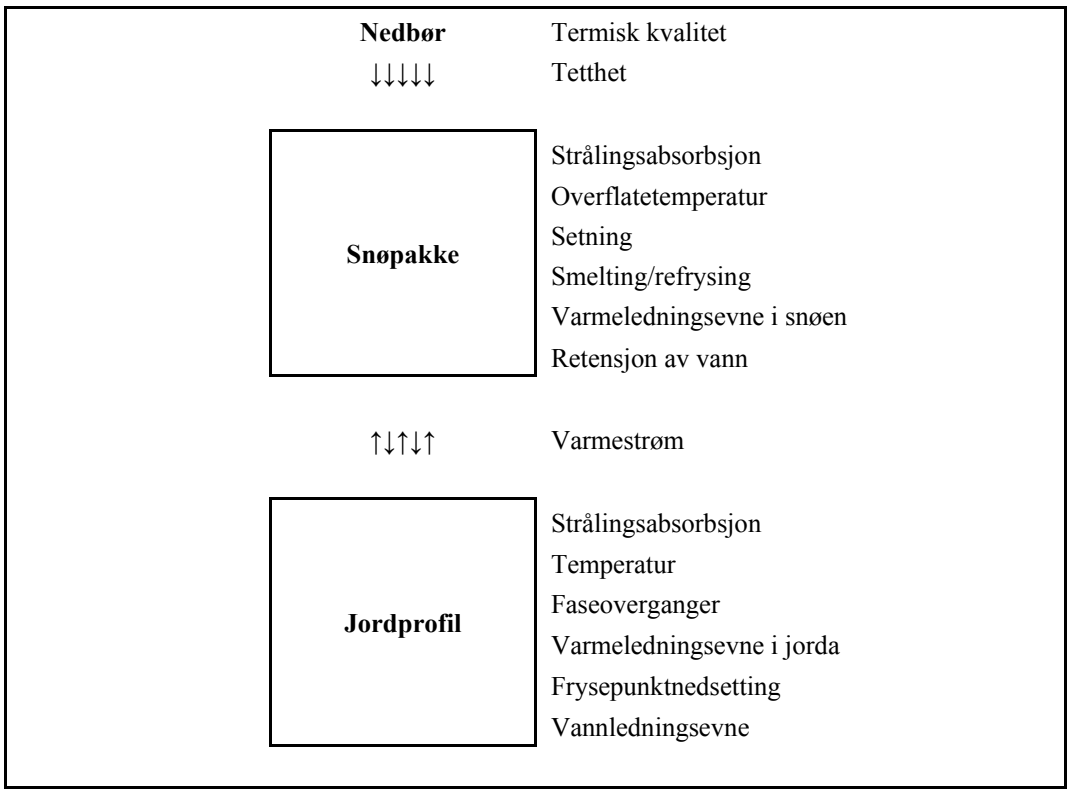
1. Tilrettelegging, kalibrering og kvalitetssikring av eksisterende data fra markvannsstasjonene (grunnvannsstand, snødybde, teledybde, jordtemperatur, matrikspotensial og vanninnhold).
2. Tilrettelegging og kvalitetssikring av klimadata (Nedbør, lufttemperatur, luftfuktighet, vindhastighet, globalstråling eller skydekke);
3. Tilrettelegging av plantevekstforhold (bladarealindeks, bestandshøyde, rotdybde).
4. Tilrettelegging, tilpasning og kvalitetssikring av jorddata (kornfordeling, vannretensjonskurve, vannledningsevne);
5. parametrisering ved kalibreringen mot daglige observasjoner.
6. Verifisering mot uavhengige observasjoner fra samme sted ved en ny tidsperiode
7. Beregne normalverdier og ekstremer for vann- og energibalanse fra modellsimuleringer for perioden 1961-1990.

6 Parametrisering

Parametriseringen av COUP-modellen for Værnes er utført for tidsperioden 1/1-2000 til 31/12-2005 og kalibrert mot måledata fra markvannsstasjonen. Den første delen av dette kapittelet tar for seg parametriseringen av modellen med hensyn på vinterforhold med snø og tele Deretter omtales jordtemperaturen før den siste delen av kapittelet som omhandler vannbalansen i jorda og simulering av grunnvannstand. Oversikt over hvilke løsninger og parameterverdier som er benyttet i modellen for Værnes er gitt i Vedlegg 5.

6.1 Vinterforhold

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



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

6.1.1 Snødybde

Prosessene ved simulering av snøpakken kan deles i 3 hoveddeler:

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

Smelting av snø styres av en funksjon hvor lufttemperatur, stråling og jordvarmefluks inngår. Snøens albedo avhenger av snøoverflatens alder slik at strålingsabsorpsjonen øker med tid etter snøfall.

Snøpakken kan holde tilbake en viss mengde flytende vann (snøens retensjonskapasitet). Dersom mengden flytende vann overstiger denne retensjonskapasiteten, vil dette vannet transporteres til jordoverflata. Overstiger smeltevannstilførselen jordas infiltrasjonsevne vil dette føre til en overflateavrenning.

Ved parametriseringen av modellen er simuleringene av snødybde sammenlignet med målinger fra både Værnes markvannsstasjon og den meteorologiske stasjonen ved Værnes lufthavn. For Værnes markvannsstasjon er det ca ukentlige registreringer for de to første vintrene i perioden mens det for Værnes lufthavn finnes daglige registreringer for alle årene. Målinger av snø og tele og simuleringer med parametrisert modell for perioden er vist i Figur 6-2. Parametriseringen benyttet i simuleringene omtales senere. Målingene av snø ved markvannsstasjonen er vist med grønne merker mens den oransje linjen viser målingene fra den meteorologiske stasjonen. Det er store forskjeller i registrert snødybde mellom de to nærliggende lokalitetene. Stasjonenes beliggenhet er vist i Figur 2-1. Målingene viser generelt større snødybde på markvannsstasjonen enn på Værnes lufthavn. Figur 6-3 viser målingene fra markvannsstasjonen plottet mot samtidige målinger fra den meteorologiske stasjonen. For omtrent halvparten av de 39 tidspunktene med registrert snødybde på markvannsstasjonen er det på den offisielle meteorologiske stasjonen ikke er registrert snø. Det er kun for tre av måletidspunktene det er registrert mer snø på Værnes lufthavn enn på markvannsstasjonen. Forskjellen mellom de to lokalitetene kan skyldes forskjeller i måletidspunkt, forskjeller i nedbørens intensitet eller termiske kvalitet som følge av avstand fra fjorden og forflytting av snø

på grunn av vind. Den meteorologiske stasjonen ligger nærmere fjorden enn markvannsstasjonen og er trolig også enda mer vindutsatt enn denne.

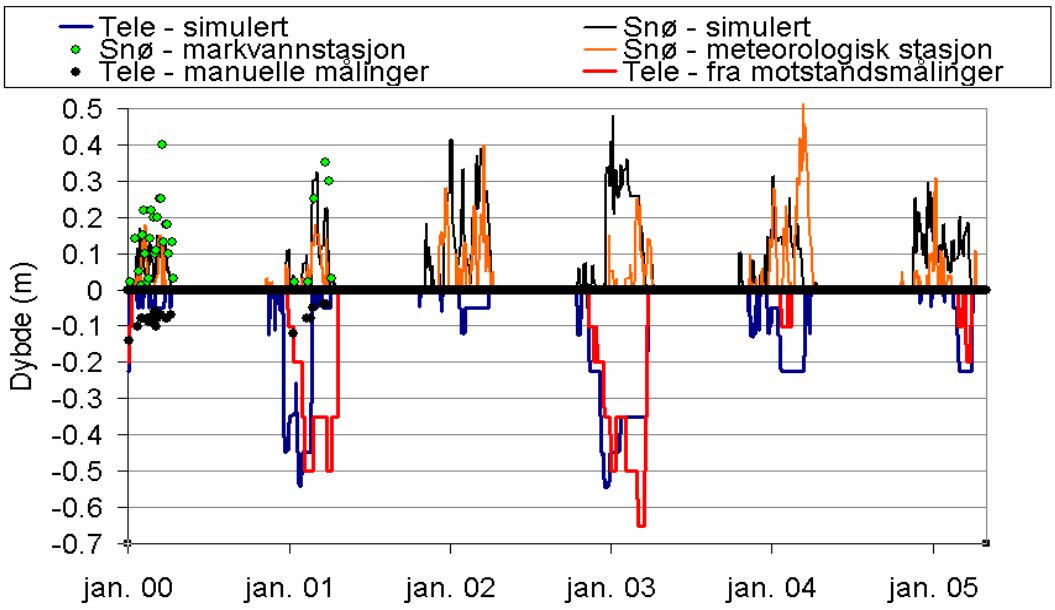
Figur 6-4 viser snømålinger sammen med observert temperatur og nedbør for vinteren 2000-2001. I figuren er det også vist simulert snødybde med modell parametrisert som omtalt senere i dette kapittelet. I slutten av desember denne vinteren (markert **a** i figuren) viser målingene fra den meteorologiske stasjonen ved flyplassen en smelting av snø til bar mark. På dette tidspunktet simulerer modellen en økning i snødybde etterfulgt av en periode med stabil snødybde før denne igjen smelter ute i januar måned. Målingene viser at temperaturen er like under null ved de siste nedbørsepisodene før den registrerte smeltingen på flyplassen. I perioden som følger er det kaldt.

I slutten av januar (merket **b**) er det målt en mindre snøøkning på flyplassen i en periode uten registrert nedbør. Dette kan skyldes forflytting av snø ved vind.

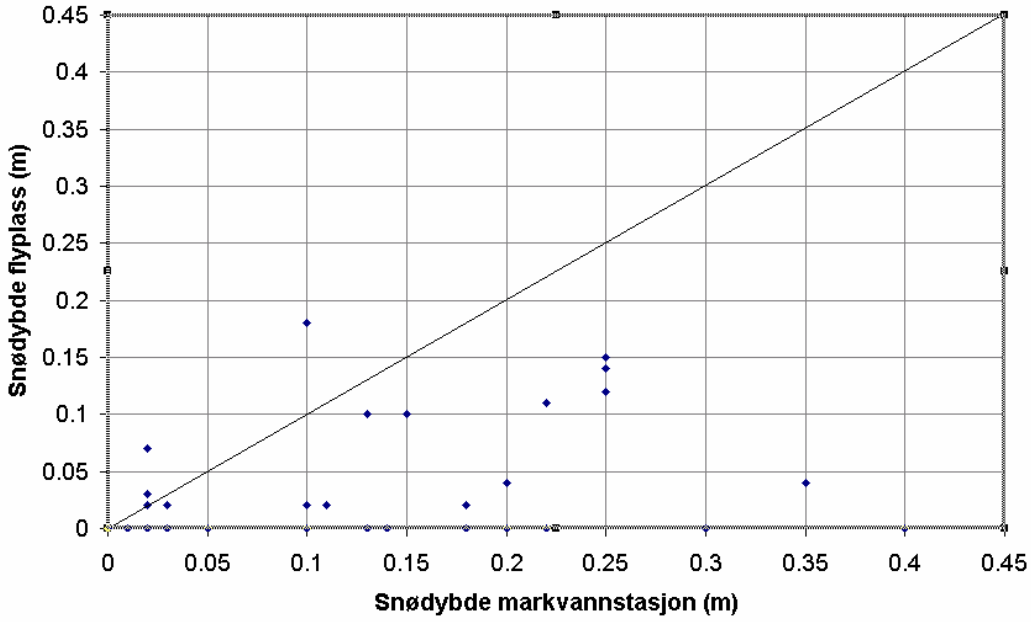
Ved merket **c** i februar er det målt en større økning i snødybden på et tidspunkt med en temperatur på 3 til 4 ^{o}C. Modellen simulerer nær bar mark på samme tidspunkt og snødybden øker ikke før noe senere da temperaturen synker. Når temperaturen igjen synker under 0 ^{o}C viser målingene fra flyplassen en minsking i snødybde ved nedbøren som følger. Den registrerte snøsmeltingen i mars merket **d** skjer ved lufttemperaturer fra -3 ^{o}C til -7 ^{o}C.

Figur 6-5 viser tilsvarende for vinteren 2001-2002. I november (merket **a** på figuren) simulerer modellen et snøfall mens det ikke er observert snø før i desember ved flyplassen. Dette kan skyldes at nedbøren har falt som regn på dagtid selv om døgnmiddeltemperaturen viser frost. Smelteepisoden merket på figuren med **b**, skjer på et tidspunkt med døgntemperatur lavere enn 5 ^{o}C.

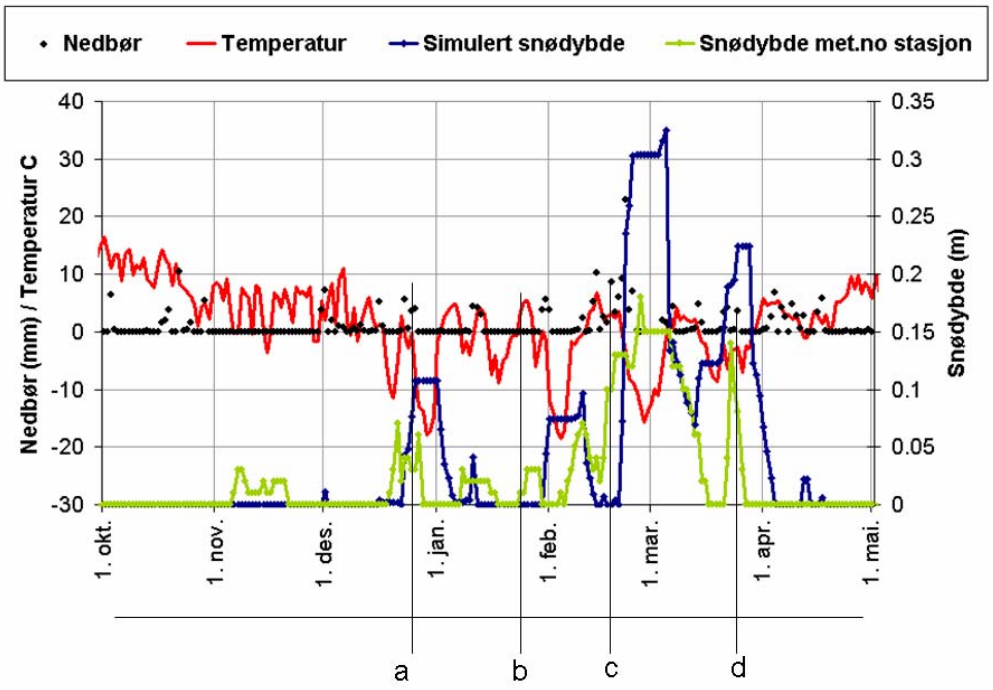
Den dårlige sammenhengen mellom nedbør, lufttemperatur og endringene i snødybde målt på den meteorologiske stasjonen ved flyplassen på Værnes, kan til en viss grad forklares ved at det brukes døgnmiddelverdier for klimavariablene. Temperaturen varierer gjennom døgnet og temperaturen ved nedbørstidspunktet kan være varmere eller kaldere enn døgnmiddeltemperaturen. Stasjonen ligger også vindutsatt til slik at snøen kan forflytte seg og snødybden endres uten at dette skyldes snøfall eller smelting. Det er ved flere tilfeller målt betydelige økninger av snødybden ved den meteorologiske stasjonen uten at det er registrert nedbør. På en annen nærliggende meteorologisk stasjon (Kvithamar) er det registrert nedbør i disse periodene. Dette kan tyde på en viss usikkerhet tilknyttet nedbørsdataene fra Værnes.



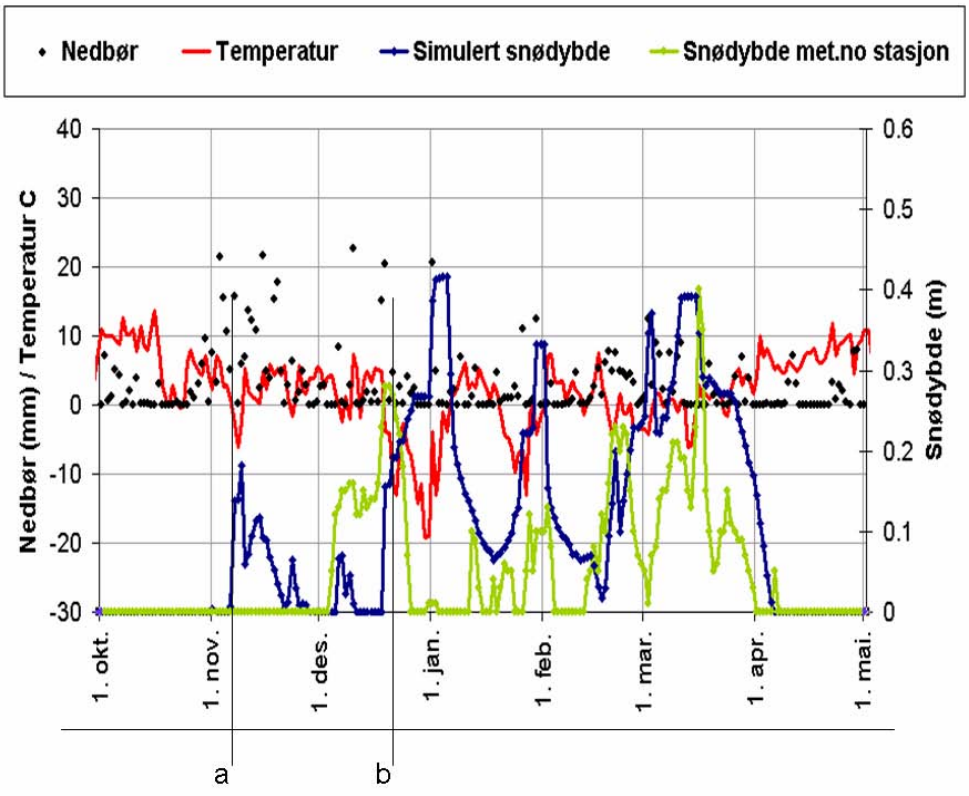
Figur 6-2: Målinger og simuleringer av snø og teleforhold for parametriseringsperioden for Værnes.



Figur 6-3: Målinger av snødybde ved Værnes markvannsstasjon plottet mot samtidige snømålinger fra den meteorologiske stasjonen ved flyplassen. Linjen inntegnet er forhold 1:1.



Figur 6-4: Nedbør, temperatur, simulert snødybde og snødybde målt på den meteorologiske stasjonen på Værnes for vinteren 2000-2001



Figur 6-5: Nedbør, temperatur, simulert snødybde og snødybde målt på den meteorologiske stasjonen på Værnes for vinteren 2001-2002

Snøen har stor betydning for temperatur og teleforholdene i jorda om vinteren. Ved parametriseringen av modellen for snø er effekten på simuleringsresultatet for teledybden vektlagt. Det er spesielt lagt vekt på tidspunket for tining av tele om våren da dette er viktig med hensyn til infiltrasjon av smeltevann.

For parametrene i modellen foreligger det standardverdier. Endrede parameterverdier funnet ved beste tilpassing mellom målinger og simuleringer og default-verdier (modellens standardverdier) for disse parametrene er vist i Tabell 6-1 nedenfor.

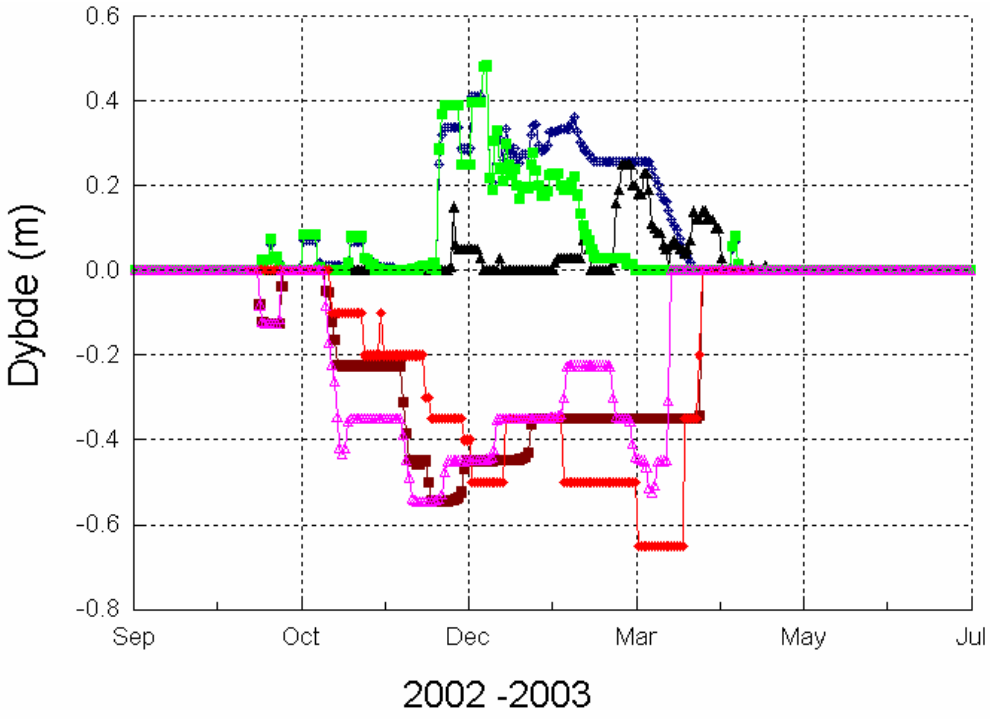
Tabell 6-1: Endrede parameterverdier i modelltilpassingen for snø

Parameter	Verdi	Standard	Enhet
DensityOfNewSnow	120	100	Kg/m^3
MeltCoefAirTemp	1	2	Kg/Cm^2day
OnlyRainPrecTemp	2,5	2	C
SThermalCondCoef	3.00E-06	2.86E-06	$Wm^5/°C \cdot Kg^2$

På grunn av problemet med å simulere rett endring i snødybde for nedbør ved temperaturer nær null, er grensetemperaturen mellom regn og sludd hevet fra standardverdien 2^oC til 2.5^0C slik at temperaturintervallet for sludd økes. Dette minsker effekten av episodene der målingene viser snøtilførsel, mens modellen simulerer regn og smelting (og motsatt) som følge av at døgnmiddeltemperaturen benyttes til å beregne nedbørens form.

Tettheten til nysnø uten innhold av flytende vann er hevet i forhold til standard. Dette fordi modellen simulerer noe stor økning i snødybde for snøfall. Snøens tetthet er viktig for isolasjonseffekten av snøen og effekten på telesimuleringene har vært avgjørende ved valg av parameterverdien for nysnøens tetthet. Av hensyn til telesimuleringene er også den varmeledningskoeffisienten i snøen hevet. Koeffisient for smeltingsandelen forårsaket av lufttemperatur er senket på grunn av for rask minking av snødybden og for tidlig snøfritt om våren flere år som igjen førte til for tidlig tining av telen og deretter forskyvning i tidspunktet for grunnvannsfornyelse.

Figur 6-6 viser endringene i simuleringsresultat for snø og tele som følge av parametriseringen vist i Tabell 6-1 for vinteren 2002-2003. Tilpassingen fører til en noe mindre snødybde direkte etter snøfall som følge av en større tetthet av nysnøen. Senere på vinteren fører endringene i smelting og grensetemperaturen mellom regn og sludd til at snøen smelter senere. Den målte snødybden på den meteorologiske stasjonen er lavere enn simulert det meste av vinteren. For telen fører denne endringen i snøen til at nedre frostgrense beveger seg noe senere nedover i profilet og at tiningen av tele om våren er noe senere enn ved simulering med standard parameterverdier for snø. Den parametriserte modellen treffer tidspunktet for tining estimert fra motstandmålingene.



Figur 6-6: Simulering av snø og tele før og etter parametriseringen av modellen med hensyn på snø plottet sammen med måledata for snø og teledybde. Den sorte grafen er snømålinger fra den meteorologiske stasjonen ved flyplassen på Værnes. Den blå er den simulerte snødybden ved beste tilpassing av modellen og den grønne grafen viser simuleringer med parameterverdiene som ligger i modellen som standardverdier. Den røde grafen viser teledybden estimert fra målinger med motstandssensorer. Simuleringer av tele etter parametrisering av modellen med hensyn på snø er vist med brunt, mens den rosa grafen viser telesimulering med parameterverdier for snøtilpassing som standardverdier.

Tabell 6-2 viser statistiske resultater av tilpassingen for snø mot målinger av snødybde ved markvannsstasjonen og ved den meteorologiske stasjonen. Sammenhengen med målingene på den meteorologiske stasjonen er relativt dårlig. Modellen simulerer generelt en noe større snødybde en målt på den meteorologiske stasjonen. De 33 målingene fra markvannsstasjonen for parametriseringsperioden viser en større snødybde enn simuleringene.

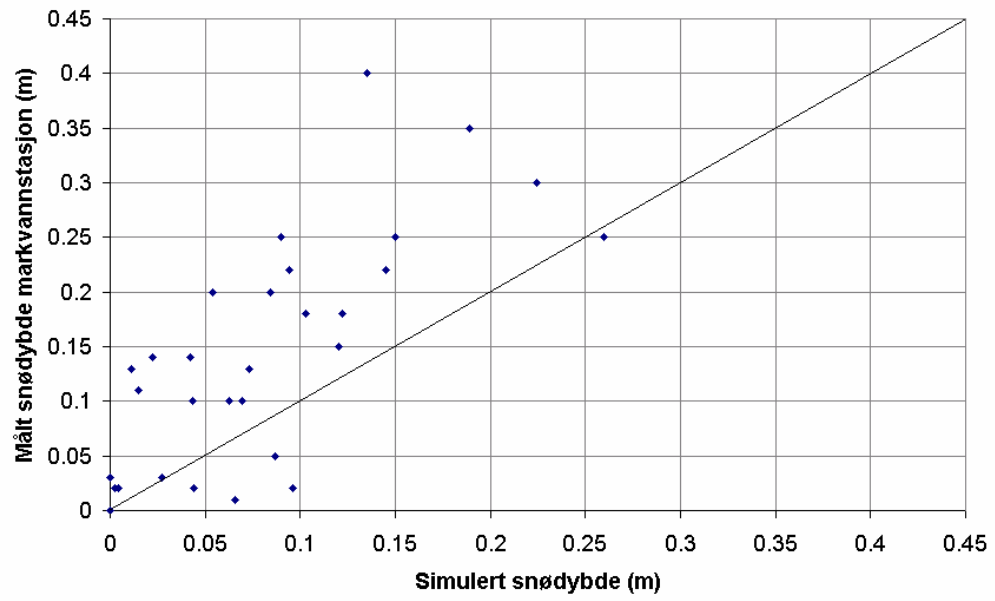
Tabell 6-2: Resultat av tilpassing av snø mot målinger av snødybde fra Værnes. Øverst resultatet mot målt snø ved markvannsstasjonen, deretter mot samtidige målinger på den meteorologiske stasjonen og nederst mot målinger ved den meteorologiske stasjonen for samtlige dager det er registrert snø eller modellen simulerer snø > 0,01 m.

Snødybde	Observasjoner (N)	R^2	Intersept	Helningskoef.	RM (1)	RMSE (2)
markvann st.	30	0,53	0,05	1,16	-0,06	0,09
met. stasjon	30	0,13	-	-	0,04	0,08
met.stasjon	810	0,01	-	-	0,06	0,14

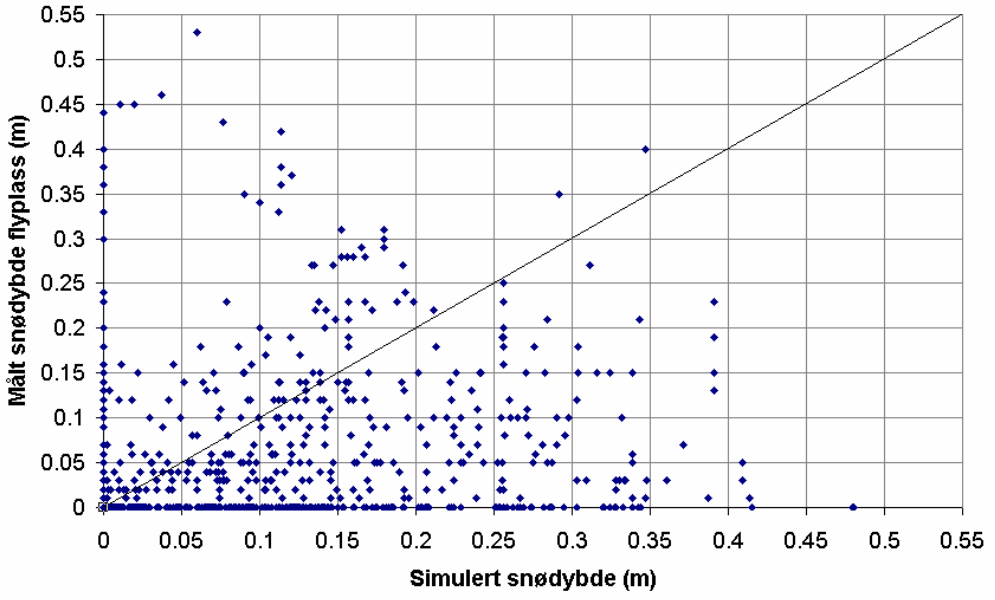
(1): RM = 1/N∑(sim-målt)

(2): RMSE= √(∑/(sim-målt)^2)/N)

Figur 6-7 og Figur 6-8 viser simuleringer av snødybde plottet mot samtidige målinger på henholdsvis markvannsstasjonen og på den meteorologiske stasjonen ved flyplassen. Generelt simulerer modellen en noe lavere snødybde enn målt på markvannsstasjonen men høyere enn målt ved flyplassen.



Figur 6-7: Simuleringer av snødybde plottet mot samtidige snømålinger på markvannsstasjonen på Værnes



Figur 6-8: Simuleringer av snødybde plottet mot samtidige snømålinger på den meteorologiske stasjonen på Værnes

Det er registrert 78 målinger med økning i snødybde på mer enn 3 cm pr. døgn på den meteorologiske stasjonen på Værnes i løpet av perioden benyttet til parametrisering. Modellen simulerer tilsvarende økning i snødybde 79 ganger i løpet av perioden. Totalt er det målt 195 tilfeller av økt snødybde på flyplassen i perioden. Ved tidspunktet for registrering av økt snødybde simulerer modellen en økning i 60 av disse. Ved 78 av tilfellene simulerer modellen ingen endring i snødybde og 57 tilfeller simuleres en nedgang i snødybden. Tidspunktene for snøfall stemmer altså relativt dårlig overens til tross for at klimadata benyttet i modellen er fra den meteorologiske stasjonen på Værnes flyplass.

Avviket i endring i simulert snødybde og målingene fra den meteorologiske stasjonen er størst når nedbøren kommer ved døgntemperaturer nær 0 ^{o}C. Om nedbøren faller som regn, snø eller sludd vil være avhengig av tidspunktet for nedbøren. Det er også registrert regn for døgn med lav middeltemperatur og snø for døgn med høy. Dette kan skyldes væromslag i løpet av døgnet. En kald og klar natt kan være etterfulgt av en mild dag hvor nedbøren kommer som regn. Dette vil kunne føre til en snøsmelting mens modellen som tar utgangspunkt i døgnmiddeltemperaturen vil kunne simulere sludd eller snøtilførsel. På samme måte kan nedbøren falle som snø om natten når temperaturen er lav selv om døgnmiddeltemperaturen tilsier regn eller sludd. Eksempler på slike episoder ble diskutert i forbindelse med Figur 6-4 og Figur 6-5.

Hovedproblemene med tilpassing av snø mot målingene fra markvannsstasjonen og den meteorologiske stasjonen kan oppsummeres med følgende punkter:

- Ustabile milde vintre med mange fryse/tine episoder
- Stasjonene ligger vindutsatt til
- Bruk av døgnmiddelverdier for klimavariablene
- En viss usikkerhet tilknyttet nedbørsdataene

På grunn av disse forholdene kan det ikke ventes å oppnå noen betydelig bedre tilpassing enn den som er funnet her. Generelt er det bra samsvar mellom simuleringer og de observerte snøendringene for kaldere perioder, mens det ved milde og ustabile perioder er vanskelig å treffe godt.

6.1.2 Teledybde

Hvorvidt vannet fra snøsmelting og regn i vintersesongen infiltreres i jorda eller renner av som overflateavrenning styres av teleforholdene i jorda. Når vann fryser til is i jorda, endres jordas vannledningsevne. Vannledningsevnen i frossen og delvis frossen jord, vil være avhengig av andelen av porevolumet okkupert av flytende vann og is i tillegg til jordas vannledningsevne i frostfri tilstand. Også vannets strømningsveier i jorda påvirkes av telen. I modellen er det valgt å la telen begrense infiltrasjonen både i de små og i de store porene i jorda.

Forenklet kan en si at teledybden vil avhenge av transporten av varme bort fra telefronten. Varmen som skal transporteres bort fra telefronten vil være summen av varme transportert fra den ikke frosne jorda (jordvarmefluksen) pluss latent varme frigjort ved frysing. Varmefluksen mot jordoverflaten avhenger av varmeledningsevnen i det frosne laget og jordas overflatetemperatur. Siden frysing av vann frigjør varme vil teledybden variere med jordas vanninnhold. Men kanskje viktigst for teledybden er forekomsten av snø og snøens tetthet. Varmeledningsevnen i nysnø er ca 10 ganger lavere enn i frossen jord og et tynt lag nysnø vil derfor påvirke jordas overflatetemperatur. Resultatet av telesimuleringene er derfor avhengig av tilpassingen av modellen for snø.

Ved bruk av Gandahls telemåler, måles teledybden direkte. I perioden for parametrisering er kun enkelte slike målinger foretatt og kun de to første vintrene. Teledybden er også estimert ut fra målinger med motstandsensorer som omtalt i kapittel 5. Frysing av vann i jorda virker som en uttørking og dette gir en klar økning i den målte motstanden. Teledybden kan derfor estimeres ut fra daglige målinger med motstandsensorer på forskjellige dyp. Som nevnt i kapittel 5 gir dette et grovere estimat på grunn av at avstanden mellom sensorene er 15 cm.

En oversikt over målt og simulert teledybde i parametriseringsperioden er vist i Figur 6-2 sammen med snødybden. Både telens maksimale dybde og varighet varier mye mellom årene. Tabell 6-3 gir en oversikt over vinterforholdene i parametriseringsperioden. Tabellen viser summen av døgntemperaturer lavere enn 0 °C (frostsum), antall dager med simulert snødekke (snødybde > 0,03 m), middel snødybde på disse dagene og summen av nedbøren som faller på dager med snødekke.

Tabell 6-3: Oversikt over vinterforholdene de ulike årene i parametriseringsperioden

	Frostsum	Snødekke		Nedbør
	°C	Døgn	Middel (m)	mm
2000/2001	-382,8	66	0,14	133,7
2001/2002	-213,1	122	0,19	425,1
2002/2003	-335,1	104	0,24	310,7
2003/2004	-162,4	96	0,13	314,8
2004/2005	-184,7	131	0,14	404,9

Øverst i Figur 6-9 er det vist 2 kalde vintre, 2000/2001 og 2002/2003, med frostsum på henholdsvis -383 og -335 (Tabell 6-3). For den første vinteren er det simulert snødekke 66 dager med snødekke og 104 dager for den andre vinteren. Vinteren 2000/2001, viser både simuleringer og målinger med motstandssensor tele ned mot 50 cm dyp. For denne vinteren er det få manuelle telemålinger og ingen målinger viser tele dypere enn 12 cm. Siden dette er en kjølig vinter med lite snø er det sannsynlig at teledybden har vært

større enn dette. Simuleringene viser at snøen legger seg noe senere i desember enn det som er registrert ved den meteorologiske stasjonen. Telen går noe raskere ned enn hva som er målt på markvannsstasjonen. Etter en smelteperiode i februar simulerer modellen at nær all snøen smelter. Observasjonene fra den meteorologiske stasjonen viser en snødybde på 4-5 cm etter denne perioden. Modellen simulerer at all telen i jorda tiner vekk ved denne smelteperioden. Teledybden estimert fra motstandsmålinger holder seg dyp selv om også disse viser en opptining denne perioden. De manuelle målingene viser tendens til minkende teledybde etter denne smelteperioden. Den følgende perioden er det noe mer snø og både målinger og simuleringer viser en ganske stabil teledybde. Simulert teledybde og tidspunkt for tining stemmer godt med de manuelle målingene. På markvannsstasjonen er det målt snødybder opptil 20 cm høyere enn ved den meteorologiske stasjonen. Tidspunktet for siste snøsmelting kommer en del tidligere ved den meteorologiske stasjonen enn ved markvannsstasjonen. Simuleringene samsvarer godt med observasjonene fra markvannsstasjonen.

Vinteren 2002-2003 simulerer modellen en større (opptil 45 cm) snødybde enn hva som ble registrert ved den meteorologiske stasjonen ved Værnes lufthavn. Simulert teledybde og teledybden estimert fra motstandsmålinger stemmer ganske bra overens. Tendensen er den samme som for 2000-2001 til at simulert tele synker noe raskere på forvinteren, mens telen estimert fra motstandsmålinger er noe lavere sent på vinteren.

Nederste del av Figur 6-9 viser resultatene for en mild vinter (2001/2002) (frostsum = -213) med simulert langvarig snødekke (122 dager) og en mild vinter (2003/2004) (frostsum=-162) med kortere varighet av snødekke (96 dager). Vinteren 2001/2002 er det ikke registrert tele fra målinger med motstandssensorene. Også simuleringene viser liten teledybde og for det meste mindre enn dybden til øverste motstandssensor. Vinteren 2003/2004 er det målt tele fra 20. januar til midten av februar mens simuleringene gir litt tidligere tele og også senere tidspunkt for smelting. Simuleringene stemmer bra overens med den observerte snødybden ved flyplassen på forvinteren 2003. Senere denne vinteren er det registrert to smelteperioder ved den meteorologiske stasjonen der all snøen smelter. Modellsimuleringene viser at snøen ikke smelter vekk, og ved den ene av disse episodene simulerer modellen økt snødybde.

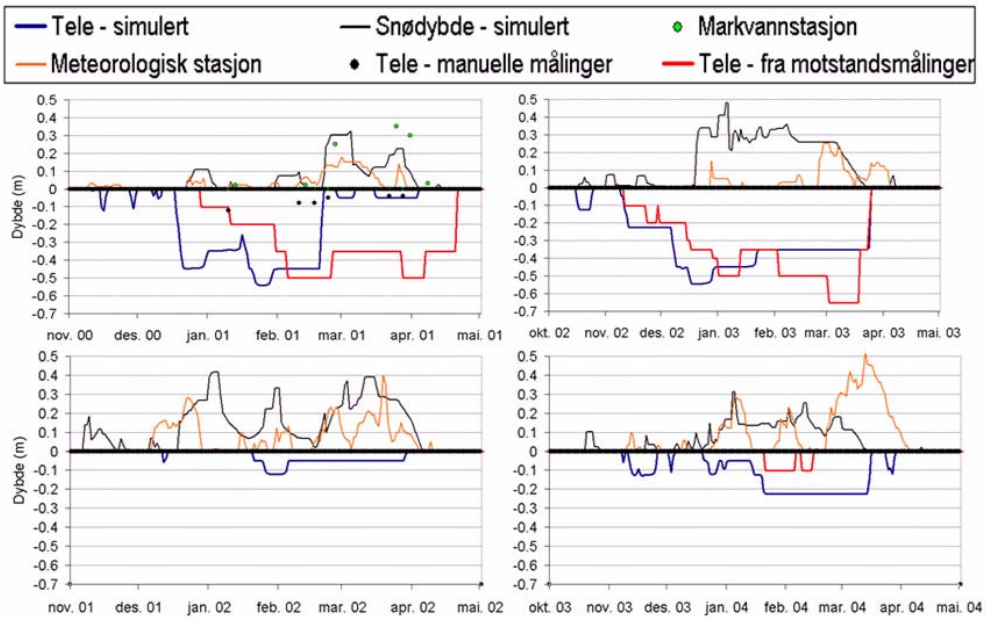
Statistiske resultater av telesimuleringene er vist i Tabell 6-4. Det er få manuelle målinger i parametriseringsperioden og stor forskjell mellom teledybden målt manuelt og teledybden fra motstandssensorene. Simuleringene stemmer brukbart overens med teledybden målt med motstandssensorer årene der snødekkets varighet treffer observasjonene godt. Figur 6-10 viser simulert tele plottet mot estimert teledybde fra samtidige motstandsmålinger. Mye av avviket skyldes også begrensningen i bruk av motstandsmålinger til estimering av teledybde på grunn av avstanden mellom sensorene i profilet. Modellen simulerer noe mer tele enn observasjonene med motstandssensorene viser, spesielt tidlig om vinteren. Tidspunktet for tining av tele om våren er imidlertid bedre noe som er viktig i forhold til infiltrasjon av smeltevann og regn.

Tabell 6-4: Resultat av tilpassing av tele mot målinger ved markvannsstasjonen. Sammenhengen med teledybden fra motstandssensorene er vist for dager der enten disse viser tele eller simulert teledybde er større enn >-0,01 m.

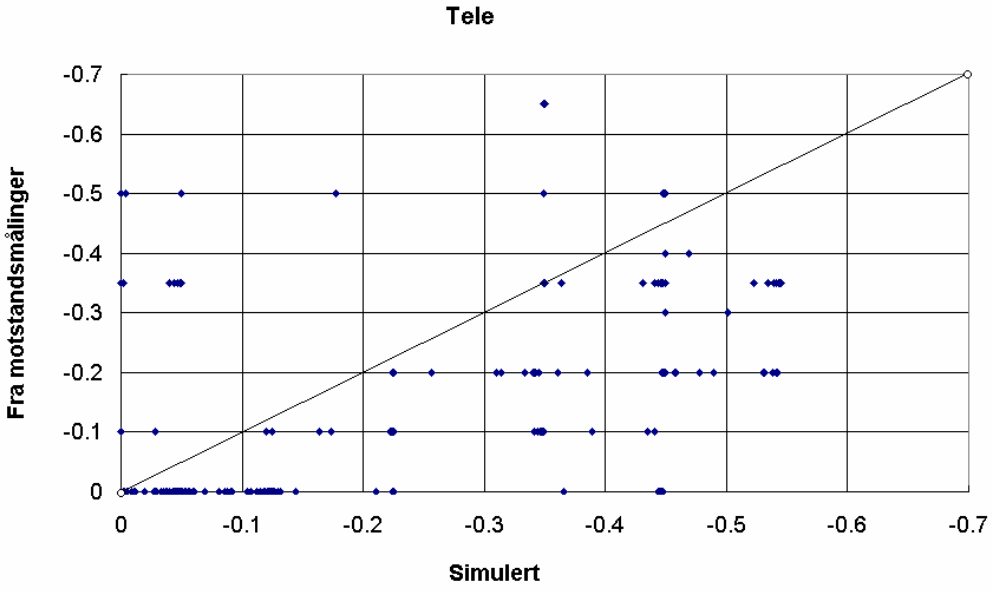
Teledybde	Observasjoner (N)	R^2	Intersept	Helningskoef.	RM (1)	RMSE (2)
Manuelle målinger	23	0,14	-0,07	0,06	-0,01	0,13
Fra motstand	535	0,23	-0,06	0,59	-0,02	0,19

(1): RM = 1/N∑(sim-målt)

(2): RMSE= √(∑/(sim-målt)^2)/N)



Figur 6-9: Simuleringer og målinger av snø og teleforhold på to kalde (øverst) og to milde vintre (nederst) i parametriseringsperioden.



Figur 6-10: Telesimuleringer plottet mot samtidige målinger av tele med motstandssensorer (1:1 linje tegnet inn)

6.2 Jordtemperatur

Det er utført målinger av jordtemperatur på markvannsstasjonen siden 1999 med sensorer på dypene 5 cm, 15 cm, 30 cm, 45 cm, 75 cm, 90 cm og 150 cm. Dataene benyttet i parametriseringen av modellen er døgnmiddelmålinger. Der måledypene faller mellom to lag i modellen er det valgt å sammenligne med det overliggende laget. Dette gjelder for måledybdene 5 cm, 30 cm og 90 cm. Målingene for dypene 15 cm, 45 cm, 75 cm og 150 cm er vist sammen med simulert jordtemperatur i det tilsvarende laget i Figur 6-11.

Temperatursvingningene over året stemmer godt overens, men det er en tendens til større svingninger ved simuleringene enn observert med temperatursensorene på markvannsstasjonen. Dette gjelder særlig ved dypene 5 cm, 30 cm og 90 cm. Dette kan forventes siden målingene er sammenlignet med simuleringer fra overliggende lag. Modellen simulerer noe mindre endring over året for laget 140-160 cm enn målingene fra 150 cm dybde ved markvannsstasjonen viser. Generelt er det en liten tendens til at årsmiddel av jordtemperaturen underestimeres. Middelverdier, ekstremer og frostsum i hvert lag for målinger og simuleringer i perioden er vist i Tabell 6-5.

Tabell 6-5: Simulert og målt temperatur ved ulike dyp i profilet. Første kolonne viser simuleringslag og måledybde. Deretter følger snittemperaturer og de høyeste og laveste temperaturene for perioden i °C og frostsum for perioden.

Dybde (cm)		Median		Kaldest		Varmest		Sum t < 0 °C	
Simulert	Målt	Simulert	Målt	Simulert	Målt	Simulert	Målt	Simulert	Målt
0-5	5	6,7	6,9	-10,2	-6,7	23,9	21,6	-159,0	-238,0
10-20	15	6,5	6,5	-5,4	-6,2	21,9	20,7	-55,0	-186,0
20-30	30	6,3	6,6	-3,2	-4,1	21,2	19,4	-28,0	-107,0
40-50	45	6,2	6,9	0,0	-1,3	19,5	17,8	0,0	-13,0
70-80	75	6,3	6,7	0,4	-0,6	18,4	16,5	0,0	-2,0
80-90	90	6,4	6,6	0,6	0,3	16,4	15,0	0,0	0,0
140-160	150	6,0	6,0	1,6	0,2	12,5	16,2	0,0	0,0

Laveste simulerte temperatur i toppen at profilet, ved 5 cm, er lavere enn målt ved markvannsstasjonen. Dypere i profilet er den laveste simulerte høyere enn den målte. Ved 45 cm dybde er det målt kuldegrader 21 døgn ved markvannsstasjonen i løpet av parametriseringsperioden. Det er målt temperaturer lavere enn 0 °C på 75 cm dyp 7 døgn av perioden 01.01.2000 – 31.12.2005. Det er ikke simulert temperaturer kaldere enn 0 °C dypere enn sjiktet 30 cm-40 cm der det er simulert en minimumstemperatur på -0,9 °C. I Tabell 6-6 er det vist statistiske mål for sammenhengen mellom målt og simulert jordtemperatur. Middeldifferensen (RM) mellom simulert og målt viser en svak tendens til at jordtemperaturen for alle dyp underestimeres svakt, i middel av størrelsesorden 0.2-0.5 C. Usikkerheten i temperaturmålingene er som omtalt i kapittel 5 relativt stor, minst +/- 0,2 °C. Temperatursensorene er ikke kontrollert og kalibrert på laboratorium før nedsetting.

Tabell 6-6: Statistiske mål for sammenhengen mellom simulert og målt jordtemperatur.

Dybde	Observasjoner (N)	R^2	Intersept	Helningskoef.	RM [(1)]	RMSE [(2)]
5 cm	2026	0,89	0,20	0,92	-0,37	2,21
15 cm	2077	0,92	0,18	0,94	-0,26	1,73
30 cm	2092	0,92	-0,09	0,96	-0,38	1,73
45 cm	2085	0,93	-0,47	0,98	-0,59	1,54
75 cm	2118	0,94	-0,09	0,96	-0,37	1,29
90 cm	2119	0,91	-0,04	0,97	-0,22	1,38
150 cm	2064	0,95	1,15	0,81	-0,07	1,03

(1): RM = 1/N∑(sim-målt)

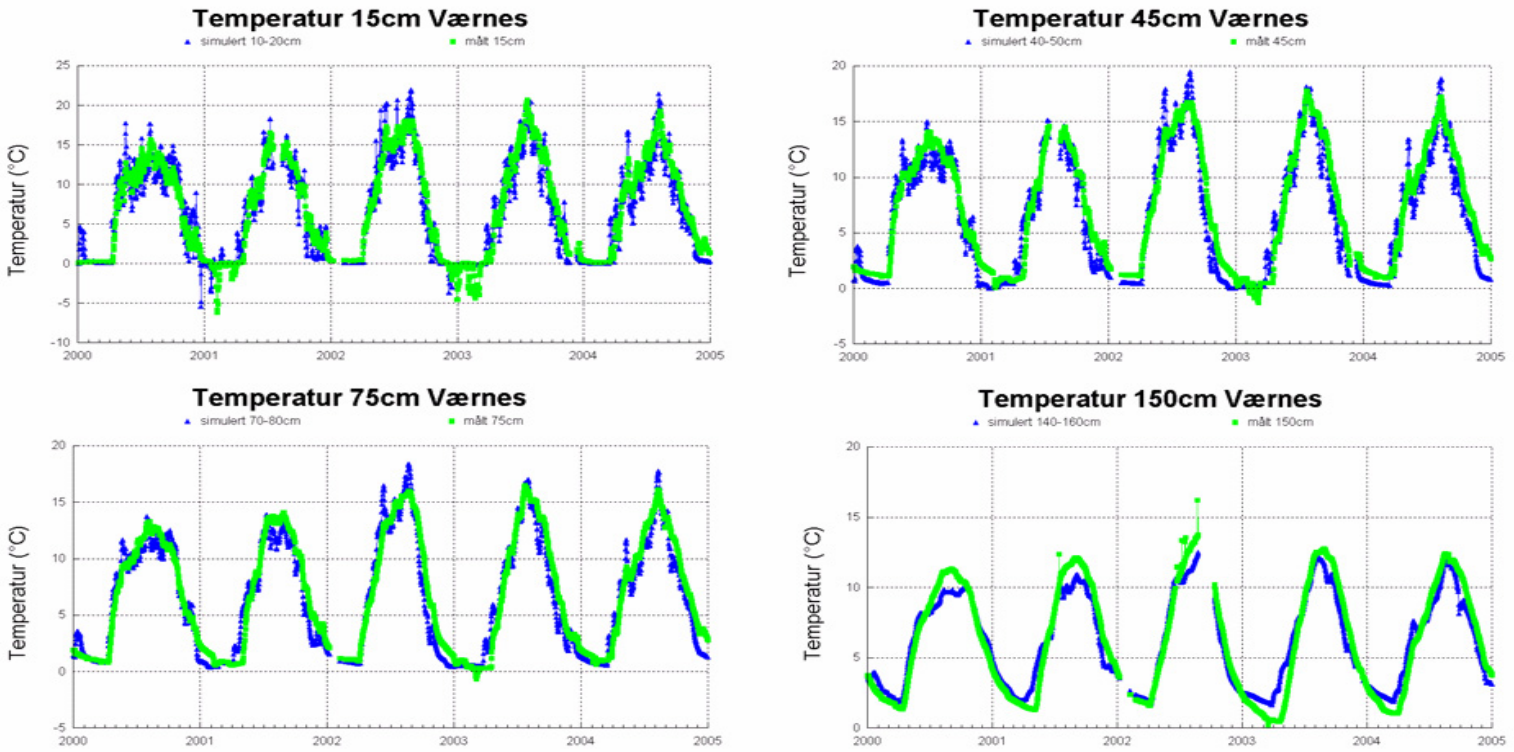
(2): RMSE= √(∑/(sim-målt)^2)/N)

For å få en litt bedre oversikt over hva som skjuler seg bak middelavviket så er resultatene for 5, 45 og 90 cm beskrevet nærmere. For dypet 5 cm er det vanligvis tele ut fra motstandsmålingene, for 45 cm er det tele bare i enkelte år (2 år i perioden) og for 90 cm dyp er det ikke registrert tele i perioden.

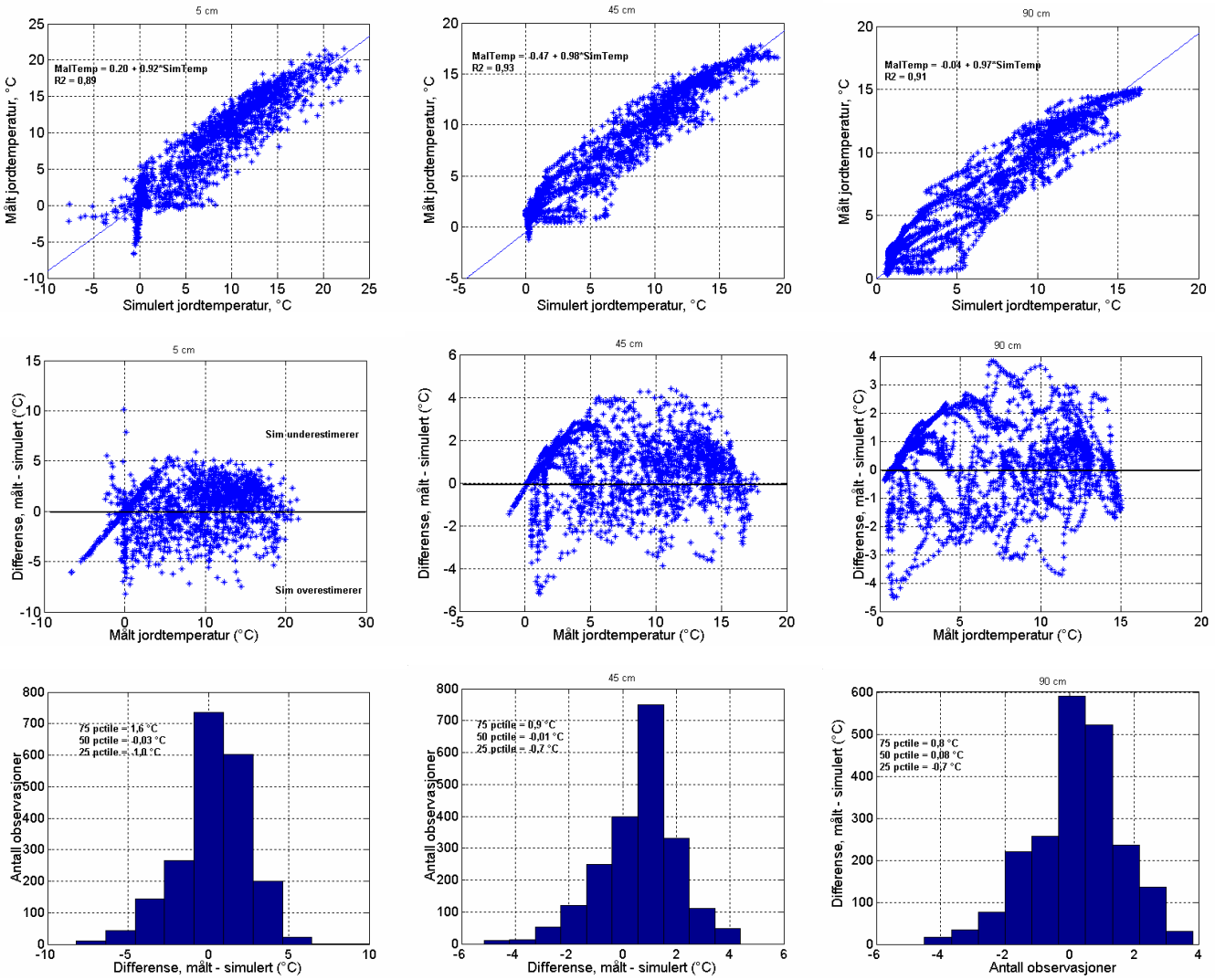
Øverste rad i Figur 6-12 viser simulert jordtemperatur plottet mot målt jordtemperatur med regresjonslinjen inntegnet. Midtre rad i figuren viser forskjellen mellom målt og simulert jordtemperatur plottet mot målt jordtemperatur på x-aksen. Nedre rad av figuren viser et frekvensdiagram for avviket målt minus simulert. I figuren er også vist median differanse (50 % percentilen) samt percentilene for 25 og 75 %.

Plottene av målt og simulert jordtemperatur viser god sammenheng og helningskoeffisienten for regresjonslinjen er svært nær en 1:1 linje. En kan merke seg de nærmest ”rette symbollinjene” nær 0 °C. En rett linje parallelt med x-aksen viser at simulert temperatur er rundt 0 °C mens målt jordtemperatur er < 0 °C. En ser også lignende tendenser parallelt med y-aksen. Samme tendens, men svakere, finner en også for 45 cm dyp. Siden denne effekten er tilknyttet frost i jord så finnes denne tendensen ikke for 90 cm dyp. For 5 og 45 cm dyp er det ingen klar tendens til at differensen mellom målt og simulert jordtemperatur varierer med målt jordtemperatur. For 90 cm dyp er det en svak tendens til at simuleringene overestimerer jordtemperaturen ved lave målte temperaturer og en svak underestimering ved de høye temperaturene. Dette fremgår også i figuren hvor jordtemperaturen er plottet som funksjon av tid.

Histogrammene i nederste rad i figuren viser at 50 % av avvikene mellom målt og simulert ligger innenfor rundt ± 1 °C, men med enkelte forskjeller opp mot 5-10 °C. De store forskjellene er, som figuren i den midtre raden viser, ofte tilknyttet temperaturer nær 0 °C.



Figur 6-11: Simulert og målt temperatur i parametriseringsperioden for dypene 15 cm, 45 cm, 75 cm og 150 cm.

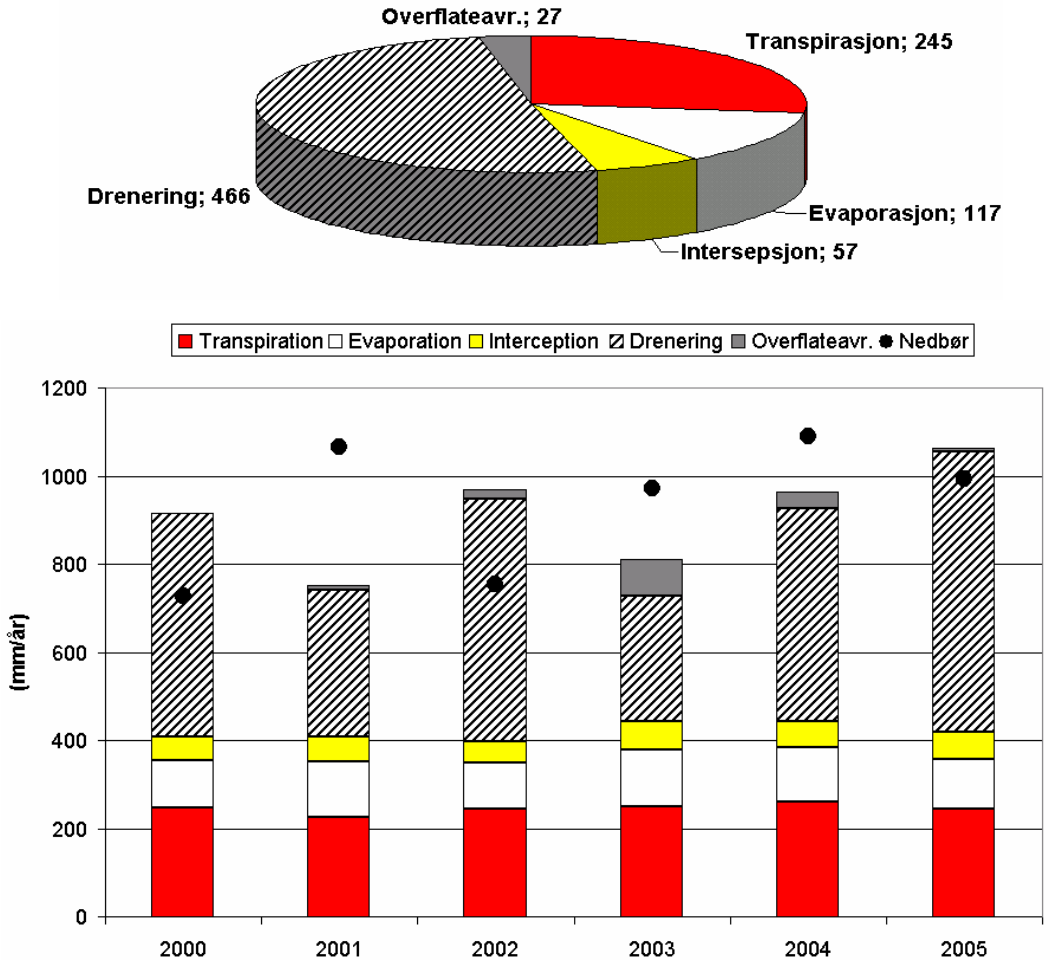


Figur 6-12: Sammenheng mellom målt og simulert jordtemperatur for 5 cm, 45 cm og 90 cm dybde. Øverste rad viser simulert jordtemperatur plottet mot målt jordtemperatur med regresjonslinjen inntegnet. Midtre rad viser forskjellen mellom målt og simulert jordtemperatur plottet mot målt jordtemperatur på x-aksen. Nedre viser et frekvensdiagram for avviket målt minus simulert. I figuren er også vist median differanse (50%) samt percentilverdier for 25 og 75%

6.3 Vannbalanse

Dette kapittelet 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 lag. Det er ikke tatt hensyn til lateral transport av grunnvann. Alt vann blir tilført profilet fra overflaten i form av nedbør og smeltevann og går ut ved evapotranspirasjon og drenering. Vanntilførsel som overskrider jordas infiltrasjonskapasitet vil føre til overflateavrenning.

Figur 6-13 viser simulerte vannbalansekomponenter i mm/år for hvert år i (nederst) og gjennomsnittsverdier for transpirasjon, evaporasjon, drenering, overflateavrenning og interseptert vann (øverst). Tabell med verdier for de ulike årene, normaler og ekstremer for perioden er gitt i Vedlegg 6. Årlig nedbør i perioden er fra 728 til 1089 mm. Dette er verdier justert med standardverdier i modellen for overgang fra punktmålinger til arealnedbør, dvs. korrigert for vind. Gjennomsnittelig justert årsnedbør er 933 mm/år, hvorav 849 mm infiltreres i det øverste laget. Den gjennomsnittlige totale evapotranspirasjonen er simulert til 420 mm hvorav 174 mm er fordamping av vann fra jordoverflata (evaporasjon) inkludert tap av intersepsjonsvann. Vannbalansen for de ulike simuleringslagene med vannopptak og vertikal vannstrømning i profilet er gitt i tabellform for hvert år samt normaler og ekstremer i Vedlegg 7 og Vedlegg 8.



Figur 6-13: Vannbalanse simulert for parametriseringsperioden 2000-2005.

6.3.1 Vannopptak og matrikspotensial

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

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

1. Vekststart om våren og vekstavslutning om høsten estimeres til når 7-døgnsmiddel av lufttemperatur passerer 5 °C (også brukt i engvekstmodell)
2. Utviklingstrinn som funksjon av varmesum. Utgangspunktet her er følgende antagelser:
    a. Plengraset på Ås har i middel en høyde på ca 4 cm ca 10/5
    b. Plengraset på Ås har i middel nådd et rotdybde på 50 cm ca 1/6.
3. For å relatere punkt 2 til varmesum ble varmesum (basistemperatur 0 °C) mellom vekststart og 10/5 beregnet ut fra målt lufttemperatur på Ås i perioden 1961-1990, d.v.s. 30 års data. På tilsvarende måte ble beregninger fra vekststart til 1/6 foretatt. Dette ga følgende resultater:
    a. Varmesum 10/5 var 151±67 døgngrader. Bruker 150 døgngrader som kriterium.
    b. Varmesum 1/6 var 376±67 døgngrader. Bruker 350 døgngrader som kriterium.
    c. Varmesum for maks bladarealutvikling (LAI=3) satt til 200 døgngrader.

Med lufttemperaturer målt for normalperioden 1961-1990 ved den meteorologiske stasjonen på Værnes, vil plantevekstutviklingen for plen få et forløp som vist i Tabell 6-7. Eksempel på plengrasutvikling estimert fra lufttemperaturmålinger ut fra forutsetningen gitt ovenfor er vist i Figur 6-14. Maksimum rotdybde er i satt til 50 cm. Maksimal rotutvikling nås i middel den 3. juni. Rotfordelingen i profilet er antatt lineær.

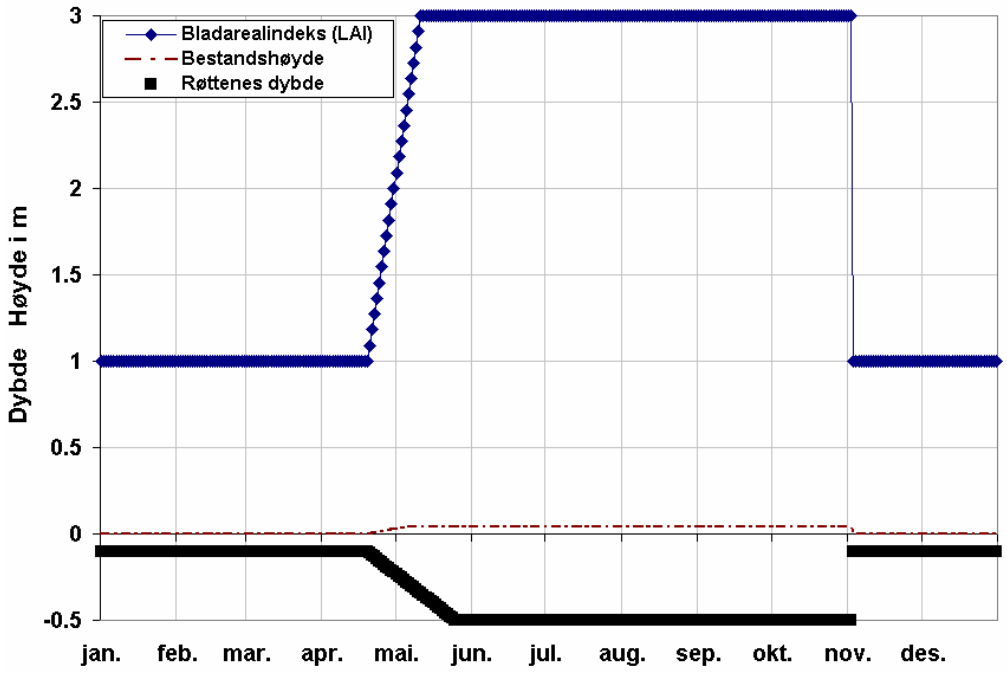
Resultatene fra simuleringene for parametriseringsperioden viser at plantenes vannopptak i gjennomsnitt er 245 mm/år (se Vedlegg 6, Vedlegg 7 og Figur 6-13). Dette utgjør i snitt 58 % av det totale simulerte fordampingstapet.

Fordeling av opptaket fra ulike lag i modellen er vist øverst i Figur 6-15. Nedenfor er akkumulert vannopptak som funksjon av dybde fremstilt som fraksjon for hvert år i parametriseringsperioden. Høyeste og laveste årlige vannopptak er henholdsvis 259 og 226 mm. Den største forskjellen mellom årene ligger i vannopptaket fra de dypere lagene,

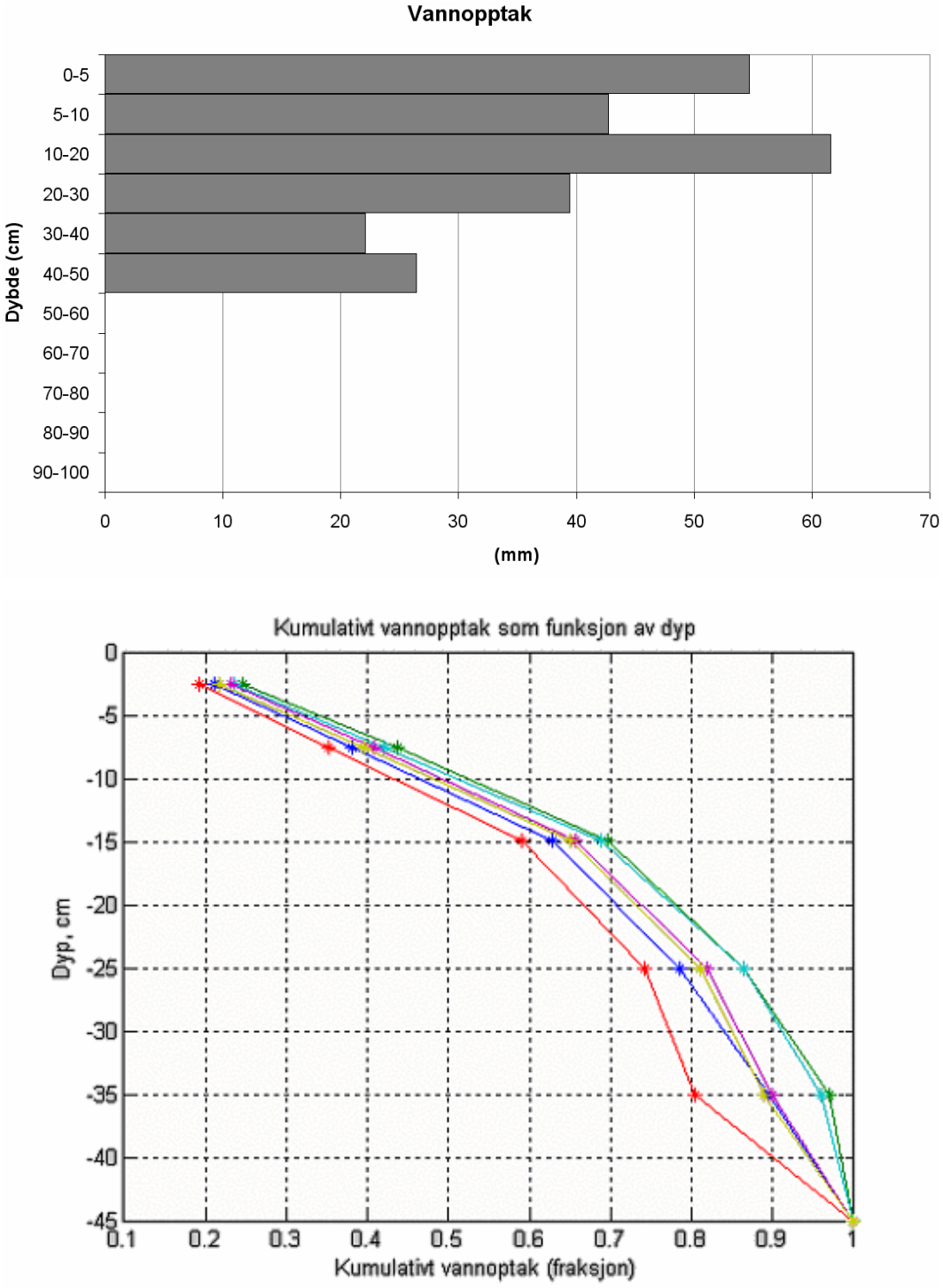
noe som gjenspeiler graden av tørke de ulike årene. For alle årene viser simuleringene at 60-70 % av vannet tas opp fra de øvre 20 cm i jorda. Det finnes ikke målinger som kan verifisere dette, men verdiene samsvarer med simuleringer fra korn og eng.

Tabell 6-7: Dagsnummer og dato for ulike utviklingsstadier for plengras estimert for perioden 1961-1990 ut fra lufttemperaturdata fra den meteorologiske stasjonen på Værnes.

Utviklingstrinn	Middel	Standard-Avvik	Tidligst	Seinest
Vekststart	115 25/4	8	99 9/4	127 7/5
Plantehøyde = 4 cm nåes	134 14/5	8	125 5/5	147 27/5
LAI=3 nåes	140 20/5	7	131 11/5	151 31/5
Rotdyp=50 cm nåes	155 3/6	4	150 30/5	161 10/6
Vekstslutt	296 23/10	12	273 30/9	322 18/11



Figur 6-14: Eksempel på plengrasutvikling med bladarealindeks (LAI), bestandshøyde og rotdybde estimert fra lufttemperaturmålinger fra den meteorologiske stasjonen på Værnes.



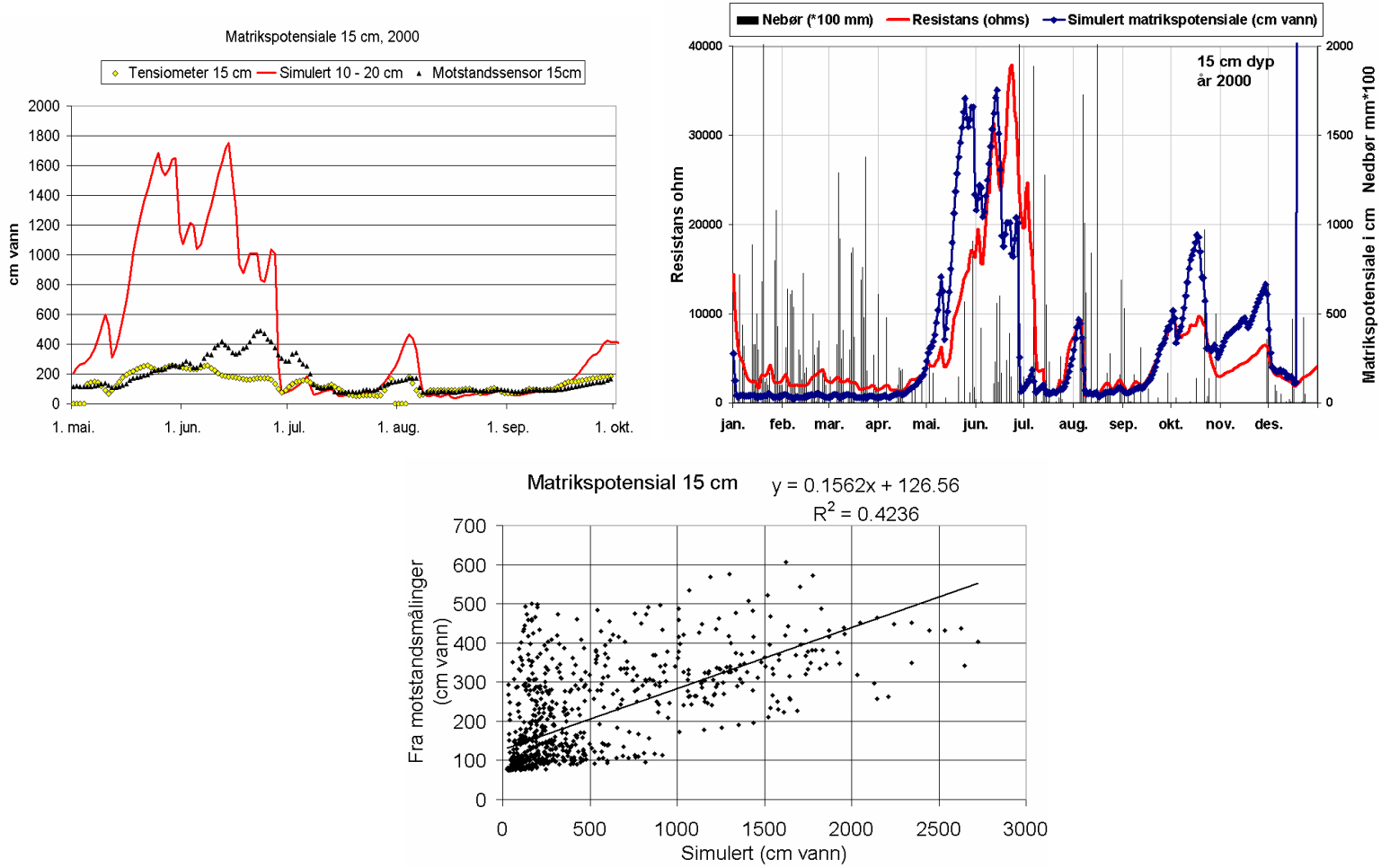
Figur 6-15: Vannopptak som gjennomsnittlige årlige verdier for hvert simuleringslag (øverst) og akkumulert over dyp simulert for årene 2000-2005.

For parametrisering av modellen med hensyn på vanninnhold er det benyttet målinger med motstandssensorer som beskrevet i kapittel 5. I tillegg er det utført enkelte målinger med tensiometer for det første året i perioden.

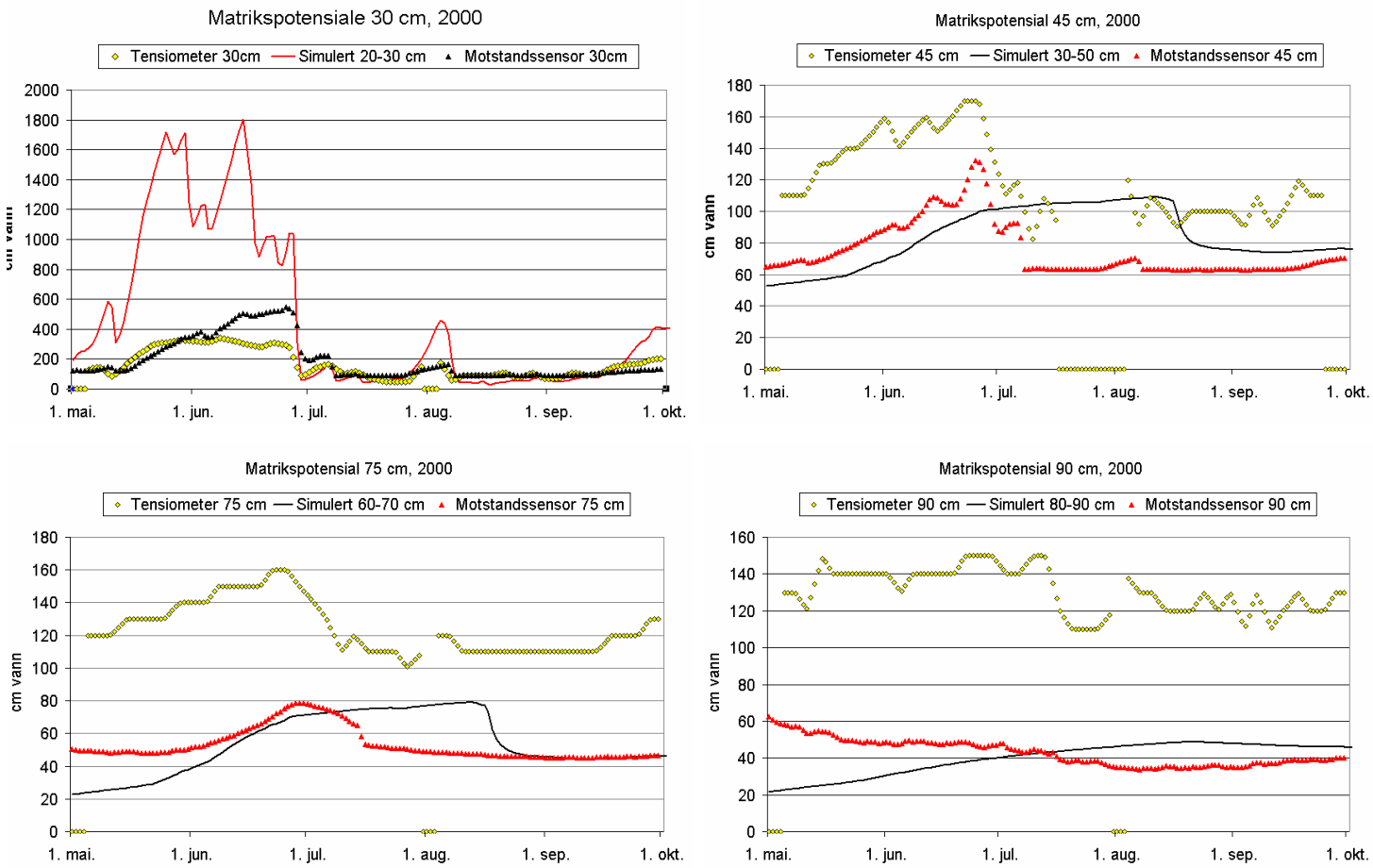
Figur 6-16 viser matrikspotensial for 15 cm. Øverst til venstre i figuren er simuleringene for laget 10-20 cm sommeren 2000 vist sammen med målinger med tensiometer og matrikspotensial utledet fra målinger med motstandssensor på 15 cm dybde. Nivået stemmer godt ved vekstsesongens begynnelse og slutt, men modellen simulerer større uttørking spesielt på forsommeren i forhold til hva målingene viser. Dette kan tyde på at den reelle planteutviklingen er noe senere enn antatt. Også opptørkingen i høstmånedene er noe for høy. Sammenhengen for endringer og tidspunkt for endringer er likevel relativt god. Øverst til høyre i figuren er motstandsmålingene i ohm plottet sammen med simulert potensial på ulike akser for å illustrere sammenhengen. Endringene i simuleringene stemmer imidlertid mye bedre overens med tensiometermålingene enn med de konvergerte motstandsverdiene. Dette beror på den store usikkerheten heftet til kalibreringen av motstandssensorene. Figuren med simulert matrikspotensial og målt elektrisk motstand er vist for hele året 2000. Mot slutten av året gjør simulert potensial et stort sprang uten at motstandsblokkene reagerer tilsvarene. Dette kommer av at modellen simulerer tele ved 15 cm mens det ikke registreres tele her før på nyåret.

Den nedre delen av Figur 6-16 viser simuleringer av matrikspotensial plottet mot samtidige matrikspotensial fra motstandssensorer i sommerhalvåret. Frost virker derfor ikke inn på sammenhengen vist her.

Figur 6-17 viser simuleringer og målinger for sommeren 2000 for dypene 30 cm, 45 cm, 75 cm og 90 cm. Også simuleringene i laget 20 til 30 cm viser et større vannopptak enn motstandsmålingene og tensiometermålingene fra 30 cm skulle tilsi. Forløpet for øvrig er som for 15 cm for matrikspotensial. For de dypere lagene er sammenhengen mellom målinger og simuleringer dårligere, men simuleringene treffer noenlunde samme nivå som målingene med motstandsblokker. Det er store forskjeller mellom nivå for matrikspotensial fra tensiometer og motstandsblokker i disse dypene. Tensiometermålingene viser tørrere jord enn det estimert fra motstandsmålingene. For dypene 45 cm og 75 cm simulerer modellen generelt for store svingninger i matrikspotensialet sommertid for årene i parametriseringsperioden. Dette tyder på noe stort simulert vannopptak fra dypere lag. Simuleringene viser at i gjennomsnitt ca 10 % av vannopptak skjer i det dypeste laget med røtter (40-50 cm). Absolutte verdier for matrikspotensial fra motstandsblokker er som nevnt svært usikre på grunn av dårlig kalibreringsgrunnlag. Det finnes ikke målinger med tensiometer under tørre forhold. Sensorene har også et begrenset måleområde (fra 100-200 cm H_2O til 2000 cm H_2O) og store deler av tiden ligger matrikspotensialet utenfor oppgitt gyldighetsområde. På grunn av målingenes usikkerhet kan det ikke trekkes noen sikker konklusjon om hvor godt modellen simulerer matrikspotensial og vanninnhold i jordprofilet.

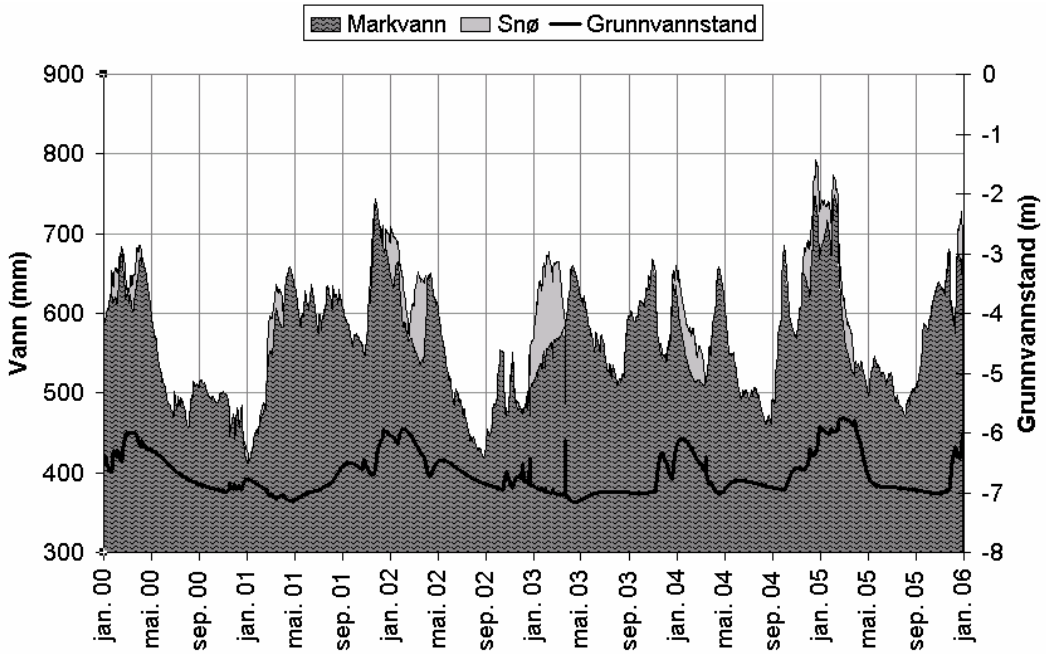


Figur 6-16: Matrikspotensialet ved 15 cm dybde i 2000 simulert og målt med tensiometer og estimert fra motstandsmålinger. Øverst til høyre er motstandsmålingene og simulert matrikspotensial plottet på hver sin akse.



Figur 6-17: Matrikspotensial for sommeren 2000 simulert og målt med motstandssensorer og tensiometer for 30 cm, 45 cm, 75 cm og 90 cm dybde.

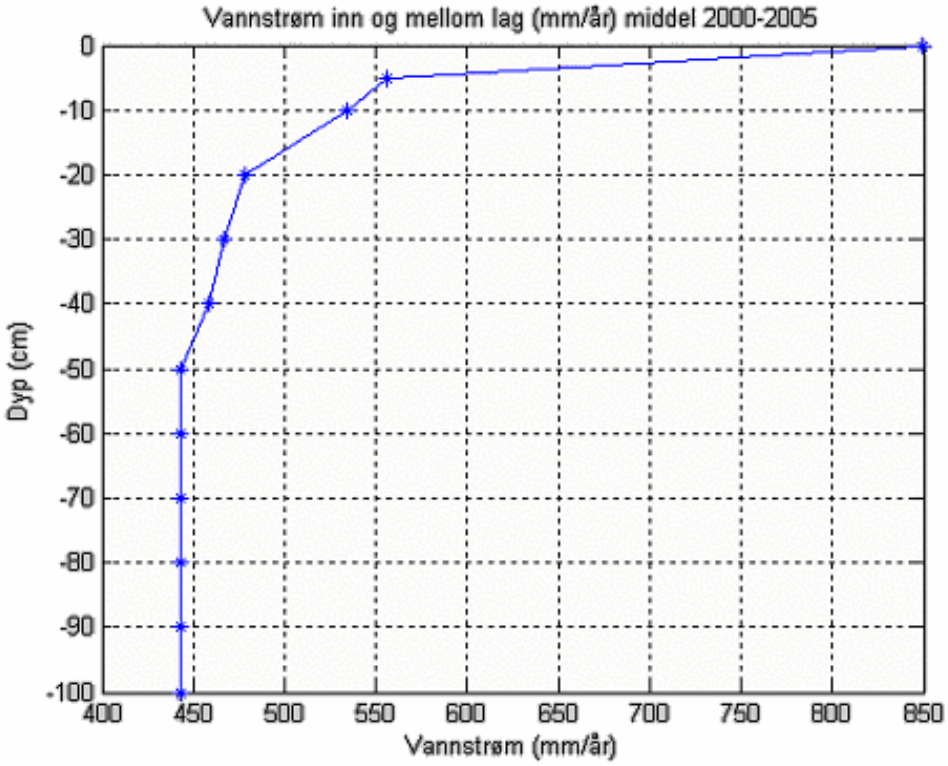
Figur 6-18 viser vann lagret i den umettede sonen i jorda, markvannet, og vannet lagret i snøpakken samt simulert grunnvannsnivå (se kapittel 6.2.2). Absolutte verdier for mengden grunnvann i profilet er ukjent da den totale tykkelsen av sedimenter ved markvannsstasjonen ikke er målt. Det er antatt homogene jordkarakteristika under 75 cm. Figuren viser at den aktive delen av vannlageret (vannlagerets variasjonsområdet) er ca 350 mm vann. Snølageret er betydelig mindre. Vannlageret i jorda når de laveste verdiene ved kalde vintre og tørre somre.



Figur 6-18: Simulert lager av markvann og snø og grunnvannsstand i parametriseringsperioden.

6.3.2 Drenering og grunnvannnsstand

Vannstrømning mellom lagene i modellen beregnes ved simuleringene som mm/døgn der positiv retning er nedover og oppoverrettet transport ved kapillær stigning er negativ. Figur 6-19 viser gjennomsnittlig vanntransport mellom lagene pr. år som funksjon av dyp. Under plantenes maksimale rotdybde (50 cm) er vanntransporten relativt stabil, og 443 mm vann passerer ved 100 cm dybde årlig.



Figur 6-19: Medianverdier for vannopptak, drenering og vannstrømning mellom de ulike lagene i modellen gitt i mm vann pr. år for perioden 01.01.2000 til 30.12.2005

Vannet transporteres vekk fra profilet ved hjelp av et dreneringssystem konstruert i modellen. Sammen med jordas hydrauliske egenskaper (se kapittel 4.2) er parametrisering av dreneringssystemet avgjørende for god tilpassing av grunnvannsstanden med hensyn til nivå og fluktuasjon. Grunnvannsstanden er i modellen satt til øverste nivå der jorda er vannmettet.

Ved parametrisering av modellen for simulering av grunnvannspeilets nivå er det benyttet målinger fra markvannsstasjonen som beskrevet i kapittel 5. Grunnvannsstanden er målt ved markvannsstasjonen siden den ble opprettet i 1992. Målingene ble automatisert med logger i 1999.

Det er valgt en lineær løsning for drenering der den horisontale strømningen ut er proporsjonal med den mettede vannledningsevnen og hydrauliske gradienten. Gradienten avhenger av det konstruerte drenssystemet i modellen. Dybden til drensrørene og avstanden mellom disse gis ved parametere. Beste tilpassing er funnet ved å sette drensrørene til 7,4 m dybde (ca 5 cm lavere enn laveste målte grunnvannsstand for parametriseringsperioden). Det er oppnådd best resultat med 800 m avstand mellom rørene. Avstanden fra profilet til drensrørene er da 400 m. Markvannsstasjonen på

Værnes ligger på en elveslette ved Stjørdalselva. Korteste avstanden fra stasjonen til elva er ca 300 m.

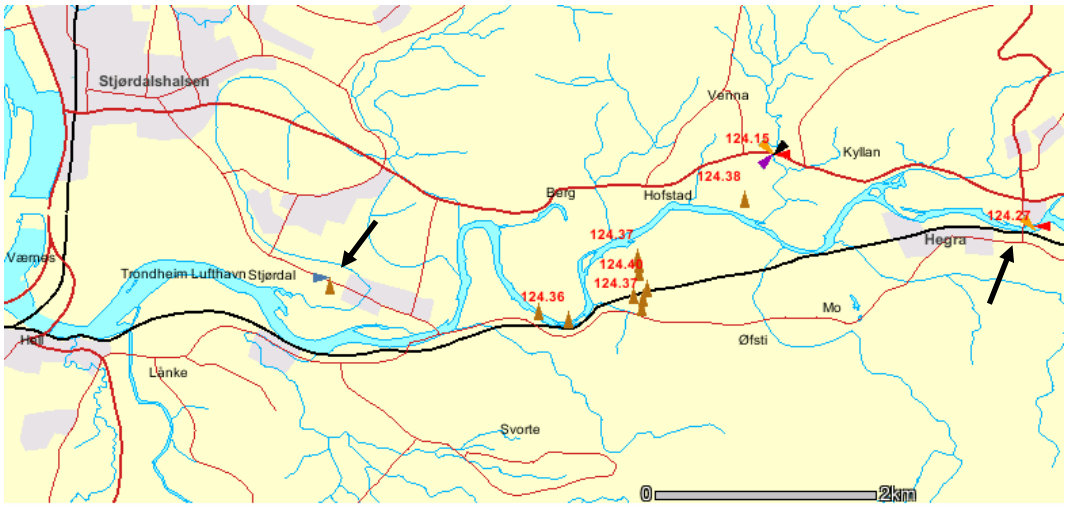
Sonderboringer og grunnvannsbrønner i nærheten til markvannsstasjon viser at elvesletten består av grove sedimenter (grusholdig sand) inntil ca. 7-11 m dyp, deretter av sandig silt og siltig leire (GRANADA, NGU). Man kan anta at bunnsedimentene i Stjørdalselva også består av siltig leire, noe som kan redusere utveksling av vann mellom grunnvann og elvevann kraftig.

For de fleste elveslettene i Norge vil grunnvannsstanden endre seg praktisk talt like mye som elvevannsstanden i vassdraget (Colleuille et al., 2005). Imidlertid, i større avstand fra elvene (flere hundre meter), ved finkornete materialer og stort grunnvannstilsig fra høyereliggende områder utjevnes påvirkningen fra elvevannsstanden.

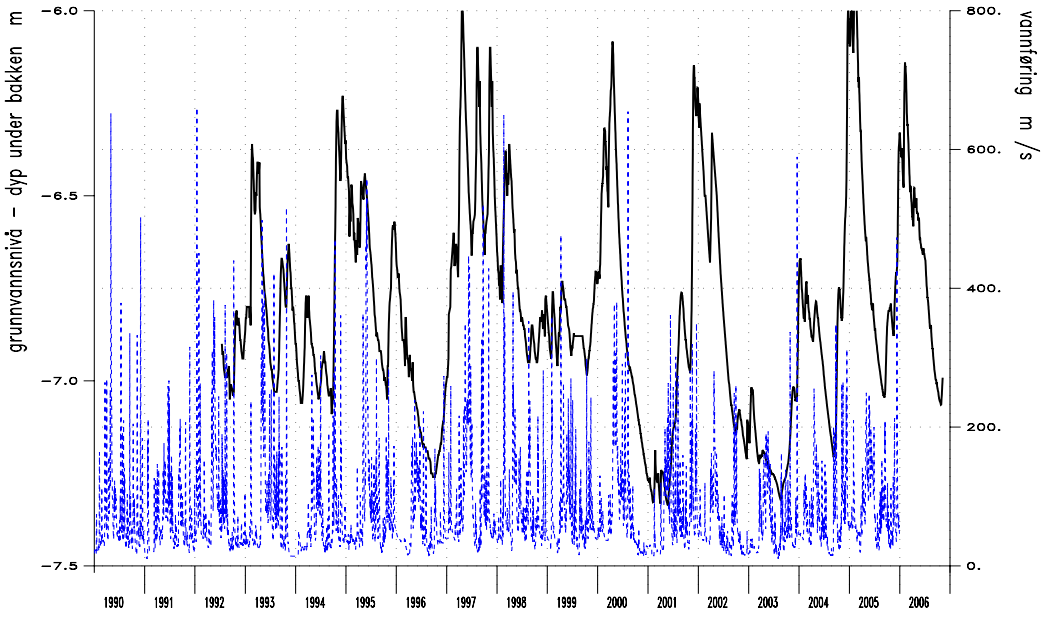
Det er høydeforskjellen mellom grunnvann og elvevannet som hovedsakelig styrer retningen på vannutvekslingen. Når grunnvannsstanden er høyere enn elvevannsstanden, strømmer grunnvannet mot elven. Når elvevannsstanden er høyere enn grunnvannsstanden, infiltreres grunnvannsmagasinet av elvevann. Rask økning av elvevannsstand kan føre til at elvevannet strømmer inn i elvebreddene. Denne prosessen, kalt ”bank storage” på engelsk, kan skyldes rask snøsmelting, kraftig regn (flom), eller tømming av et reguleringsmagasin. Mesteparten av vannmengden som strømmer inn i grunnvannsmagasinet, går tilbake til elva når vannstanden synker igjen. Prosessen fører til en temporær lagring av elvevann. Den er ofte rask og kan vare fra noen timer inntil noen uker. Prosessen er beskrevet i Colleuille et al. (2004 og 2005). Hvis elvevannet er så høyt at en del av elvesletta blir oversvømt, oppstår omfattende grunnvannsdannelse i det oversvømte arealet.

Nedenfor følger en drøfting av sammenhengen mellom elvevannsstand og grunnvannsstanden målt ved markvannsstasjonen. For bedre å kunne vurdere om det foreligger en sammenheng mellom vannstanden i elva og grunnvannsstanden ved markvannsstasjonen er det sett på hele perioden med grunnvannsmålinger siden stasjonen ble opprettet i 1992. Grunnvannsrøret ved markvannsstasjon Værnes er ikke nivellert mot en fast punkt, slik at det er vanskelig å bedømme utveklingsretninger ut fra høydeforskjell mellom elvevannsstand og grunnvannsstand. Analyse av daglige variasjoner i elvevannsstand målt på Hega bru (Figur 6-20) og grunnvannsstand ved markvannsstasjonen viser at det ikke er noen direkte sammenhengen mellom elvevannsstand og grunnvannsstand (R^2 = 0,14, n: 2940, periode: 1992-2005). Elvevannsstanden varierer mer enn 3 m mens grunnvannsstanden varierer ca. 1.5 m. Figur 6-21 viser vannføring i Stjørdalselva og grunnvannsstand ved markvannsstasjonen. Det kan fra dette antas at bunnsedimentene i elva er relativt tette. Strømningsforholdene og utvekslingsprosessene mellom elvevann og grunnvann er imidlertid komplekse. Det kan derfor ikke utelukkes at en rask økning av vannstanden (i elva og i bekken i nærheten til markvannsstasjon) i forbindelse med flom, lokalt kan føre til et høyere grunnvannsnivå.

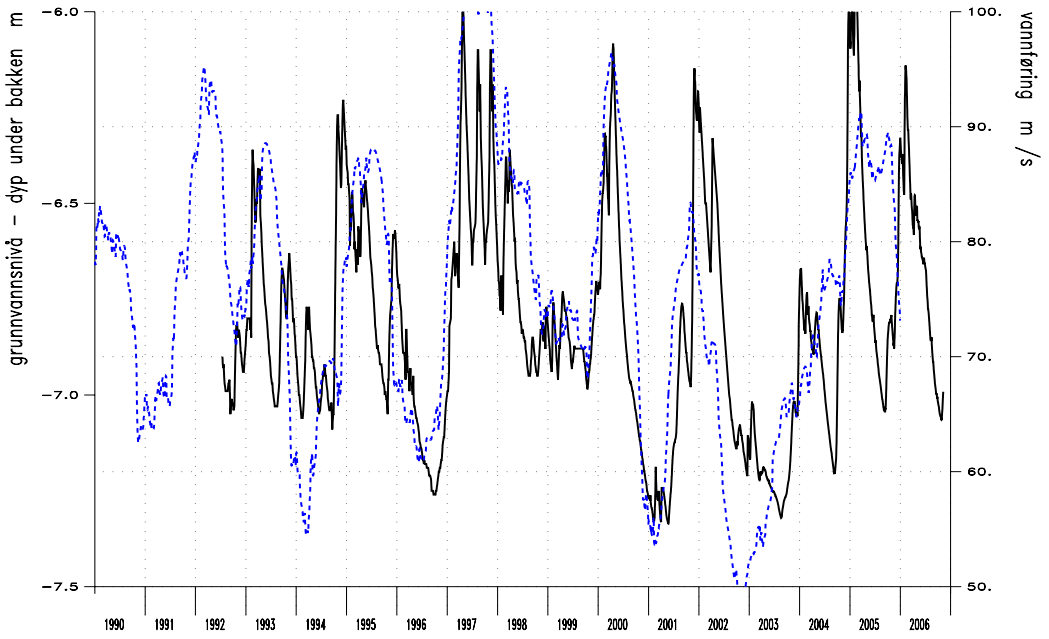
Figur 6-22 viser grunnvannsstand målt på markvannsstasjon sammen med vannføring ved 1 års glidende middel. Ved en slik utjevning av variasjonene i vannføringen i elva finner man en relativ god sammenheng med grunnvannsstanden. Dette indikerer i utgangspunkt kun at vannstandvariasjoner i de to systemene er kontrollert av samme klimaforhold (snøsmelting, frost/is, tørke) og at grunnvannet er kilden til elvevannet. Grunnvannstilsig sørger for at vannføringer i vassdragene opprettholdes. Mesteparten av vannet i elvene i lavvannsperioder kommer fra grunnvann. (Colleuille et al. 2005).



Figur 6-20: Oversiktkart som viser beliggenheten til markvannsstasjon Værnes og målestasjon for elvevannsstand/vannføring Hega bru. Andre stasjonene er nedlagte målestasjoner for grunnvannsstand med data fra 1963 til 1999.



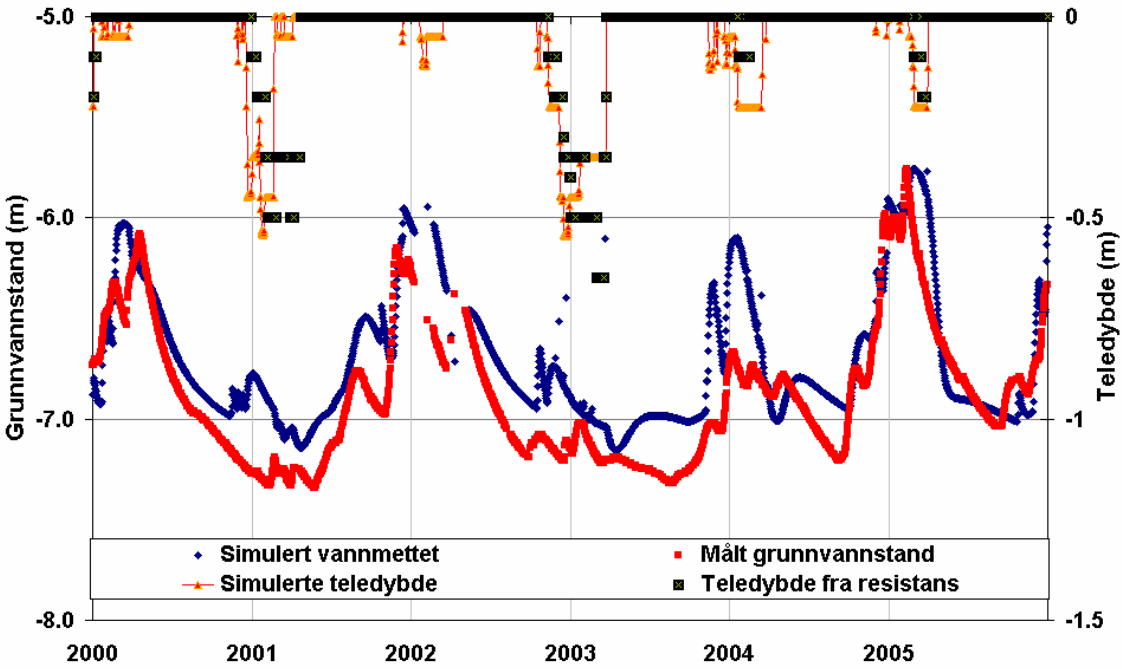
Figur 6-21: Grunnvannsstand målt på markvannsstasjonen (heltrukken) sammen med vannføring målt på Hega bru (stiplet).



Figur 6-22: Grunnvannsstand målt på markvannsstasjon sammen med vannføring (1 års glidende middel) målt på Hega bru (stiplet).

Figur 6-23 viser simulert og målt grunnvannsstand for parametriseringsperioden (01.01. 2000 - 31.12.2005) plottet sammen med teledybden. Det meste av grunnvannsfornyelsen skjer om høsten og vinteren. Grunnvannsstanden fortsetter å synke gjennom store deler av vinteren i 2000 - 2001 og 2002 - 2003. Dette er kalde vintre med mye tele i jorda som begrenser infiltrasjonen av vann (se kapittel 6.1, Tabell 6-3).

Ved de to mildere vintrene omtalt i forbindelse med tele i kapittel 6.1, 2001 - 2002 og 2003 – 2004, stiger grunnvannsstanden til et maksimalt nivå midtvinters. Vinteren 2003-2004 simulerer modellen en mer langvarig tele enn motstandsmålingene skulle tilsi. Denne hindrer infiltrasjonen slik at grunnvannfornyelsen på forvinteren er mindre enn observert. Se også omtale av Figur 6-18.



Figur 6-23: Simulert og målt grunnvannsstand for parametriseringsperioden. Figuren viser også teledybden simulert og estimert fra motstandsmålinger på egen akse.

Statistiske resultater av tilpassingen for grunnvannsstand er gitt i Tabell 6-8. Figur 6-24 og Figur 6-25 viser forholdet mellom målte og simulerte nivåer for grunnvannsstanden. Generelt simulerer modellen et noe høyere nivå enn målingene viser. I Figur 6-24 er simuleringer og målinger plottet mot hverandre. Sammenhengen er forholdsvis god, men hovedtrenden viser et noe høyt simulert grunnvannsnivå. I figuren er 1:1 linjen vist.

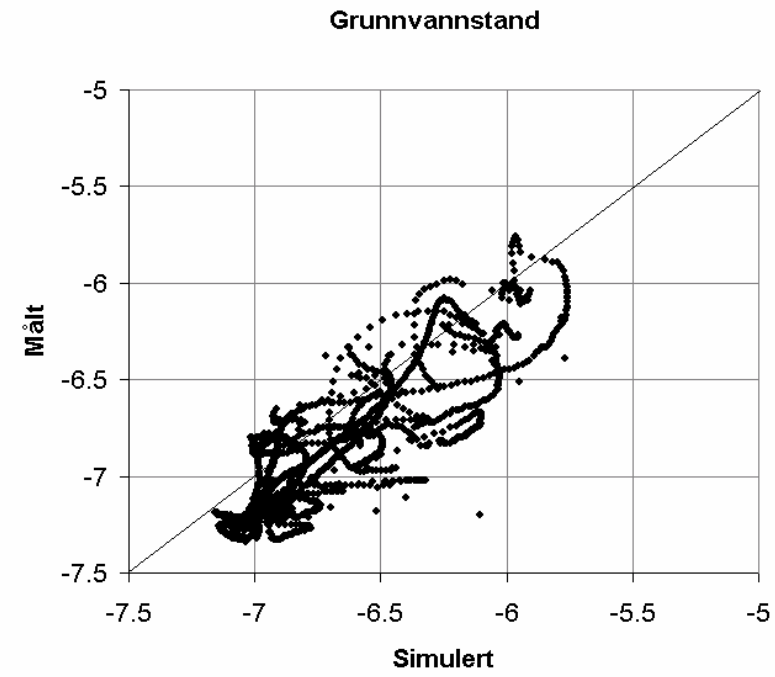
Tabell 6-8: Resultat av tilpassing av grunnvannsstand mot målinger fra markvannsstasjonen.

Observasjoner (N)	R^2	Intersept	Helningskoef.	RM (1)	RMSE (2)
2296	0,58	-2,18	0,70	0,13	0,27

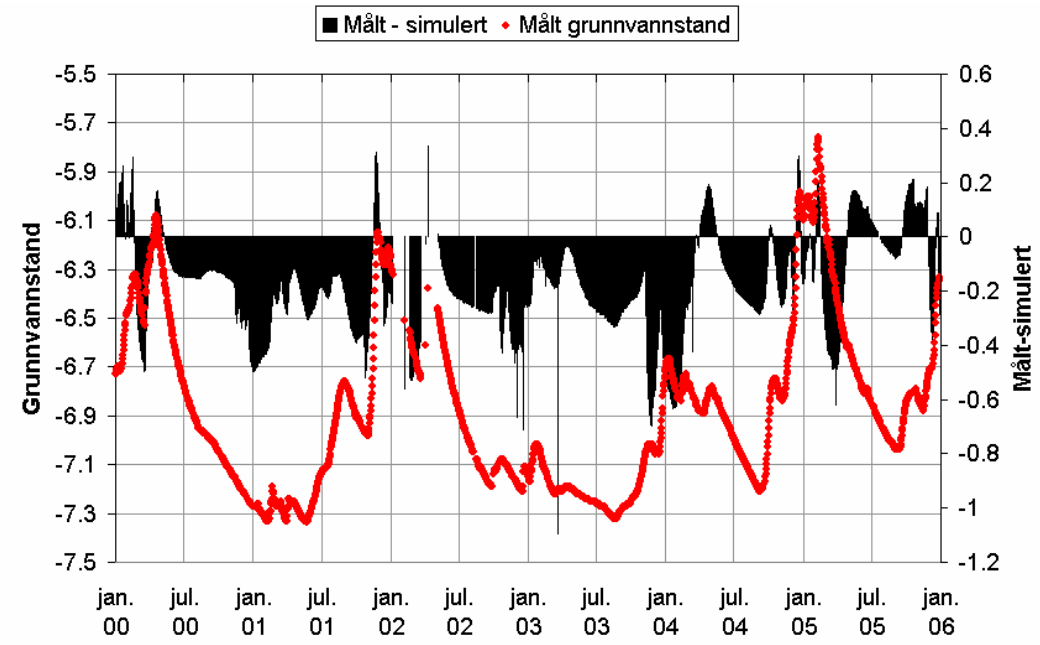
(1): RM = 1/N∑(sim-målt)

(2): RMSE= √(∑/(sim-målt)^2)/N)

Figur 6-25 viser at de største differansene mellom målt og simulert grunnvannsstand forekommer vinterstid i forbindelse med rask grunnvannsfornyelse. Modellsimuleringene når ikke de laveste grunnvannsnivåene. Som vist i kapittel 6.1 er det store forskjeller mellom snødybden målt på markvannsstasjonen og på den meteorologiske stasjonen. I tillegg til forskjellene i mengde og tidspunkt for tilførsel av smeltevann, er snøen av avgjørende betydning for simulering av telen. Siden infiltrasjonen av vann i jord vinterstid er avhengig av teleforholdene, vil avviket mellom målt og simulert grunnvannsstand avhenge av tilpassingen av snø og tele. Det kan heller ikke utelukkes en viss utveksling av vann mellom elva og grunnvannsmagasinet. Slike prosesser kan ikke COUP-modellen simulere.



Figur 6-24: Simulerte verdier for grunnvannsnivå plottet mot samtidige målinger fra markvannsstasjonen. 1:1 linjen er tegnet inn i figuren.



Figur 6-25: Differansen mellom målt og simulert grunnvannsstand (plottet på høyre y-akse) er vist sammen med den målte grunnvannsstanden for perioden benyttet til parametrisering av modellen.

7 Verifisering av modellen

Ut fra tilpasningen av COUP mot målinger ved markvannsstasjon, kom en frem til et parametersett som her videre testes mot målinger fra en annen, uavhengig tidsperiode. Parametrisering av modellen ble foretatt for perioden fra og med 2000 til og med 2005 mens verifisering av modellen er foretatt for perioden fra og med 1992 til og med 1999, d.v.s. fra opprettelsen av markvannsstasjonen frem til automatiseringen av stasjonen.

Manuelle målinger av snødybde, teledybde og grunnvannsstand er sammenlignet med simuleringsresultater. Både snødybde målt på markvannsstasjonen (ca ukentlige målinger) og målinger på den meteorologiske stasjon ved Værnes lufthavn (daglige målinger) er sammenlignet med simuleringsresultatene.

En oversikt over målt nedbør og simulert vannbalanse for de to periodene er vist i tabell 7-1. I gjennomsnitt er verifiseringsperioden litt kjøligere, årsmiddeltemperatur 0,6 °C lavere, og litt tørrere, årsnedbør er ca 20 mm lavere. Simulert fordamping er lavere, i middel nesten 30 mm på årsbasis, noe som i første rekke skyldes lavere transpirasjon. Økning i nedbør og nedgangen i simulert fordamping gir økt mengde drensvann, d.v.s. økt vertikal vanntransport under rotdybden. Utfyllende tabeller over vannbalansen i verifiseringsperioden er gitt i Vedlegg 9 til Vedlegg 11.

Tabell 7-1: Middelverdier for målt lufttemperatur og nedbør samt simulerte vannbalansevariabler for parametrisering- og verifiseringsperioden. Nedbør, just er justert nedbør med standardverdier i modellen for overgangen fra punktnedbør til arealnedbør.

Variabel	Parametriseringsperiode 1/1-2000 til 31/12-2005				Verifiseringsperiode 1/1-1992 til 31/12-1999			
	Middel	**Std.av**	**Min**	**Max**	**Middel**	**Std.av**	**Min**	**Max**
Lufttemperatur	6,3	0,56	5,2	6,8	5,7	0,57	4,8	6,5
Nedbør, målt	858	145	669	1006	838	118	555	938
Nedbør, justert	931	155	728	1089	910	128	603	1018
Fordamping	418	19,0	397	442	391	37,6	339	428
Jordfordamping	119	11,0	106	131	120	20,8	91	143
Transpirasjon	243	10,8	223	256	218	19,4	190	247
Intersepsjon	57	5,6	48	64	53	4,6	45	59
Drenering	457	129	285	631	500	115	280	640
Totalavrenning	484	114	347	638	524	113	312	694

7.1 Snødybde

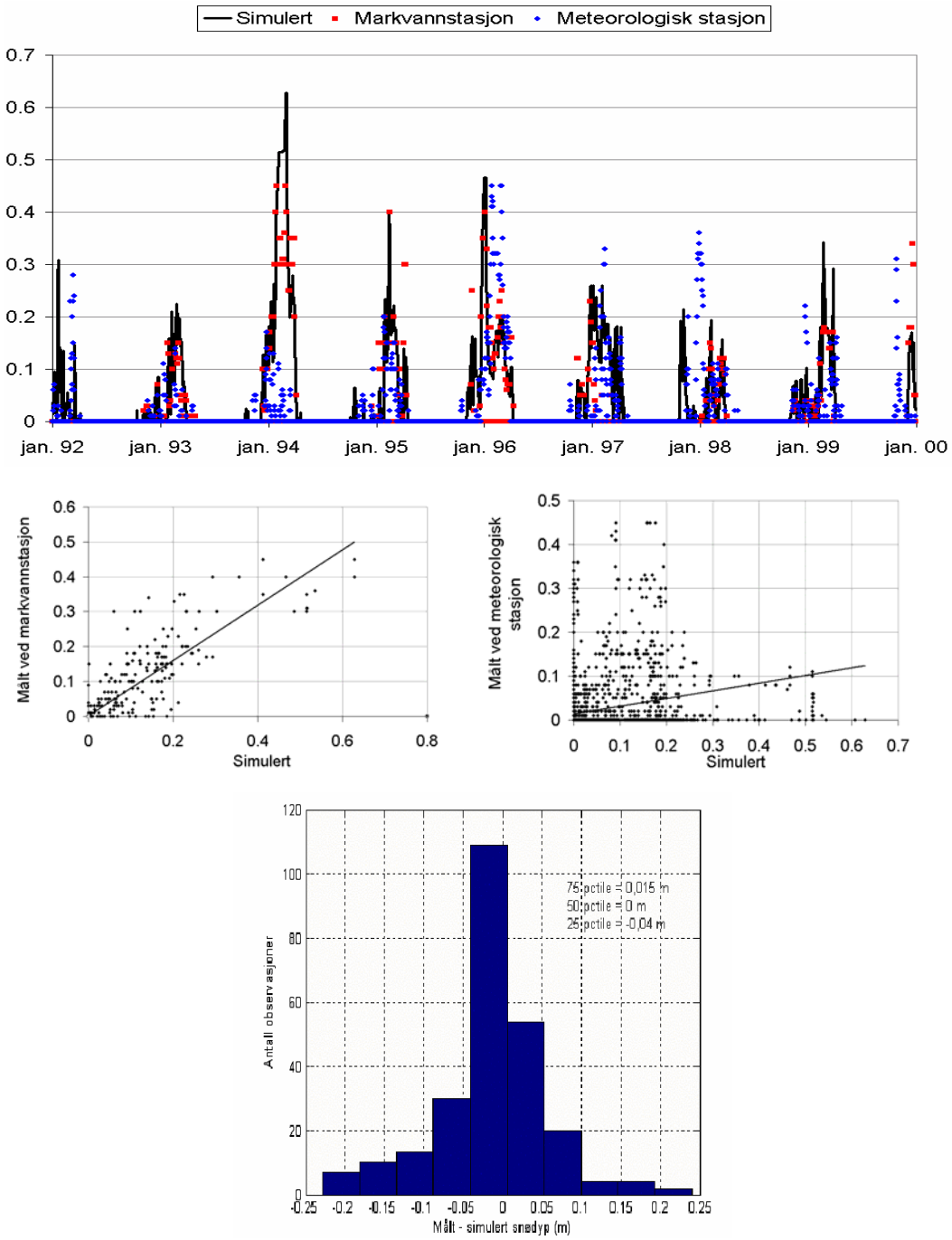
Øverst i Figur 7-1 er det vist et tidsplott av snødybde simulert og målt på markvannsstasjonen og ved den meteorologiske stasjonen ved Værnes lufthavn. Nedenfor er simulert snødybde plottet mot målt snødybde målt ved de to lokalitetene og nederst er et histogram over differensen mellom målt og simulert snødybde vist. En finner samme tendens i avviket mellom målestedene som for parametriseringsperioden, oftest minst snø på den meteorologiske stasjonen. Simuleringene viser fortsatt best overensstemmelse med målingene på markvannsstasjonen. Sammenhengen mellom simulert og målt snødybde er like god om ikke litt bedre i verifiseringsperioden enn i parametriseringsperioden (Tabell 7-2). Histogram for målt minus simulert snødybde for markvannsstasjonen viser at i ca ¾ deler av tilfellene er differensen innenfor ± 0,1 m. Det er en svak tendens til at simuleringene overestimerer snødybden ved liten snødybde. Siden avviket i målt snødybde er såpass stor, er det vanskelig å trekke noen klar konklusjon vedrørende hvor god simulering av snødybden er. For enkelte nedbørsepisoder vil det forekomme avvik som skyldes at døgnmiddel av lufttemperatur brukes som inputvariabel. Bruk av timeverdier ville antagelig forbedret resultatet, men det er måttet ta utgangspunkt i tidsoppløsningen til tilgjengelige meteorologiske data.

Tabell 7-2: Sammenheng mellom simulert snødybde og målt snødybde ved markvannsstasjon og den meteorologiske stasjonen ved Værnes lufthavn for parametriserings- og verifiseringsperioden. Resultatet for sammenhengen med målinger på den meteorologiske stasjonen er vist både for dagene med snømålinger på markvannstasjonen og for alle dager der snødybden er >0.01 m enten simulert eller målt ved met. stasjonen.

Snødybde (m)	Observasjoner (N)	R^2	Intersept	Helningskoef.	RM (1)	RMSE (2)
Markvann st.						
Parametrisering	30	0,53	0,05	1,16	-0,06	0,09
Verifisering	253	0,70	0,02	0,73	0,01	0,07
Met. stasjon						
Parametrisering	30	0,13	0,02	0,30	0,04	0,08
Verifisering	253	0,01	0,04	0,05	0,06	0,16
Parametrisering	810	0,01	-	-	0,06	0,14
Verifisering	1120	0,0	-	-	0,05	0,16

(1): RM = 1/N∑(sim-målt)

(2): RMSE= √(∑/(sim-målt)^2)/N)



Figur 7-1: Verifisering av snødybde for perioden 1992-1999 med tidsblott (øverst), simuleringer plottet mot målinger fra markvannsstasjonen og den meteorologiske stasjonen (midten) og differansen mellom simuleringer og målinger fra markvannsstasjonen (nederst).

7.2 Teledybde

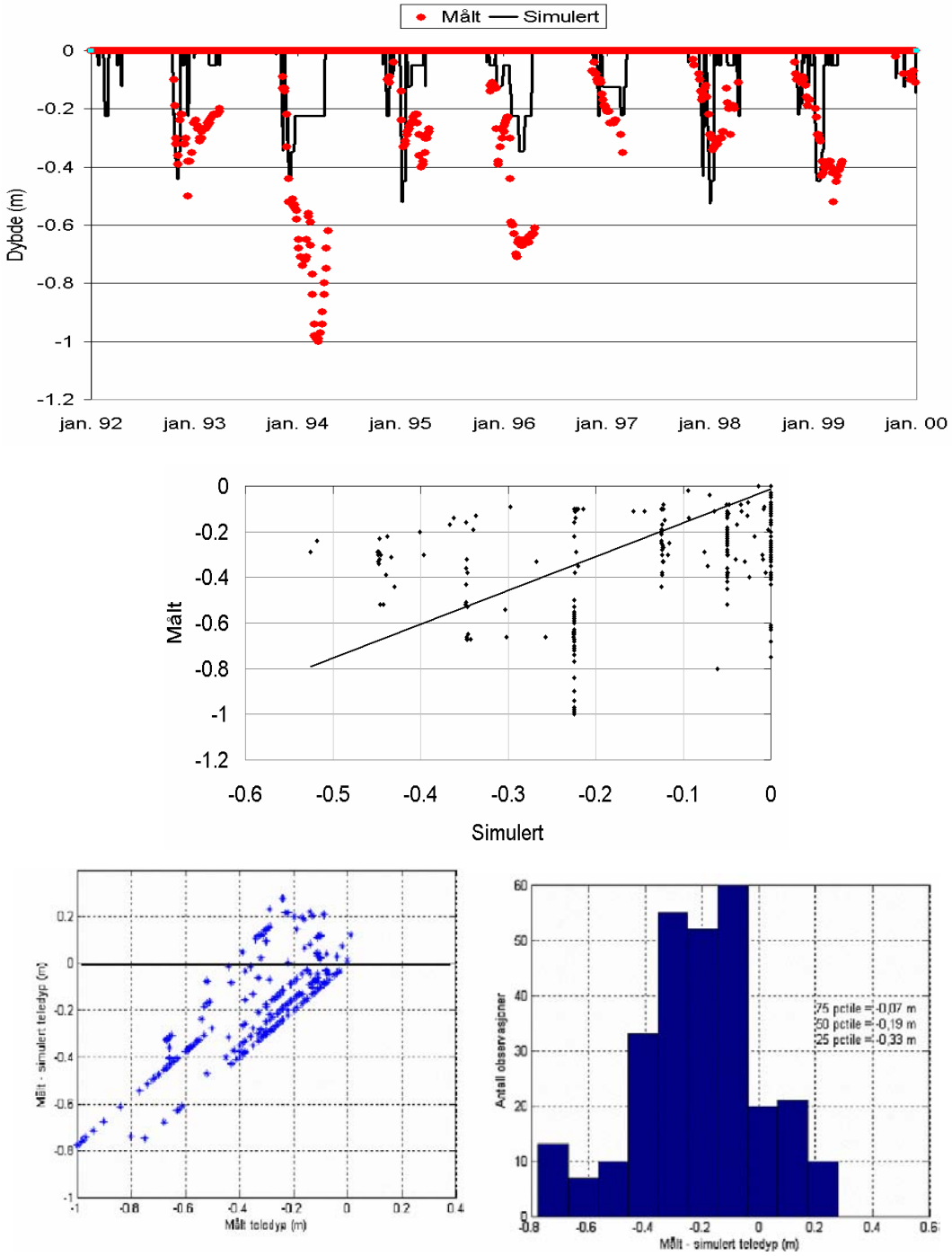
Simulert teledybde og manuelle målinger av nedre teledybde med Gandahls telemåler som funksjon av tid er vist øverst i Figur 7-2. Generelt er den målte nedre grensen for tele dypere enn ved simuleringene, spesielt når teledybden er dypere enn -0,4 m. Dette kommer også klart frem av de to neste plottene i figuren. Median for differensen målt minus simulert teledybde er -0,20 m. For parametriseringsperioden ble det funnet en bedre sammenheng mellom teledybde estimert fra målinger med elektriske motstandsblokker enn manuelle målinger med Gandahls telemåler, se Tabell 7-3. Siden det også er en liten forbedring i sammenhengen mellom målt teledybde med Gandahls telemåler i parametriseringsperioden jevnført med parametriseringsperioden gjør dette at avviket kan aksepteres.

Tabell 7-3: Sammenheng mellom målt og simulert teledybde for parametriserings- og verifiseringsperioden

Teledybde	Observasjoner (N)	R^2	Intersept	Helningskoef.	RM (1)	RMSE (2)
Manuelle målinger						
Parametrisering	23	0,14	-0,07	0,06	-0,01	0,13
Verifisering	281	0,12	-0,26	0,57	0,21	0,30
Fra motstand						
Parametrisering	535	0,23	-0,06	0,59	-0,02	0,19

(1): RM = 1/N∑(sim-målt)

(2): RMSE= √(∑/(sim-målt)^2)/N)



Figur 7-2: Verifisering av telesimuleringer med tidsplott for verifiseringsperioden (øverst), simuleringer plottet mot samtidige manuelle målinger ved markvannsstasjonen (midten) og differansen mellom målinger og simuleringer (nederst).

7.3 Grunnvannsstand

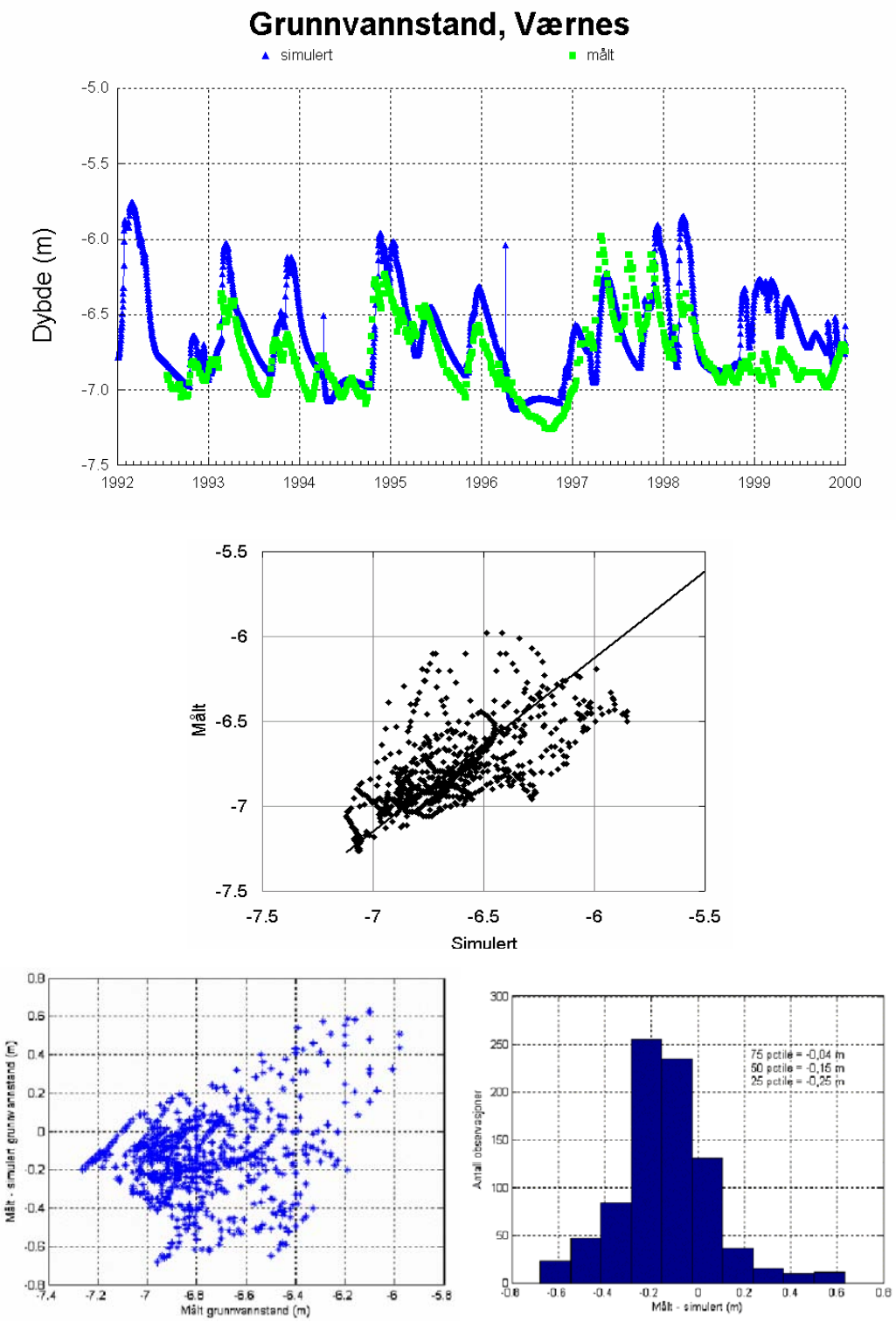
Simulert og målt grunnvannsstand som funksjon av tid er vist øverst i Figur 7-3. Simulert grunnvannsnivå er plottet mot målt i midten av figuren. Nederst er differansen mellom målt og simulert nivå vist plottet mot målt grunnvannsstand og som histogram. Resultatene viser en tilsvarende god sammenheng som for parametriseringsperioden, se Tabell 7-4. Det er samme svake tendens til det simuleres litt for høy grunnvannsstand i perioder med høy grunnvannsstand. Det er også tendens til at når det er målt lav grunnvannsstand er simulert grunnvannsstand høyere i profilet, se nederst til venstre i Figur 7-3. Median av differensen målt minus simulert grunnvannsstand er – 0,15 m. En medianverdi på –0,15 betyr at målt grunnvannsstand er 0,15 m dypere enn simulert grunnvannsstand.

Tabell 7-4: Sammenheng mellom målt og simulert grunnvannsstand i parametriserings- og verifiseringsperioden

Grunnvann	Observasjoner (N)	R^2	Interse pt	Helningskoef.	RM (1)	RMSE (2)
Parametrisering	2296	0,58	-2,18	0,7	0,13	0,27
Verifisering	846	0,44	-2,91	0,58	0,14	0,25

(1): RM = 1/N∑(sim-målt)

(2): RMSE= √(∑/(sim-målt)^2)/N)



Figur 7-3: Simulert og målt grunnvannsstand for verifiseringsperioden

8 Normalverdier

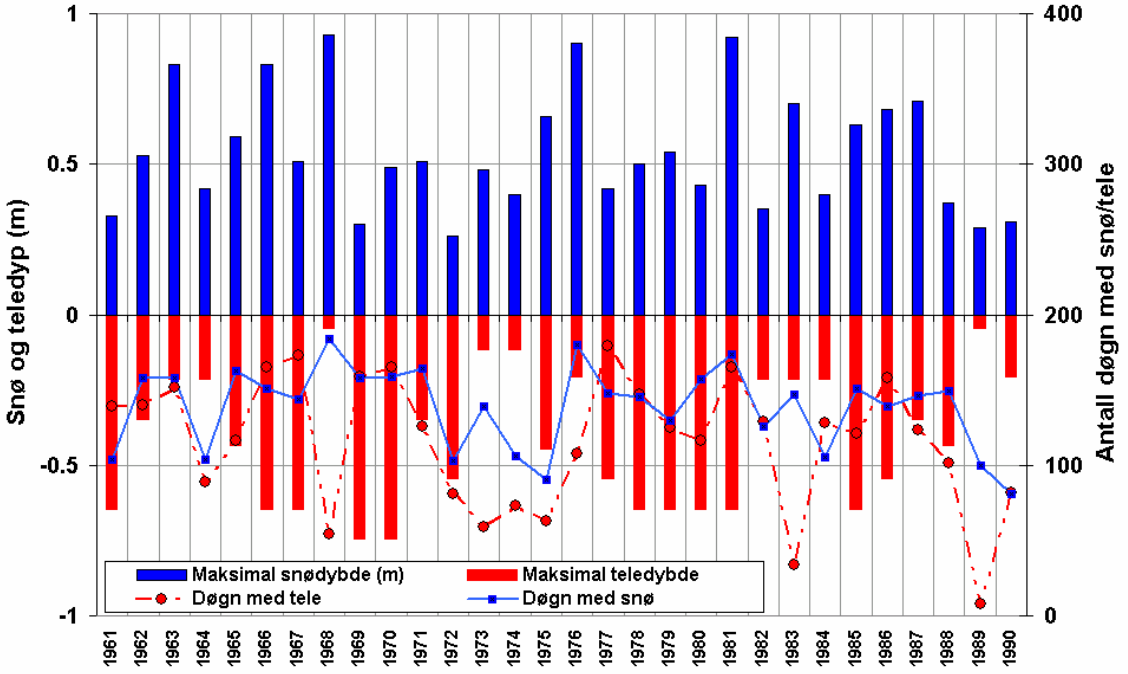
Sammenhengen mellom målinger fra markvannsstasjonen og simuleringene med COUP (kapittel 6 og 7), er såpass god at det er valgt å fremstille normaler og ekstremer for vinterforhold, jordtemperatur og vannbalanse ut fra simuleringer. Til dette er det brukt 30-års perioden 1961-1900, d.v.s. den samme normalperioden som meteorologene benytter. For å få 30 vintre brukes perioden 1/10-1960 til 30/9-1990 for snø og tele.

8.1 Vinterforhold

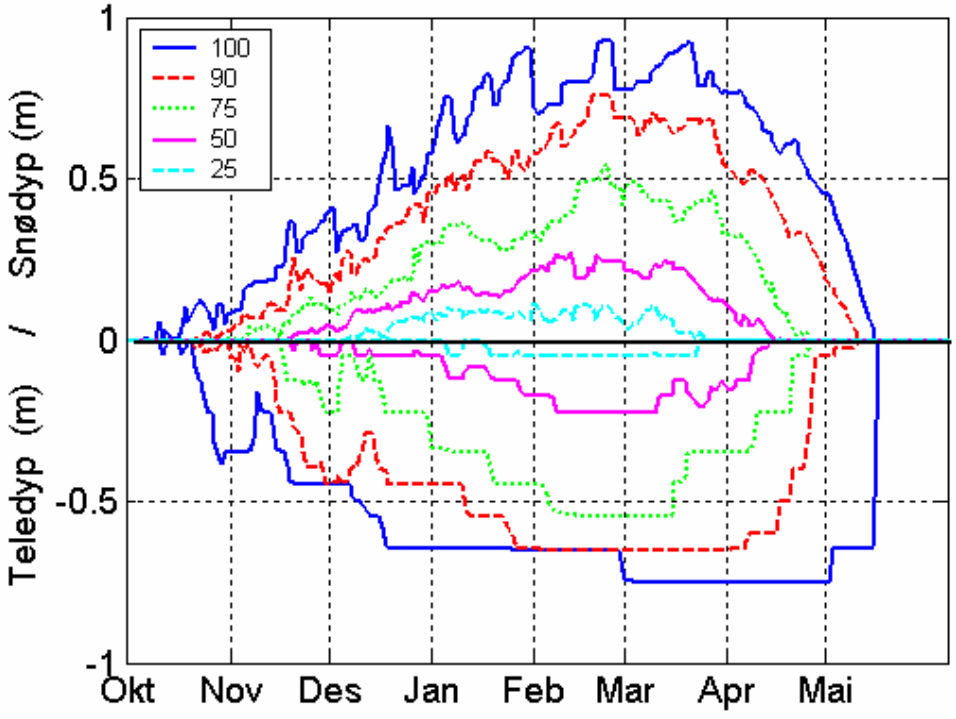
Som beskrevet i kapittel 6.1.1 er det store forskjeller mellom snømålingene på markvannstasjonen og på den meteorologiske stasjonen. Simulert snødybde viste best sammenheng med målingene på markvannstasjonen. Det er derfor valgt å benytte simulert snødybde for normalperioden fremfor målinger fra den meteorologiske stasjonen. Figur 8-1 viser største snø- og teledybde for hvert år i perioden og antall dager med simulert snø og tele. Verdigrunnlaget er gitt i Vedlegg 12. Gjennomsnitt av årlig største snødybde er 0,54 m (±0,20 m) og gjennomsnitt av årlig største teledybde er – 0,42 m (± 0,22 m) for perioden. For antall dager med snø/tele er det en svak tendens til at få dager med tele forekommer i år med langvarig snødekke.

I

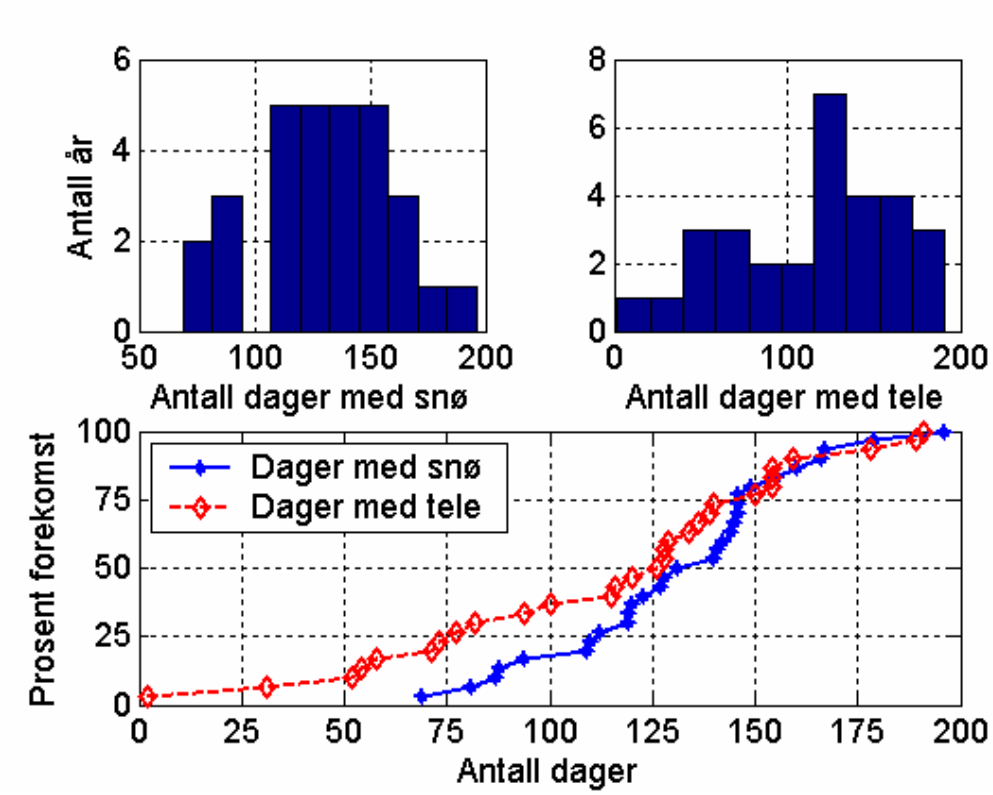
Figur **8-2** er verdiene for snø og teledybde sortert etter dato og vist som percentiler der 100 % tilsvarer største dybde for hver dato i løpet av normalperioden. Som for parametriserings- og verifiseringsperioden viser figuren at det er store variasjoner både med hensyn på dybde og varighet av snø og tele. Minste snødybde og teledybde er null for alle dager gjennom vinteren. Medianverdiene viser snødekke fra første del av november til slutten av april. Tilsvarende data for tele gir tele fra midten av november til slutten av april. Figur 8-3 viser frekvensfordelingen for dager med snø og tele som histogram (øverst) og kumulativ frekvensfordeling (nederst). Den nederste figuren viser at for 50 % av årene er det mindre enn 130 dager (ca 4 måneder) med snø og ca 125 dager med tele. Siden dager med snødekke og antall dager med tele er sortert hver for seg så gjelder ikke medianverdiene nødvendigvis for samme år.



Figur 8-1: Årlig maksimum simulert snø- og teledybde, samt antall dager med snø og tele for markvannsstasjon Værnes i periode 1961-1990.



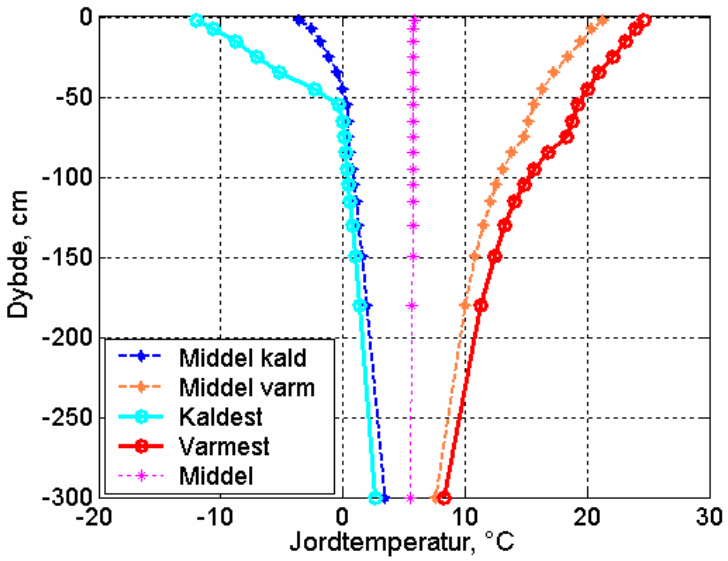
Figur 8-2: Forløp gjennom vinteren for snødybde og teledybde for normalperioden 1961-1990. Simuleringene er sortert etter dato gjennom vinterhalvåret og ulike percentiler er tegnet inn.



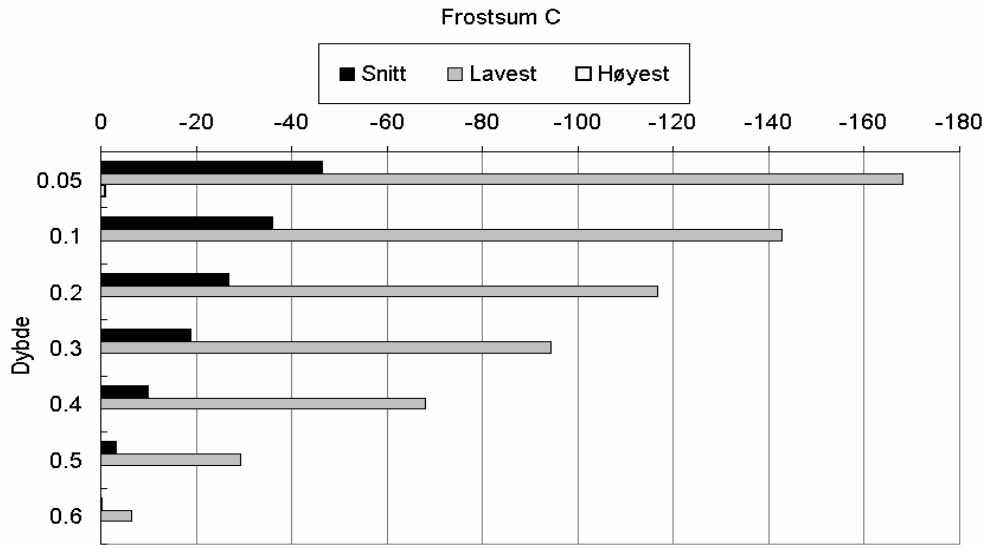
Figur 8-3: Frekvensfordeling av antall dager med snø og tele i jorda.

8.2 Jordtemperatur

I kapittel 6.2 om jordtemperatur ble det funnet god sammenheng mellom målt og simulert jordtemperatur. Resultatene viste en svak tendens til at temperauren var underestimert i forhold til målinger, men dette var svært lite i forhold til målingenes nøyaktighet. Figur 8-4 viser middeltemperatur for hvert dyp, middel av årets høyeste og laveste jordtemperatur for ulike dyp samt ekstremverdiene med hensyn på varme og kulde for hvert simuleringslag. Normaler og ekstremer av årsmiddeltemperaturer i lagene er vist i Vedlegg 13. Figur 8-5 viser middelverdi og ekstremer av frostsum simulert for de ulike lagene i modellen. Kun i øvre 5 cm er det simulert temperaturer < 0^{o}C hvert år i normalperioden. Det er simulert kuldegrader ned til maksimalt 60 cm dybde i løpet av perioden.



Figur 8-4: Middelverdier og ekstremverdier for årlig kaldeste og varmeste jordtemperatur og middeltemperatur i jordprofilet for periode 1960-1991.



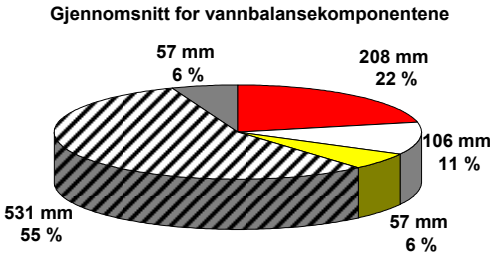
Figur 8-5: Normaler og ekstremverdier av frostsum i normalperioden. Dybden er gitt i meter.

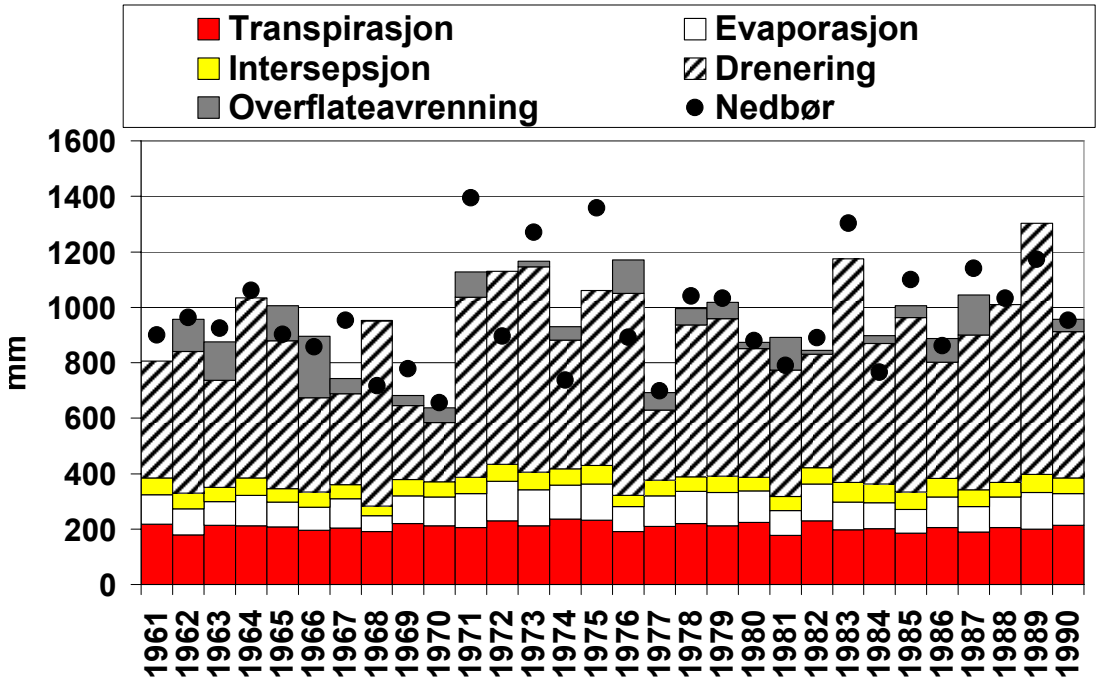
8.3 Vannbalanse

Gjennomsnittlig justert årsnedbør[3] for perioden 1961-1990 er 964 mm, hvorav 39 % tapes ved fordamping og 61 % er avrenning (Tabell 8-1, Figur 8-6, Vedlegg 14 og Vedlegg 15). Hoveddelen av den totale avrenningen foregår vinterstid og om våren i forbindelse med snøsmelting og før planteutviklingen starter (71 % fra 1. november til 1. mai). All overflateavrenning er knyttet til tidspunkt med tele i jorda. Av fordampingsdelen utgjør transpirasjonen i gjennomsnitt 56 % og fordamping fra jordoverflaten 29 %.

Tabell 8-1: Middelverdier av målt nedbør samt simulerte vannbalansevariabler for perioden 1961-1990.

Variabel	Normalperiode 1/1-1961 til 31/12-1990			
	Middel	Std.av	Min	Max
Nedbør, målt	888	180	602	1287
Nedbør, justert	964	195	655	1395
Fordamping	371	35,5	283	434
Jordfordamping	106	18,5	57	143
Transpirasjon	208	15,4	177	236
Intersepsjon	57	8,2	34	72
Totalavrenning	588	157	267	907
Drenering	531	167	214	907





Figur 8-6 Simulert vannbalanse for perioden 1961-1990. Øverst vises gjennomsnittlig fordelingen av vannbalansekomponentene for avrenning og evapotranspirasjon.

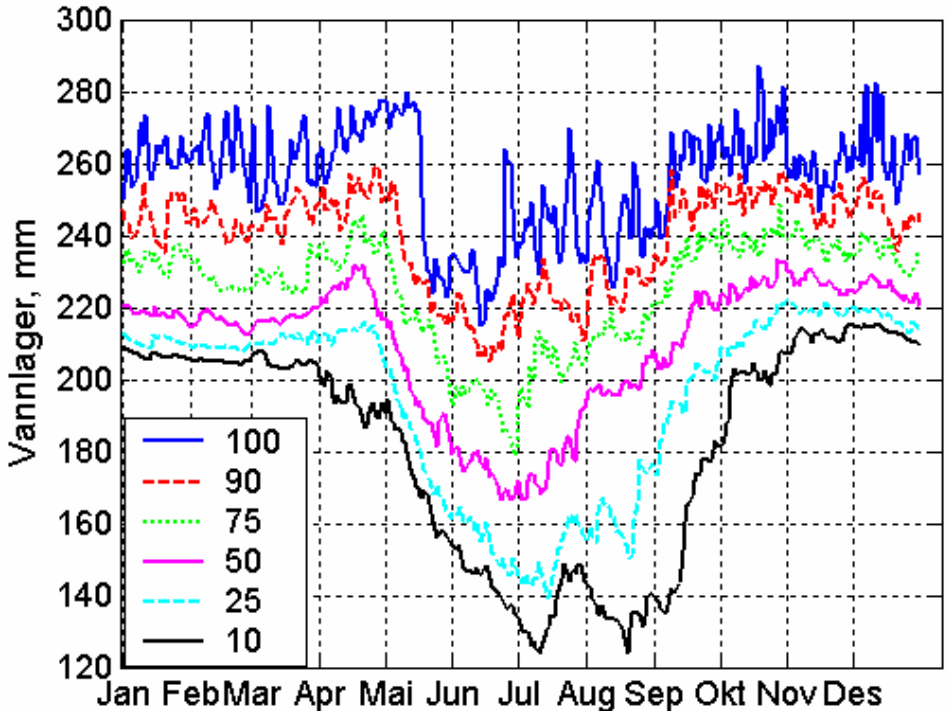
[3] Verdier for nedbør justert i modellen med standardverdier for overgang fra punktnedbør til arealnedbør, d.v.s. verdier korrigert for vind.

Med begrepet jordas lagerkapasitet for vann menes den nedbørsmengden som kan tilføres før det skjer en videre avrenning til grunnvann og drensgrøfter. Lagerkapasiteten er viktig faktor for vurdering både ved flom og tørkesituasjoner.

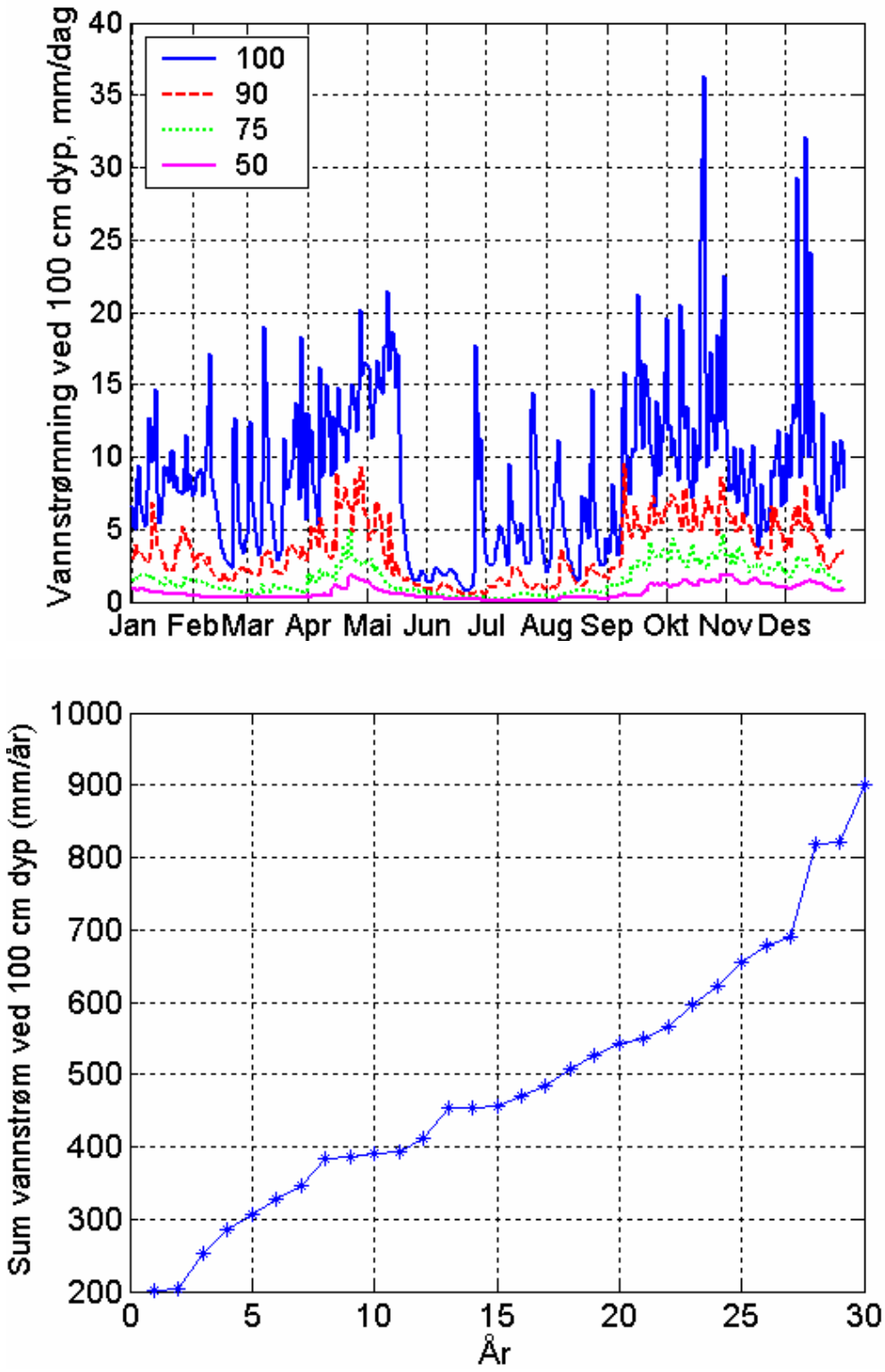
For å gi ett inntrykk av jordas vannlagringsevne i den øverste meteren, er mengde vann (mm) beregnet for hver dag i året for perioden 1961-90 og fremstilt som percentiler i

Figur 8-7. Medianpercentilen viser en opptørking på 50-60 mm vann om sommeren med største uttørring i månedsskifte juli-august. Variasjonsbredden er på om lag 130 mm vann ved største uttørring og 65 mm vann i vintermånedene.

Øverst i Figur 8-8 er vannstrømmen (mm/dag) ved 100 cm dyp vist for samme periode. Positiv verdi betyr at det er en nedoverrettet vannbevegelse. Resultatene viser at i gjennomsnitt er det liten nedoverrettet vanntransport fra første del av mai til starten av september. Oppfyllingen av vannlageret i jorda starter i gjennomsnitt i august og en må ut i oktober før vanntransporten ved 100 cm dyp når opp mot 1 mm /dag. Det er senvinteren/våren som gir de største døgnverdiene for vanntransport ved 100 cm dyp, med unntak av enkelte ekstremepisoder om høsten. På senvinteren/våren er vannlageret for den øvre meteren i jorda fylt opp og tilførsel av nedbør/smeltevann passerer raskt gjennom jordprofilet. I nedre del av Figur 8-8 er vannstrømmen ved 100 cm dyp summert over året og sortert etter størrelsen. En ser det er ganske store sprang i simulert vannstrømning, fra ca 200 mm til 900 mm. Medianverdiene er rundt 460 mm noe som også viser bra overensstemmelse med grunnvannsdannelse simulert med HBV-modellen (Beldring et al 2003, NVEs avrenningskart). Vannopptak simulert fra de ulike lagene i modellen og den vertikale strømningen av vann mellom lagene er gitt i Vedlegg 15.



Figur 8-7: Vannlager i jorda for dypet 0-100 cm som funksjon av tid for perioden 1961-1990. Kurver for ulike percentiler er vist i figuren.

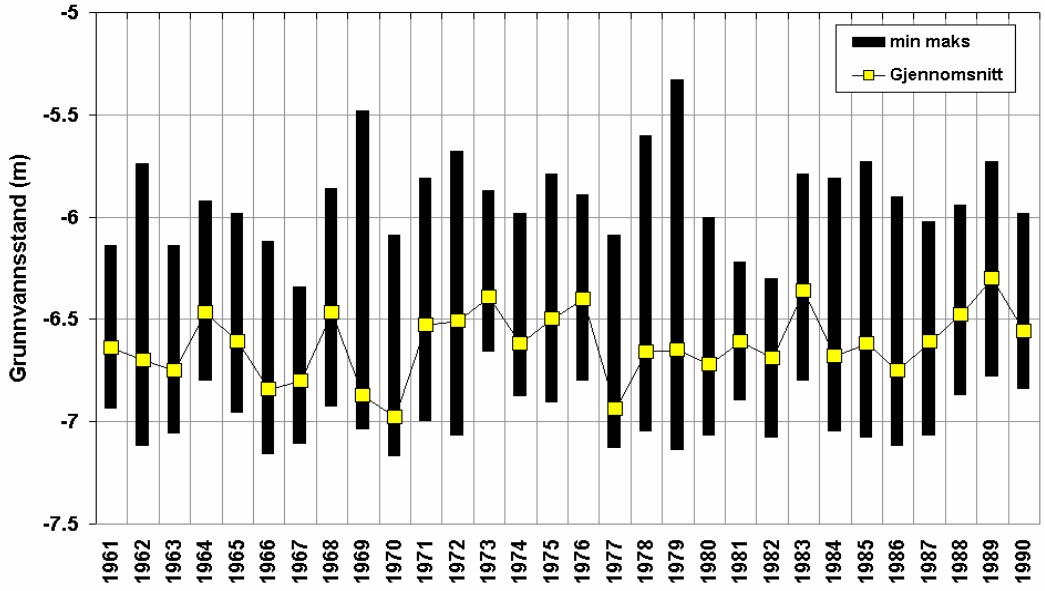


Figur 8-8: Gjennomsnittlig vannstrøm (mm/dag) ved 100 cm dyp som funksjon av tid gjennom året (øverst) og akkumulert over perioden 1961-1990 (nederst).

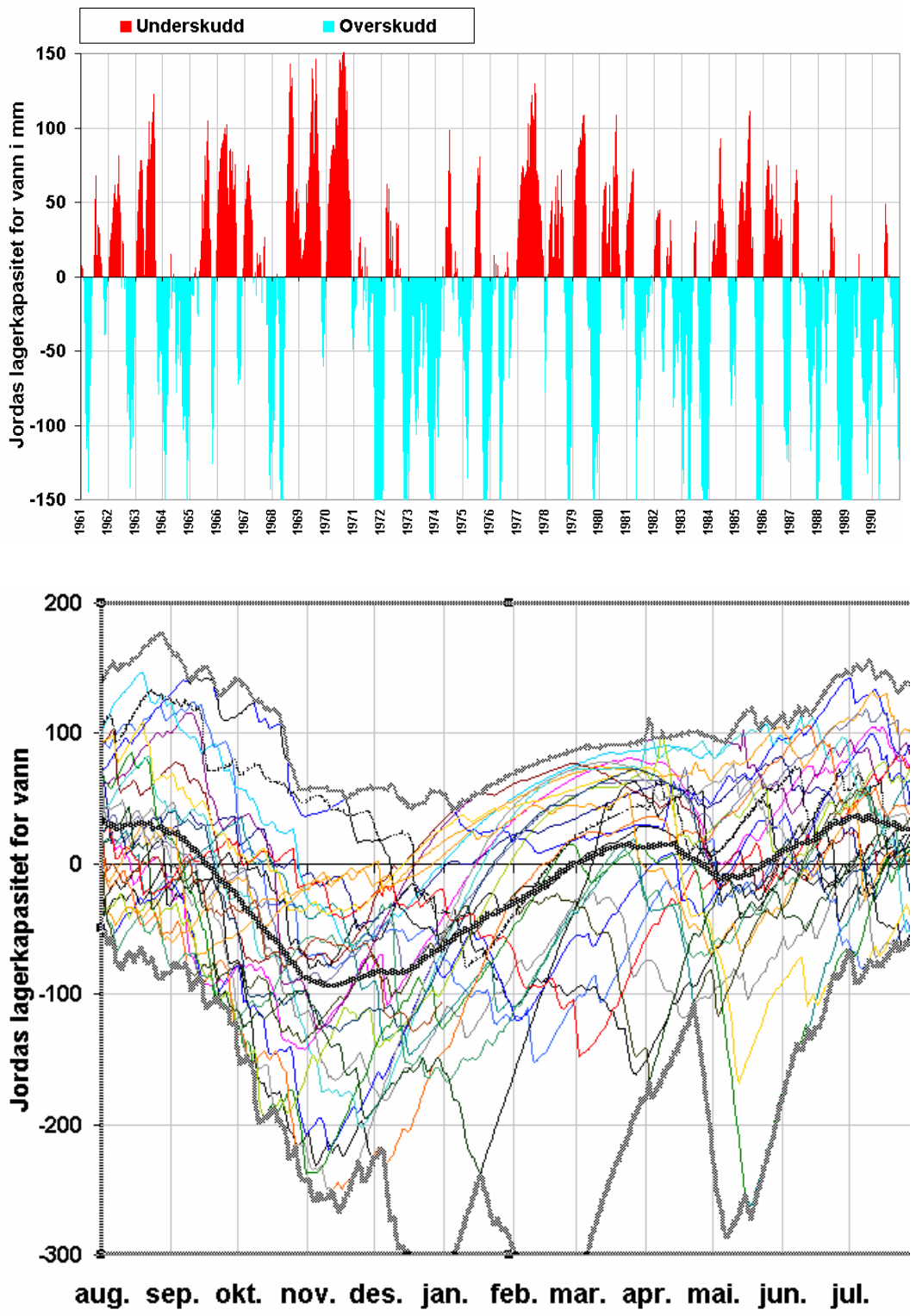
Figur 8-10 viser lagerkapasiteten av vann i jordprofilet på årsbasis for de tretti årene i perioden. Utgangspunktet for beregningene er differansen mellom jordas aktuelle vanninnhold (simulert) og vanninnhold ved feltkapasitet (vannretensjons målinger) samt grunnvannets nivå i profilet (simulert) d.v.s. tykkelsen av den umettede sonen i jorda. Feltkapasitet er definert som den vannmengde en har i jorda 2-3 dager etter at jorda har vært vannmettet, d.v.s. når vanntransporten ut av jorda er tilnærmet null. Dette vanninnholdet i jorda kan relateres til et matrikspotensial (sug) på 100 cm H_2O. For Værnes er jordas vanninnhold ved feltkapasitet for sjiktene i jordprofilet vist i Tabell 4-4 og Figur 4-4.

Figur 8-9 viser simulert grunnvannsstand for normalperioden med middelverdier og årlig fluktuasjon. Verdigrunnlaget er gitt i Vedlegg 16. Midlere grunnvannsstand er simulert til -6,62 m, med -6,30 m som dypeste og -6,98 som høyeste årlig middel. Den høyeste simulerte grunnvannsstanden er 5,33 m. Det dypeste årlige maksimale nivå er -6,34 m. Dypeste grunnvannstand i perioden er -7,17 m. Det høyeste årlig dypeste nivå er -6,66 m.

Det er store variasjoner i grunnvannstand og i lagerkapasitet mellom årene. Den generelle trenden er markvannsunderskudd (positiv verdi for lagerkapasitet) i vekstsesongen og markvannsoverskudd (negativ verdi for lagerkapasitet) om vinteren og tidlig vår. Det er altså i vinterhalvåret det meste av grunnvannsfornyelsen og de største avrenningene forekommer.



Figur 8-9 Største, minste og gjennomsnittlig grunnvannsstand simulert for markvannsstasjon Værnes i periode 1960-1991.



Figur 8-10: Lagerkapasitet for vann i jorda estimert vha. simuleringer med COUP-modell for Værnes i perioden 1961-1990. Positive verdier indikerer en markvannsunderskudd og negative verdier indikerer vannoverskudd. Null tilsvarer feltkapasitet. Hver kurve representerer et hydrologisk år i normalperioden. Gjennomsnitt, største overskudd og største underskudd er uthevet.

9 Konklusjon

Parametrisering av COUP-modellen ble foretatt i tilknytning til måleserier fra Værnes markvannsstasjon for perioden fra og med 2000 til og med 2005. En fullstendig oversikt over valgte prosesser og parameterverdier er vist i Vedlegg 5. De viktigste parametrene som ble endret fra "default-verdiene" i modellen var tilknyttet vinterforholdende (her kan nevnes tetthet av nysnø, grenseverdier for lufttemperatur tilknyttet om nedbøren kom som snø eller regn, parametere for snøsmelting og snøens varmeldningsevne), jordas vannledningsevne og drenering av jordprofilet.

Den parametriserte modellen ble deretter testet mot et uavhengig datasett fra Værnes markvannsstasjon for perioden fra og med 1992 til og med 1999. For begge perioden ble det benyttet meteorologiske data fra Værnes lufthavn. Til tross for den korte avstanden mellom markvannsstasjonen og den meteorologiske stasjonen, er det målt en betydelig mindre snødybde ved den meteorologiske stasjonen. Simuleringene viste klart best overensstemmelse med målingene fra markvannsstasjonen (R^2=0,70). Siden forekomst av snødekke er en viktig faktor for jordas energibalanse om vinteren gir selv relativt små avvik mellom målt og simulert snødekke utslag for telesimuleringene. Det er funnet en bedre sammenheng mellom simulert teledybde og teledybde estimert fra målinger med elektriske motstandssensorer enn for manuelle målinger med Gandahl's telemåler. For perioden benyttet til verifisering av modellen foreligger det kun manuelle telemålinger. Generelt overestimeres simulert teledybde, men telens varighet samsvarer de fleste år relativt godt. Siden målingene av jordtemperatur ved markvannstasjonen ble startet i år 2000, finnes det ikke data for verifiseringsperioden. I parametriseringsperioden ble det funnet en god sammenheng mellom simulert og målt jordtemperatur i ulike dybder (R^2 = 0,9), med 50 % eller mer av avviket innenfor ±1 °C.

For begge periodene ble det funnet en god sammenheng mellom målt og simulert grunnvannsstand (R^2=0,58 (2000-2005) og R^2=0,44 (1992-1999)). Det var en svak tendens til at simuleringene viste høyere grunnvannsstand enn målingene, spesielt når målingene viste at grunnvannet stod høyt i jordprofilet. Målt grunnvannsstand varierte mellom 6 og 7,5 m og avviket mellom målt og simulert var i de fleste tilfellene innenfor ± 0,3 m. Avvikene var spesielt tydelig for vintrer hvor det var dårlig tilpasning mellom målt og simulert teledybde. Grunnvannsstanden på markvannstasjonen kan antagelig også påvirkes av svinginger i elvevannsstanden, spesielt ved flomepisoder i elva.

Sammenligningene mellom simuleringer og målinger med elektriske motstandssensorer og tensiometer viser god overensstemmelse i tid, men det var avvik for de absolutte verdiene. Det er en tendens til at det simuleres litt for høyt vanntap fra de øverste sjiktene og litt for lavt fra de dypeste sjiktene med røtter. På grunn av stor usikkerhet knyttet til målingene, er ikke sammenligningsgrunnlaget godt nok til å trekke noen konklusjon, men dette vil bli vurdert nærmere for markvannsstasjoner med bedre datagrunnlag.

Av faktorene som har gjort parametriseringen av COUP-modellen for Værnes markvannsstasjon spesielt utfordrende kan nevnes: grunnvannsmagasin langs vassdrag med mulig infiltrasjon av overflatevann, stor umettet sone med heterogen fluviale avsetninger (over 6 m), store forskjeller i observert snødybde mellom markvannsstasjonen og den meteorologiske stasjonen (forflytting av snø med vind og/eller lokale forskjeller i nedbørens mengde og termiske kvalitet), store usikkerheter knyttet til målingene av matrikspotensialet i jorda.

Likevel konkluderer vi med at parametersettet i COUP-modellen for Værnes markvannsstasjon er tilfredsstillende som verktøy for vurdering av jordas markvannstilstand. Det er foretatt simuleringer for perioden 1961-1990 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 1961-2005. Det er utarbeidet statistikk som beskriver både normaltilstand og variasjonsbredde for f. eks. grunnvannsnivå, jordas lagerkapasitet for vann, fordampning, jordtemperatur, snø og teledybde over en periode på 45 år. Modell-simuleringer skal også kunne foretas månedlig eller ved behov for å gi en oversikt over markvannstilstanden på Værnes området. Dette er antatt å gi en mer detaljert og realistisk status av markvannsituasjon enn informasjonen fra den distribuert HBV modellen (Beldring et al., 2005; Colleuille et al., 2006). Ved å arbeide frem parametersett for flere representative områder i Norge, vil NVE få et bedre grunnlag for å analysere og følge opp ekstreme hydrologiske situasjoner i Norge.

Referanser

Beldring, S., Engeland K., Roald L.A., Sælthun N.R og Voksø A., 2003. Estimation of parameters in a distributed precipitation-runoff model for Norway. Hydrology and Erth System Sciences 7, 304-316.

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.

Brooks, R.H. & Corey, A.T., 1964: Hydraulic properties of porous media. Hydraulic papere No3. Fort Collins, Colorado State University, 27 s.

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

Canada Soil Survey Comittee, 1978: The Canadian System of Soil Classification. Publ. 1646. Ottawa. 164 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., Dimakis, P. og Wong, W.K., 2005. Elv og grunnvann. Analyse av interaksjon mellom grunnvannsvannsmagasin og glomma på Rena, Hedemark. Rapport 3 Grunnvannsmodellering. NVE rapport Miljøbasert vannføring 3-2004.

Colleuille, H., Dimakis P., og Wong W.K., 2005. Elv og grunnvann. Sluttrapport – Oppsummering og anbefalinger. NVE rapport Miljøbasert Vannføring 8-2005.

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

Colleuille, H. Beldring S., Mengistu Z., Wong W.K., Haugen L.E., 2006. Groundwater and Soil Water for Norway based on daily simulations and real-time observations. International Symposium, IAH, Dijon France, 30 mai – 01 juni 2006. Article accepted Symposium Proceeding Publication 2007.

Jansson, P-E & Karlberg, L., 2001. Coupled heat and mass transfer model for soil-plant-atmosphere systems. Royal Institute of Technology, Dept of Civil and Environmental Engineering, Stockholm, 321 s (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.

Mualem, Y., 1976: A new model for prediction of hydraulic conductivity of unsaturated porous media. Water Resources Research s. 513-522.

Mullins, C. E., 1991: Matric Potential. I: Smith, K.A. & Mullins C.E. (Eds.) 1991: Soul Analysis, Physical Methods. Marcel Dekker, Inc. 2 s 75-110

NGU. Kvartær geologisk kart tilgjengelig på NGU websider

Sæther B. og Larsen C. K, 2004. Flomsonekart, Delprosjekt Hell. NVEs rapport 2/2004.

Solbakken E., 1987. Jordsmonnkartlegging på SF Kvithamar og Værnes Prestegård, Stjørdal kommune. Jordsmonnrapport nr. 16/87. Jordregister Instituttet.

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

Thomsom, J. & Armstrong, C. F., 1987: Calibration of the Watermark Model 200 Soil Moister Sensor. American Society of Agricultural Engineers, Vol. 3, No 2. s. 186-189

Øverlie, T 2006. Vann- og energitransport i fjellbjørkeskog –målinger og modellsimuleringer for Groset markvannsstasjon. Universitetet for miljø- og biovitenskap. Mastergragsoppgave 60 stp.

Vedlegg

Vedlegg 1

Beskrivelse av profil representativt for jordtype 10 (Solbakken, 1987), med kornfordeling, kjemiske og fysiske egenskaper

Profilnr.	20182	**Beskrevet**	28/6-1984
Sted	Værnes	**Kommune**	1714 Stjørdal
H.o.h.	12 m	**UTM**	32 59774 703785
Topografi	Flat slette	**Helling**	0-2 % øst
Opphavsmateriale	Elveavsetning	**Jordsmonn**	Gleyed Dystric Bronisol[4]
Dreneringsgrad	Moderat godt	**Profildybde**	>98 cm
Stein og blokk	Ingen	**Fjellblotninger**	Ingen
Grunnvannsnivå	Ikke observert		

Profilbeskrivelse

Sjikt	Dyp, cm	Beskrivelse
Ap1	0-22	Mørk gråbrun (10YR 4/2) moldfattig, siltig mellomsand; svakt utviklet svært fine og fine gryn og fine skarpkantede blokker; svært fine til middels porer; mange svært fine og noen fine røtter; tyedlig og plan sjiktgrense.
Ap2	22-34	Brun (10YR 4/3) moldfattig, siltig mellomsand; svakt utviklet grove til svært grove plater og fine til middels skarpkantet blokk; svært fine til middels porer; noen svært fine til fine røtter; tydelig og plan sjiktgrense.
Bmgj	34-53	Olivenbrun (2.5Y 4/4) siltig mellomsand; gråbrune sjatteringer (2.5 Y 5/2) og få mørkt gulbrune (10YR 4/4) tydelig avgrensede fargeflekker; enkeltkorn; få svært fine røtter; gradvis og plan sjiktgrense.
BCg	53-98	Olivengrønn (5Y 5/3) mellomsand; gråbrune sjatteringer (2.5 Y 5/2) og få brune (7.5YR 4/4) tydelig avgrensede fargeflekker; enkeltkorn; skarp og plan sjiktgrense
C	98+	Mørk gråbrun (2.5Y 4/2) grusholdig mellomsand; enkeltkorn.

Kornfordeling

Sjikt	Dyp (cm)	Jordart	Sand %	Silt %	Leir %
Ap1	0-22	Siltig mellomsand	71	25	4
Ap2	22-34	Siltig mellomsand	74	23	3
Bmgj	34-53	Siltig mellomsand	83	16	1
BCg	53-98	Mellomsand	95	4	1
C	>98	Mellomsand	96	3	1

[4]Klassifisert etter det Canadiske jordklassifikasjonssystemet (Canada Soil Survey Committe, 1978)

Kjemiske egenskaper

Sjikt	Dyp	pH	C	N	CEC	BS
	cm	H_2O	%	%	$Cmol_c$/Kg jord	%
Ap1	0- 22	5,5	1,5	0,13	7,7	37
Ap2	22-34	5,1	1,0	0,09	6,1	26
Bmgj	34-53	5,3	0,4	0,02	3,0	12,8
BCg	53-98	5,3	-	-	2,3	12
C	>98	5,4	-	-	1,8	10

Fysiske egenskaper

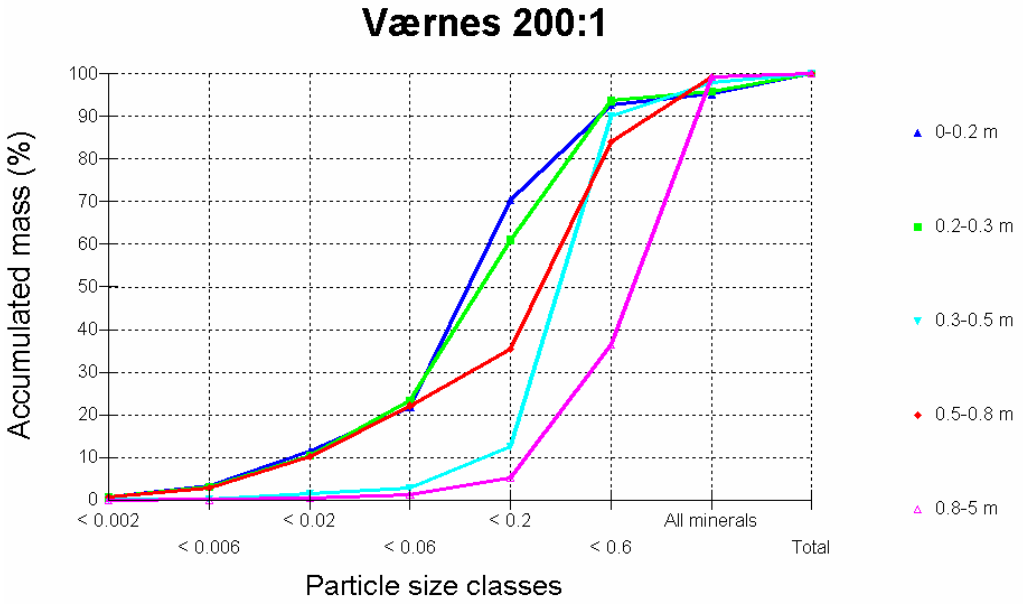
Sjikt	Dyp, cm	Prøvedyp cm	Volumprosent vann ved ulike matrikspotensial (cm H2O)						
			Uttak	Mettet	20	100	1 000	3 000	15 000
Ap1	0- 22	5-10	28,8	39,0	35,5	29,4	23,3	20,9	5,5
Ap2	22-34	25-30	24,5	39,5	35,1	26,3	21,1	19,6	5,4
Bmgj	34-53	45-50	14,9	40,2	32,6	16,7	7,6	60,1	2,6

Sjikt	Dyp	Tetthet	Porevolum	Mat. tetthet	Tilgjengelig vann	Tilgjengelig vann
	cm	Kg/ dm^3	%	Kg/ dm^3	Vol%	mm/ sjikt
Ap1	0- 22	1,57	45,0	2,86	23,9	53
Ap2	22-34	1,57	43,7	2,79	20,9	17
Bmgj	34-53	1,51	47,2	2,87	14,1	27

Vedlegg 2

Kornfordeling for datasettet fra markvannsstasjonen slik det er benyttet i modellen. I figuren er 100 % gitt ved summen av mineralpartikler og glødetap.

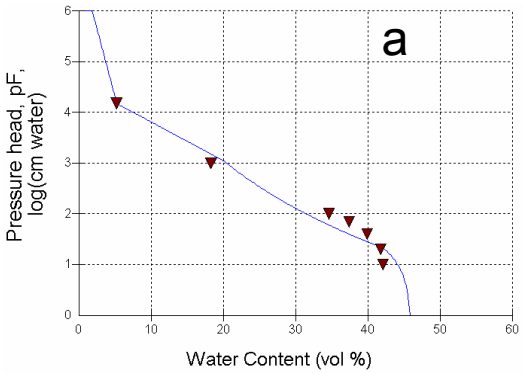
Dybde (cm)	Kornstørrelse (mm)							Glødetap
	<0,002	0,002 - 0,006	0,006 - 0,02	0,02 - 0,06	0,06 - 0,2	0,2 - 0,6	0,6 - 2,0	
15	0,7	2,6	8,1	10,3	48,7	22,3	2,5	4,8
30	0,6	2,4	7,5	12,9	37,6	32,6	2,2	4,2
45	0,1	0,2	1,2	1,4	9,7	77,4	7,9	2,1
60	0,7	2,2	7,3	11,9	13,3	48,6	15,3	0,7
75	0	0,1	0,4	0,7	4,1	31,2	62,8	0,7

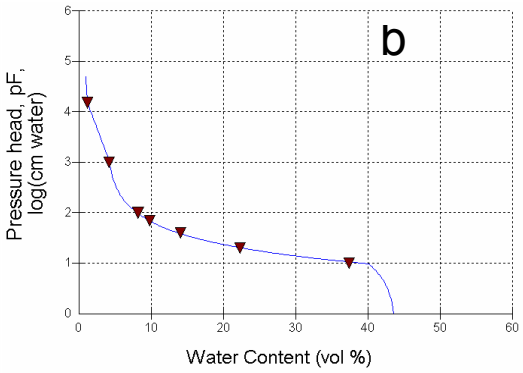


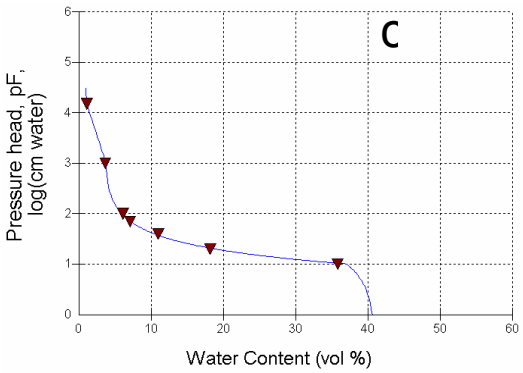
Vedlegg 3

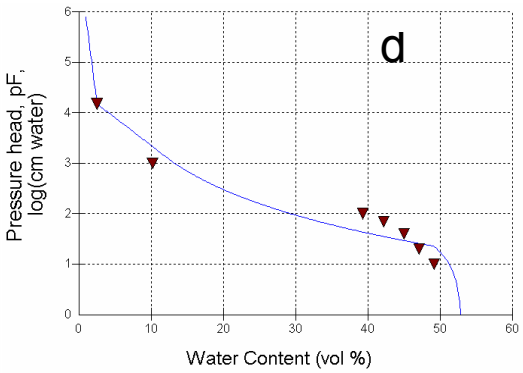
Vannretensjonskurver og parameterverdier benyttet for tilpassingen for de ulike sjiktene i modellen. Vannretensjonskurver for de fem dypene vist øverst fra venstre: 15 cm og 30 cm, midtre rekke: 45 cm og 60 cm og nederst: 75 cm.

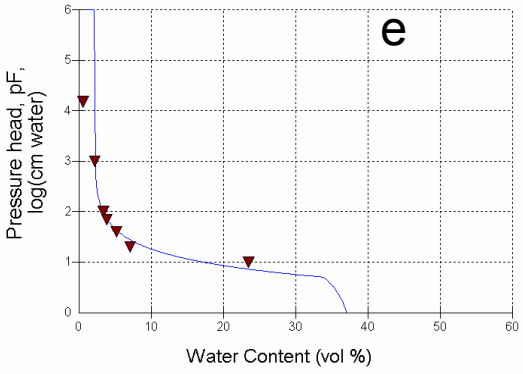
Dybde	Lambda	Air Entry	Metning	Visnegrense	Restvann	Macro Porer	Øvre grense
	λ	ψ_a	θ_s	θ_{wilt}	θ_r	θ_m	ψ_x
m		cm	vol %	vol %	vol %	vol %	cm
0 - 0,2	0.2	13.2	46	5.2	0.4	4	1100
0,2 - 0,4	0.9	8.7	44	1.2	3.7	4	1100
0,4 - 0,5	1.2	9.2	41	1.1	3.5	4	1100
0,5 - 0,7	0.4	18.4	53	2.5	0.5	4	1100
0,7 -	1.1	4.5	37.8	9	2.1	4	1100





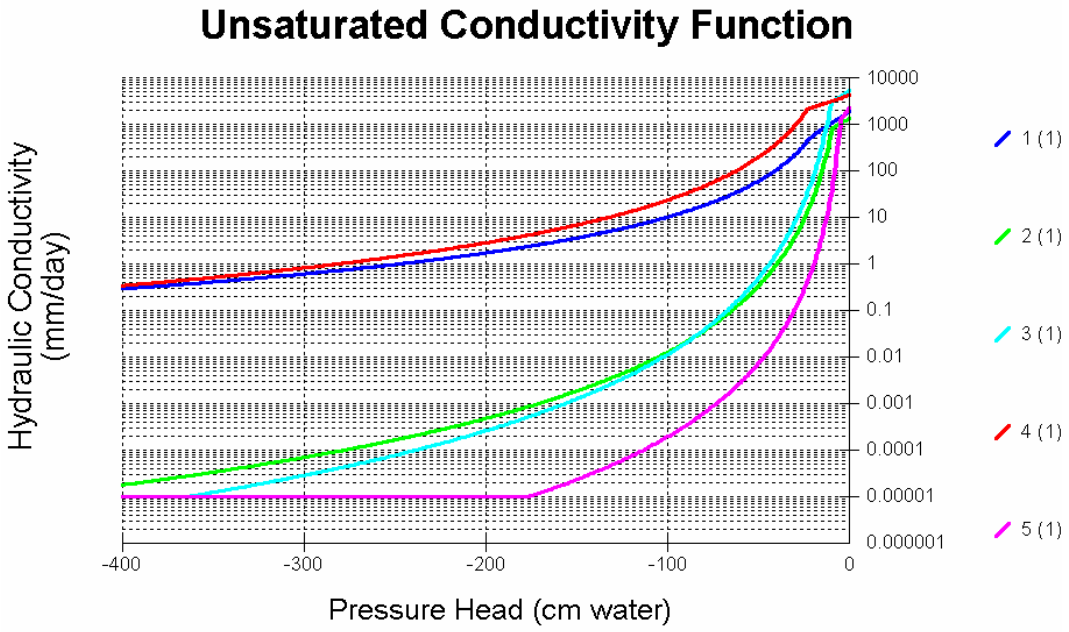






Vedlegg 4

Vannledningsevne som funksjon av matrikspotensial for sjikt 1-5.



Vedlegg 5

Valgte løsninger og parameterverdier i COUP-modellen for Værnes markvannsstasjon

Default
Benyttet / endret til
Ikke tilgjengelig

Værnes markvannstasjon

General options

Evaporatin	GroundWater Flow	Heat Eq	Irrigation	Lateral Input
Off	Off	Off	Off	In driving file
Radiation input style	On	On	On	No lateral input
Simple input style				
Minteq	**Nitrogen and Carbon**	**PlantType**	**SaltTracer**	**SnowPack**
Of	Dynamic interaktion with abiotics	Explicit big leafs	Off	Off
On	Off	Explicit single big leaf	On	On
	Using abiotic driving variables	Implicit big leaf		
		No vegetation		
SoilVapour	**Water Eq**			
Of	Off			
Only Snow Vapourflow	On			
Only Soil Vapourflow				
Soil- and Snow Vapourflow				

Technical options

Meteorological Data

CloudInput	CommonRefHeight	DBSunInput	HumRelInput	PotTranspInput
Estimated	No	Not Used	Generated by parameters	Generated by parameters
Generated by parameters	Yes	Read from PG-file	Read from PG-file	Read from PG-file
Read from PG-file				
PrecInput	**RadGlobInput**	**RadInLongInput**	**RadNetInput**	**SweClimRegions**
Generated by parameters	Estimated	Estimated	Estimated	N-E
Read from PG-file	Read from PG-file	Read from PG-file	Read from PG-file	N-W
				S-E
				S-W
SweClimScenarious	**TempAirCycle**	**TempAirInput**	**TempSurfInput**	**VapourAirInput**
ECHAM4_B2	Annual	Generated by parameters	Not used	As relative humidity
HadAM3_A2	Diurnal	Read from PG-file	Read from PG-file	Read as pressure, PG-file
HadAm3_B2				Read as wet bulb, PG-file
No				
WSpeedInput				
Generated by parameters				
Read from PG-file				

Numerical

FindTimeStep	NitrogenCarbonStep	NumMethod	TimeStepOption	
No	TimeResolution determined	Central Difference	Constant	
Yes	As water and heat	Forward Difference	Empirical	
	Independent		Mathematical	

Abiotic driving variables

DeepPerculationInput	SoilDrainageInput	SoilInfilInput	SoilTempInput	SoilWaterFlowInput
Generated by parameters	Generated by parameters	Generatid by parameters	Generatid by parameters	Generatid by parameters
Not used	Not used	Read from PG-file	Read from PG-file	Read from PG-file
Read from PG-file	Read from PG-file	Simulated	Simulated	Simulated
Simulated	Simulated			
SoilWaterInput	**WaterStressInput**			
Generatid by parameters	Generatid by parameters			
Read from PG-file	Read from PG-file			
Simulated	Simulated			

Technical

Average_Auxiliary	Average_Driving	Average_Flow	Average_State	IndexForValidation
off	off	off	off	From Curson in Menu
on	on	on	on	From serie
LateralInputFile	**PressureHeadSign**			
By given name	Negative			
From previous RunNo	Positive			

Abiotic oriented options

Snow Pack

NewSnowDensity	SnowAdjustment	SnowDensification	SnowMeltFunction	SnowPloghInput
Exponential f(air temp)	Forced to match continous	f(compaction rate)	Empirical	off
Linear f(air temp)	Forced to match discrete	f(ice and liq. content)	Heat balance	on
	No correction			
SnowPloghing	**SnowRoughness**	**SnowSurfTemperature**	**StabilityCorrection**	
Driven by SnowMass	Common roughness	Air Temperature	f(Richardson Number)	
off	Individual	f(E-balanse Solution)	f(Monin-Obukhov Length)	

Interception

InterceptionModel	PrecInterception	SnowIntUnload	SnowInterception	
Exponential	off	Air Temperature	off	
Threshold	on	Thermal Quality	on	

Potential Transpiration

Aerodynamic Resistance	Displacement	MultiRoughness	RSMethod	Roughness
Without stability correction	Parameters	No (common)	Parameter	Parameters
f(Richardson Number)	Driving variable	Individual	Driving variable	Driving variable
f(Monin-Obukhov Length)	f(canopy)		Lohammer Eq	f(canopy)
			Loh.Eq(T>DayNum)	
Roughnessfunc				
Shaw & Pereira				
Linear				

Soil Thermal

SoilHeatCapDist				
f(z)				
Uniform				

Plant

AlbedoVeg	CanopyHeightInput	LaiInput	PlantDevelopment	RootDistribution
Static	Parameters	Parameters	Static	Table
Parameters	Driving variable	Driving variable	Start=f(TempSum)	Linear
Driving variable	Simulated	Simulated		Constant
Simulated				Exponential

RootInput	SpatialDistribution			
Parameters	Random - Within Unit Area			
Driving variable	Fixed - Within Unit Area			
Simulated	Fixed - Unrestricted Area			

Surface water

Furrow	RunOnInput			
Off	Off			
Irrigation	Lateral Input File			
I.+Precipitation				

Soil heat flows

Analytical Solution	Convection flow	Heat Pump	Heat Source	Initial Heat Conditions
Off	Not accounted for	Not used	Generated by parameters	Uniform temperature
On	Accounted for	Generated by parameters	Not used	Temp(z)-Table
		Resd from PG-file		Temp(z)-Estimated
				Heat(z)
Lower Boundary	**PrecTemperature**	**Vapour flow**		
Temperature cycle	Equal surface temperature	Not accounted for		
Constant heat flow	Different air temperature	Accounted for		

Soil Hydraulics

Conductivity Function	Hydraulic Functions	Matric Conductivity	Scaling retention	
Mualem	Brooks & Corey	Independent	No	
Power of effektive saturation	van Genuchten	Function of total conductivity	Yes	
Power of raltive saturation		Same as total conductivity		

Soil frost

FlowDomains	FrostInteract	FrostSwelling	Infiltration	LoadPotential
LowDomain	No	Off	No reduction	Off
Low+High Domain	InfluencingWater	On	In LowFlowDomain	On
			Low+ High FlowD	
k-estimate				
CentralDifference				
Minimum Values				

Soil evaporation

Evaporation Method	SoilPartitoningArea	SoilRougness	Stability Correctin	Surface Temperature
PM-eq, Rs(1Par)	Based on Drip Irrig and Radiation	CommonR	f(Richardson Number)	Air Temperature
PM-eq, Rs(3Par)	Based on Dripp Irrig	IndividualR	f(Monin-Obukhov Length)	f(PM-equation)
Interative Energy Balance	No			f(E-balance Solution)
K-function				
Not Estimated				
SurfaceCover				
Dyn plastic sheet				
Permanent plastic sheet				
No				

Radiation properties

InLongRad	LongRadCanopy	LongWaveBalance	SlopeCorrMeasuredGlob.	Turbidity
Konzelmann et al equation	Implicit	One formula f(Air temp)	No	Constant
Satterlunds equation		Two separate formulas	Yes	Function of solar angle
Brunts equation				

Drainage and deep percolation

DriveDrainLevel	EmpiricalDrainEq	LBoundSaturated	LBUnSaturated	Lateral GW Source
Parameter	off	No Flow	Constant Psi	Later Input File
Driving File	on	Unit Grad Flow	Constant Maximum Psi	off
		Seepage Flow	Dynamic Psi	
			No Flow	
			Unit Grad Flow	
PhysicalDrainEq	**Pump**	**ReturnFlow**		
Off	off	off		
Linear Model	on	on		
Ernst Model				
Hooghiudt Model				

Water uptake

Basic equation	DemandRedistribution	PlantResistance	PlantWaterStorage	Salt influence
Pressure head response	Without flexible roots	No salt effect	Not considered	Not considered
Darcy based	With flexible roots	Salt effect by osmotic pressure	f(LAI)	Add minimum response
			f(LAI, height)	Add multiplicative response
				Added to pressure head
Temperature response	**Trigging Temperature**			
None	Static			
Double-exponintial	f(tempsum)			
Singe-exponential				
Polynomial				

Soil water flows

ConvectiveGasFlow	Crack	Hysteresis	Initial water conditions	Soil Water Barrier
off	No Bypass	Off	Uniform Pressure Head	Off
on	Bypass Flow	On	Uniform Water Content	On
			Uniform flow	
			Pressure Head(z)	
			Water Contents(z)	
TransitTime Estimation				
Off				
On				

VÆRNES

Snow Pack

Parameter	AgeUpdatePrec	AgeUpdatePrecThQ	AgeUpdateSDepthCorr	CRCompMeltCutOff	CRMetaMorphDens
Unit	kg m^{-2} day^{-1}	-	m day^{-1}	kg m^{-3}	m^{3} kg^{-1}
Default	5	0.9	0.01	300	0.046
Value	5	0.9			
Parameter	CRMetaMorphDensMin	CRMetaMorphLiq	CRMetaMorphTemp1	CRMetaMorphTemp2	CROverburdenDens
Unit	kg m^{-3}	-	s^{-1}	°C^{-1}	m^{3} kg^{-1}
Default	100	2	2.777E-06	0.04	0.023
Value					
Parameter	CROverburdenTemp	CROverburdenVisc	CritDepthSnowCover	DensityCoefMass	DensityCoefWater
Unit	°C^{-1}	kg s day^{-1}	m	m^{-1}	kg m^{-4}
Default	0.04	9.000E+05	0.01	0.5	200
Value			0.01	0.5	200
Parameter	DensityOfNewSnow	MeltCoefAirTemp	MeltCoefGlobRad	MeltCoefGlobRadAge1	MeltCoefGlobRadAge2
Unit	kg m^{-4}	kg °C^{-1} m^{-2} day^{-1}	kg J^{-1}	-	day^{-1}
Default	100	2	1.500E-07	2	0.1
Value	120	1	1.500E-07	2	0.1
Parameter	MeltCoefReFreeze	MeltCoefSoilHeatF	OnlyRainPrecTemp	OnlySnowPrecTemp	PlohEffSnow
Unit	m^{-1}	-	°C	°C	
Default	0.1	0.5	2	0	0.9
Value	0.1	0.5	2.5	0	
Parameter	PloghSnowMass	RoghLMomSnow	SThermalCondCoef	SnowDepthInitial	SnowMassInitial
Unit		m	W m^{5} °C^{-1} kg^{-2}	m	mm
Default	3	0.001	2.860E-06	0	0
Value			3.000E-06	0	0
Parameter	WaterRetention	WindlessExChangeSnow	ZeroTemp_waterLimit		
Unit	-	s^{-1}	kg m^{-2}		
Default	0.07	0	3		
Value	0.07		3		

Interception

Parameter	DirectThroughfall	IntEvapFracMin	IntSnowMeltScale	Ratio_Eva-Tranp	SnowCapacityPerLAI
Unit	-	-	-	-	mm /m^{2}
Default	0	1	1	3	0.2
Value	0				
Parameter	WaterCapacityBase	WaterCapacityPaerLAI	WithinCanopyRes		
Unit	mm	mm/m^{2}	s/m		
Default	0	0.2	5		
Value	0	0.2	5		

Potential Transpiration

Parameter	CanDensMax	CondMax	CondMaxWinter	CondRis	CondVPD
Unit	-	m/s	m/s	J/m2/day	Pa
Default	0.7	0.02	0.002	5.000E+06	100
Value	0.7	0.02		5.000E+06	100
Parameter	EPMaxDay	EPMaxRate	EPPeriod	PAddIndex	RoughLMin
Unit	-	mm/day	days	-	s/m
Default	195	4	200	1	0.01
Value				1	0.01
Parameter	WindLessExchangeCanopy				
Unit	m/s				
Default	0.001				
Value	0.001				

Soil Thermal

Parameter	CFrozenMaxDamp	CFrozenSurfCorr	ClayFrozenC1	ClayFrozenC2	ClayFrozenC3
Unit	-	$^{\circ}C^{-1}$	-	-	-
Default	0.9	0.2	0.00144	1.32	0.0036
Value	0.9	0.2	0.00144	1.32	0.0036
Parameter	ClayFrozenC4	ClayUnFrozenC1	ClayUnFrozenC2	ClayUnFrozenC3	OrganicC1
Unit	-	-	-	-	-
Default	0.8743	0.13	-0.029	0.6245	0.06
Value	0.8743	0.13	-0.029	0.6245	0.06
Parameter	OrganicC2	OrganicFrozenC	OrganicLayerThick	SandFrozenC1	SandFrozenC2
Unit	-	-	m	-	-
Default	0.005	2	0	0.00158	1.336
Value	0.005	2	0	0.00158	1.336
Parameter	SandFrozenC3	SandFrozenC4	SandUnFrozenC1	SandUnFrozenC2	SandUnFrozenC3
Unit	-	-	-	-	-
Default	0.00375	0.9118	0.1	0.058	0.6245
Value	0.00375	0.9118	0.1	0.058	0.6245

Meteorological Data

Parameter	AltMetStation	AltSimPosition	CloudFMean	HumRelMean	PrecA0Corr
Unit	-	-	-	%	-
Default	0	0	0.7	70	1.07
Value	0	0			1.07
Parameter	PrecA1Corr	PrecFreq	PrecRate	PrecScale	ReferenceHeight
Unit	-	days	mm/day	-	m
Default	0.08	7	20	1	2
Value	0.08				2
Parameter	ReferenceHeightTemp	ReferenceHeightWind	Slope E-W	Slope N-S	TairLapseRate
Unit	m	m	m/m	m/m	°C/m
Default	2	2	0	1	0.0056
Value	10		0	1	0.0056
Parameter	TempAddCoef	TempAirAmpl	TempAirMean	TempAirPhase	WindspeedMean
Unit	-	°C	°C	days	m/s
Default	0	10	10	0	2
Value		10	10	0	

Abiotic driving variables

Parameter	DeepPercolation	PlantWaterStress	SoilDrainage	SoilInfiltration	SoilTemperature
Unit	mm/day	-	mm/day	mm/day	°C
Default	2	0.7	2	2	10
Value					
Parameter	SoilWaterContent	SoilWaterFlow			
Unit	vol%	mm/day			
Default	10	2			
Value					

Soil heat pump

Parameter	HPAmp	HPBase	HPCut	HPLayer	HPMax
Unit	$Jm^{-2}/day/°C$	Jm^{-2}/day	°C	-	°C
Default	1.00E+05	0	-5	4	-10
Value					
Parameter	HPZero				
Unit	°C				
Default	-10				
Value					

Additional variables

Parameter	Spatial_Scale	X-coordinate	Y-coordinate	Z-coordinate	
Unit	m	m	m	m	
Default	0	0	0	0	
Value	0	0	0	0	

Plant

Parameter	AlbedoLeaf	Plant,Index in PG-file	RandomNumberSpeed	RootFracExpTail	TempSumCrit
Unit	%	-	-	-	°C
Default	25	1	1	0.1	5
Value	25	1			
Parameter	TempSumStart				
Unit	°C days				
Default	50				
Value					

Numerical

Parameter	NCIteration	Precision	SaftyPerCent	XADiv	XNLev
Unit	-	%	%	-	-
Default	8	2	80	4	10
Value				4	10
Parameter	Xloop				
Unit	-				
Default	1				
Value	1				

Surface water

Parameter	InfFurrow	SP Max cover	SPCovPot	SPCoverTotal	SoilCover
Unit	-	mm	-	mm	-
Default	0	1.0	1.0	50	0
Value		1.0	1.0	50	0
Parameter	SurfCoef	SurfPoolInit	SurfPoolMax		
Unit	1/day	mm	mm		
Default	0.8	0	0		
Value	0.8	0	10		

Soil heat flows

Parameter	GeothermalFlow	HeatProdCoef_B	SoilInitTempConst	TempDiffPrec_Air	
Unit	J/m²day		°C	°C	
Default	-100 000	0.05	10	-2	
Value	-100 000		5.3	-2	

Soil Hydraulics

Parameter	Common value	MinimumCondValue	Saturation Diff	Scale Coef Residual	Sensitivity
Unit	mm/day	mm/day	-	-	mm/day
Default	10	1.00E-05	0.0	1.0	0.5
Value		1.00E-05			
Parameter	TempFacAtZero	TempFacLinIncease			
Unit	-	°C⁻¹			
Default	0.54	0.023			
Value	0.54	0.023			

Soil frost

Parameter	AlphaHeatCoef	FreezepointF0	FreezepointF1	FreezepointFWi	HighFlowDampC
Unit	W/m°C	-	-	-	vol%
Default	1000	10	0	0.5	5
Value	1000	10	0	0.7	5
Parameter	LowFlowCondImped	MaxSwell	ShrinkRateFraction		
Unit	-	-	1/day		
Default	4	0.05	0.05		
Value	4				

Soil evaporation

Parameter	EqoilAdjustPsi	KBMinusOne	MaxSoilCondens	MaxSurfDeficit	MaxSurfExcess
Unit	-	-	mm/day	mm	mm
Default	1	0	2	-2	1
Value			2	-2	1
Parameter	PsiRs_1p	PsiRs_3pf1	PsiRs_3pf2	PsiRs_3pf3	RaIncreaseWithLAI
Unit	s/m	s/m	s/m	s/m	s/m
Default	200	1	300	100	50
Value		1	300	100	50
Parameter	RoughLBareSoilMom	SoilCoverEvap	SoilCoverRunOff	StabCoefStableExp	StabCoefStableRich
Unit	m			-	-
Default	0.001	0	0	0.333	16
Value	0.001				
Parameter	StabCoefUnstableExp	StabCoefUnstableRich	WindLessExchangeSoil		
Unit	-	-	-		
Default	0.333	16	0.001		
Value					

Radiation properties

Parameter	AlbLeafSnowCoef	AlbSnowMin	Albedo	AlbedoDry	AlbedoKExp
Unit	-	%	%	%	-
Default	0.5	40	25	30	1
Value		40		30	1
Parameter	AlbedoWet	Latitude	RadFracAng1	RadFracAng2	RntLAI
Unit	%	-	-	-	-
Default	15	58.5	0.22	0.5	0.5
Value	15	63.5	0.22	0.5	0.5

Drainage and deep percolation

Parameter	Dlayer	DrainLevel	DrainLevelLowerB	DrainLevelMin	DrainSpacing
Unit	m	m	m	m	m
Default	4	-1	-10	-1	10
Value		-7.4			800
Parameter	DrainSpacingLowerB	EmpGFLevBase	EmpGFLevPeak	EmpGFLowBase	EmpGFLowPeak
Unit	m	m	m	mm/day	mm/day
Default	200	-3	-1	2	10
Value					
Parameter	GWSourceFlow	GWSourceLayer	PressureHeadBottom	PumpFlowRate	PumpHighLevel
Unit	mm/day	-	cm water	mm/day	m
Default	0	3	100	5	-4
Value	0	3			
Parameter	PumpLowLevel	RadiusPipe			
Unit	m	m			
Default	-5	0.1			
Value					

Water uptake

Parameter	AirMinContent	AirRedCoef	CritThresholdDry	DemandRelCoef	FlexibilityDegree
Unit	vol%	-	cm water	1/day	-
Default	5	4	400	0.3	0.6
Value	5	4	400	0.3	0.6
Parameter	LeafThresholdSuction	NonDemandRelCoef	PlantMaxSuction	PlantWatRelLAI	PlantWatRelLAI_Hight
Unit	cm water	kg/m^2/day	cm water	mm	mm/m
Default	1000	0.1	15000	1	0.5
Value		0.1			
Parameter	ResistivityRoot	ResistivityXylem	RootDensityCoef	RootDistMax	RootDistMin
Unit	m/days	days/m	m^2	m	m
Default	1000	1	0.5	0.01	0.001
Value					
Parameter	TempCoefA	TempCoefB	TempCoefC	TempCoefD	TempCoefE
Unit	-	-	-	-	-
Default	0.8	0.4	0	15 (1)	1 (0)
Value	0.8	0.4	0		
Parameter	TempCoefF	Upt_Excess	SaltHalfReduction	SaltPowerCoef	
Unit	-	mm/day	cm water	-	
Default	0	2.0	5000	3	
Value	0				

Soil water flows

Parameter	AScaleSorption	BarrierEfficiency	BarrierLevel	DVapTortuosity	HysKExp
Unit	-		m	-	-
Default Value	0.5	0.9	-0.4	0.66	0.5
Parameter	**HysPF1**	**HysPF2**	**HysThetaD**	**HysThetaMax**	**InitialFlowRate**
Unit	pF-value	pF-value	-	vol%	mm/day
Default Value	1.5	4	0.2	10	0.1
Parameter	**Initial GroundWater**	**Initial PressureHead**	**InitialWaterContent**		
Unit	m	cm water	vol%		
Default Value	-1	60	20		
	-6.8	50			

Salt Tracer

Parameter	ActiveUptEffLeaf	ActiveUptWffRoots	AciveUptEffStem	ActiveUptMaxEffConc	ConcForFront
Unit	mg/g	mg/g	mg/g	mg/l	mg/l
Default Value	1.00E-06	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	2.0
Parameter	**EmissionRateCoef**	**FractAirEmission**	**FractPloughEmission**	**FractRunOffEmission**	**Frac of Road**
Unit	-	-	-	-	-
Default Value	0.05	0.1	0.1	0.1	0.01
Parameter	**Index in PG-file**	**PassiveUptAll0FLeaf**	**PassiveUptAll0FStem**	**PassiveUptScaling**	**Salt Application Rate**
Unit	-	-	-	-	$mg/m^2/day$
Default Value	1	0.2	0.1	0.001	10000
					10000
Parameter	**SaltGW Sourse Conc**	**SaltInitConc**	**SaltInputConc**	**SaltIrrigationConc**	**SaltPloughEffCoef**
Unit	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	-
Default Value	1	2	1	1	0.5
Parameter	**SaltRunOffEffCoef**	**Temp Salt High Limit**	**Temp Salt Low Limit**		
Unit	-	°C	°C		
Default Value	0.5	2	-6		
		2	-6		

Vedlegg 6

Simulert årlig vannbalanse (mm vann) for parametriseringsperioden

	Nedbør	Evapotranspiration	Transpiration	Evaporation	Interception	Total avrenning	Drenering	Overflateavr.
2000	728	407	248	105	54	508	508	0
2001	1065	409	226	125	58	344	333	11
2002	753	398	245	105	48	570	549	21
2003	973	443	250	129	64	368	283	85
2004	1089	443	259	126	58	522	484	37
2005	993	418	244	113	61	644	636	7
Gjennomsnitt	933	420	245	117	57	493	466	27
Median	973	418	245	117	58	508	484	21
Minst	728	398	226	105	48	344	283	0
Størst	1089	443	259	129	64	644	636	85

Vedlegg 7

Simulert vannopptak med fordeling i profilet. Maksimal rotdybde er 50 cm.

Vannopptak (mm/år)

Dybde (cm)	2000	2001	2002	2003	2004	2005	Snitt	Minste	Største	Median
0-5	52	56	47	59	60	53	54	47	60	55
5-10	42	43	39	46	46	43	43	39	46	43
10-20	61	59	58	67	65	62	62	58	67	62
20-30	39	38	37	44	42	39	40	37	44	39
30-40	27	24	15	24	21	19	22	15	27	22
40-50	26	7	48	10	26	27	24	7	48	26
50-60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sum profil	248	226	245	250	259	244	245	226	259	246

Vedlegg 8

Simulert vertikal vannstrømning i profilet. Det er satt som grensebetingelse i modellen at det ikke foregår strømning ut av nederste lag. Fra laget 400-700 cm (grunnvannets fluktuasjonsområde) transporteres vannet vekk ved drenering.

Strømning mellom lag (mm)

Dybde (cm)	2000	2001	2002	2003	2004	2005	Snitt	Minste	Største	Median
0-5	369	754	414	454	668	677	556	369	754	561
5-10	446	682	423	421	613	621	534	421	682	529
10-20	393	590	372	382	555	576	478	372	590	474
20-30	386	578	343	343	563	589	467	343	589	475
30-40	365	570	329	380	538	576	459	329	576	459
40-50	342	599	281	374	511	549	443	281	599	443
50-60	353	589	284	369	512	549	443	284	589	440
60-70	367	577	288	361	513	550	443	288	577	440
70-80	375	572	291	356	514	550	443	291	572	444
80-90	382	566	294	351	516	549	443	294	566	449
90-100	390	561	296	345	518	549	443	296	561	454
100-110	397	555	299	340	520	548	443	299	555	459
110-120	403	550	302	335	522	548	443	302	550	462
120-140	411	539	307	326	524	548	443	307	548	468
140-160	419	528	313	319	524	548	442	313	548	472
160-200	435	506	328	294	527	547	440	294	547	471
200-400	497	373	473	202	456	590	432	202	590	465
Snitt	396	570	332	350	535	568	459	311	588	469

Vedlegg 9

Simulert årlig vannbalanse for Verifiseringsperioden

	Nedbør	Evapotranspiration	Transpiration	Evaporation	Interception	Total avrenning	Drenering	Overflateavr.
1992	965	430	235	142	53	618	613	5
1993	915	421	229	132	60	530	530	0
1994	958	428	234	139	55	432	385	47
1995	949	393	201	135	57	569	543	27
1996	603	339	188	102	48	312	283	29
1997	1018	342	207	91	45	695	641	54
1998	945	363	208	99	56	531	521	10
1999	924	416	249	113	54	523	510	13
Gjennomsnitt	910	391	219	119	53	526	503	23
Median	945	393	219	119	54	530	521	23
Minst	603	339	188	91	45	312	283	0
Størst	1018	430	249	142	60	695	641	54

Vedlegg 10

Vannopptak simulert i ulike lag i modellen i verifiseringsperioden

Vannopptak (mm/år)

Dybde (cm)	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	Snitt	Minste	Største	Median
0-5	58	60	58	54	49	45	52	55	54	45	60	54
5-10	42	44	44	39	35	35	40	45	40	35	45	41
10-20	56	58	60	51	46	49	55	68	55	46	68	56
20-30	36	37	38	32	29	32	35	44	36	29	44	36
30-40	21	23	26	19	18	25	20	29	22	18	29	22
40-50	21	8	7	6	11	20	6	9	11	6	21	8
50-60	2E-12	8E-13	7E-13	6E-13	1E-12	2E-12	7E-13	1E-12	1E-12	6E-13	2E-12	9E-13
Sum profil	235	229	234	201	188	207	208	249	219	188	249	218

Vedlegg 11

Vannstrømning mellom ulike lag i modellen simulert for verifiseringsperioden. Fra laget 400-700 cm (grunnvannets fluktuasjonsområde) transporteres vannet vekk ved drenering.

Vannstrømning mellom lag (mm/år)

Dybde (cm)	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	Snitt	Minste	Største	Median
0-5	631	563	556	461	260	658	651	583	545	260	658	573
5-10	552	555	472	453	201	618	611	579	505	201	618	553
10-20	497	488	428	445	157	625	552	465	457	157	625	477
20-30	536	470	504	423	194	611	533	446	465	194	611	487
30-40	555	478	476	408	182	603	511	482	462	182	603	480
40-50	535	473	468	427	170	583	533	500	461	170	583	487
50-60	536	477	466	428	171	583	530	500	461	171	583	488
60-70	536	481	463	429	173	584	527	499	461	173	584	490
70-80	537	486	460	430	174	584	524	498	462	174	584	492
80-90	539	489	457	432	175	584	522	496	462	175	584	493
90-100	539	492	455	433	176	585	521	494	462	176	585	493
100-110	539	495	452	434	177	585	519	492	462	177	585	494
110-120	538	497	450	435	177	586	517	492	462	177	586	495
120-140	538	501	446	436	179	587	514	495	462	179	587	498
140-160	537	504	443	437	180	588	511	498	462	180	588	501
160-200	535	514	439	436	175	593	500	508	463	175	593	504
200-400	587	542	362	494	177	580	485	498	466	177	587	496
Sum profil	9267	8507	7797	7443	3098	10136	9062	8524	7979	3098	10136	8516

Vedlegg 12

Snø og tele simulert for normalperioden 1961-1990

År	Maksimal snødybde (m)	Døgn med snø	Maksimal teledybde	Døgn med tele
1961	0.33	104	-0.65	139
1962	0.53	158	-0.35	140
1963	0.83	158	-0.22	152
1964	0.42	104	-0.22	89
1965	0.59	163	-0.44	116
1966	0.83	151	-0.65	165
1967	0.51	144	-0.65	173
1968	0.93	184	-0.05	54
1969	0.30	158	-0.75	159
1970	0.49	159	-0.75	165
1971	0.51	164	-0.35	126
1972	0.26	103	-0.55	81
1973	0.48	139	-0.12	59
1974	0.40	106	-0.12	73
1975	0.66	90	-0.45	63
1976	0.90	180	-0.21	108
1977	0.42	148	-0.55	179
1978	0.50	145	-0.65	147
1979	0.54	130	-0.65	125
1980	0.43	157	-0.65	116
1981	0.92	174	-0.65	165
1982	0.35	126	-0.22	129
1983	0.70	147	-0.22	34
1984	0.40	105	-0.22	128
1985	0.63	151	-0.65	121
1986	0.68	139	-0.55	158
1987	0.71	146	-0.35	123
1988	0.37	149	-0.44	101
1989	0.29	100	-0.05	8
1990	0.31	81	-0.21	82
1961-1990	0.93	4163	-0.749879897	3478

Vedlegg 13

Jordtemperatur simulert for normalperioden 1961-1990

Nedre laggrense (m)	Kaldest °C			Varmest °C			Årsmiddel temperatur °C			Median °C		
	Snitt	Lavest	Høyest	Snitt	Lavest	Høyest	Snitt	Lavest	Høyest	Snitt	Lavest	Høyest
0.05	-3.6	-12.0	-0.2	21.3	16.5	24.7	5.9	4.8	7.1	4.8	0.5	7.0
0.1	-2.6	-10.6	0.0	20.4	15.5	24.0	5.8	4.8	7.1	4.8	0.7	6.8
0.2	-1.9	-8.8	0.2	19.5	14.9	23.2	5.8	4.8	7.0	4.7	0.7	6.8
0.3	-1.2	-7.0	0.3	18.4	14.2	22.1	5.8	4.8	7.0	4.8	1.1	6.8
0.4	-0.5	-5.2	0.5	17.3	13.5	21.0	5.8	4.9	7.0	4.7	1.4	6.8
0.5	0.0	-2.3	0.6	16.3	12.9	20.0	5.8	4.9	7.0	4.8	1.8	6.7
0.6	0.3	-0.4	0.8	15.6	12.5	19.2	5.8	4.9	6.9	4.8	2.1	6.6
0.7	0.4	0.0	0.9	15.2	12.2	18.8	5.8	4.9	6.9	4.9	2.2	6.7
0.8	0.5	0.1	1.0	14.8	12.0	18.3	5.8	4.9	6.9	4.9	2.4	6.7
0.9	0.6	0.2	1.2	13.8	11.6	16.8	5.8	4.9	6.8	5.0	2.6	6.7
1	0.8	0.3	1.4	13.1	11.3	15.7	5.7	4.9	6.8	5.0	2.8	6.7
1.1	0.9	0.4	1.6	12.6	11.0	14.8	5.7	4.9	6.7	5.1	3.0	6.7
1.2	1.1	0.6	1.9	12.1	10.7	14.1	5.7	4.9	6.7	5.1	3.2	6.6
1.4	1.3	0.8	2.1	11.5	10.2	13.2	5.7	4.9	6.6	5.2	3.4	6.7
1.6	1.6	1.0	2.4	10.8	9.7	12.4	5.7	4.9	6.6	5.2	3.6	6.5
2	2.0	1.4	2.8	10.0	9.0	11.3	5.6	5.0	6.5	5.3	4.0	6.4
4	3.4	2.6	4.2	7.6	6.9	8.3	5.5	5.1	6.2	5.5	5.0	6.3
7	5.0	4.5	5.5	6.0	5.7	6.6	5.5	5.2	6.0	5.6	5.3	6.1
10	5.4	5.2	5.8	5.6	5.4	6.0	5.5	5.3	5.9	5.5	5.3	5.9
13	5.5	5.3	5.8	5.5	5.4	5.9	5.5	5.3	5.9	5.5	5.3	5.9

Vedlegg 14

Vannbalanse normalperiode

	Nedbør	Evapo-transpirasjon	Transpirasjon	Evaporasjon	Intersepsjon	Total avrenning	Drenering	Overflate-avrenning
1961	899	384	218	105	60	422	422	0
1962	963	330	179	93	58	628	512	116
1963	925	350	215	84	51	526	387	139
1964	1061	385	212	109	64	649	648	0
1965	902	345	208	88	49	661	534	127
1966	858	333	195	84	54	563	340	223
1967	952	359	203	107	49	384	329	55
1968	716	283	191	57	34	669	668	1
1969	778	379	220	100	59	303	266	37
1970	655	370	211	104	54	267	214	53
1971	1395	387	206	121	61	740	649	91
1972	897	434	230	142	61	696	696	0
1973	1270	406	212	131	63	760	741	19
1974	737	417	236	123	59	512	464	48
1975	1357	430	233	130	68	630	630	0
1976	891	321	191	90	39	849	729	120
1977	699	378	209	112	57	315	252	63
1978	1040	390	220	116	53	606	546	60
1979	1032	392	211	120	60	625	567	58
1980	880	387	224	113	50	487	464	23
1981	791	318	177	90	51	573	456	118
1982	889	422	231	131	60	422	408	14
1983	1302	369	198	98	72	807	807	0
1984	765	363	203	92	68	534	506	28
1985	1099	334	185	86	63	671	629	42
1986	860	383	205	111	67	505	418	87
1987	1140	342	188	93	60	702	557	145
1988	1033	368	206	109	53	641	641	0
1989	1172	396	200	132	64	907	907	0
1990	952	383	214	113	57	573	527	46
Gjennomsnitt	**964**	**371**	**208**	**106**	**57**	**588**	**531**	**57**
Laveste	**655**	**283**	**177**	**57**	**34**	**267**	**214**	**0**
Høyeste	**1395**	**434**	**236**	**142**	**72**	**907**	**907**	**223**

Vedlegg 15

Vannbalanse i simuleringslagene i modellen for normalperioden 1961-1990. Vannet renner vekk ved drenering fra laget 400-700 cm.

Dybde	Vannopptak (mm)					Vannstrømning mellom lag (mm)			
(cm)	Snitt	Minste	Største	Median		Snitt	Minste	Største	Median
0-5	48	32	62	49		584	317	1020	546
5-10	38	27	44	38		555	301	993	546
10-20	53	42	60	53		510	224	952	498
20-30	34	27	39	35		501	207	918	484
30-40	21	15	29	22		486	186	898	463
40-50	14	5	45	11		478	189	888	466
50-60	0	0	0	0		480	190	890	467
60-70	0	0	0	0		489	209	893	466
70-80	0	0	0	0		491	206	896	465
80-90	0	0	0	0		491	204	899	464
90-100	0	0	0	0		491	202	902	464
100-110	0	0	0	0		491	200	906	465
110-120	0	0	0	0		491	198	908	465
120-140	0	0	0	0		490	192	907	465
140-160	0	0	0	0		490	188	905	465
160-200	0	0	0	0		488	176	898	468
200-400	0	0	0	0		482	140	907	452
Sum profil	**208**	**177**	**236**	**209**	**Snitt**	**499**	**208**	**916**	**477**

Vedlegg 16

Grunnvannsstand simulert for normalperioden 1961-1990

År	Lavest	Høyest	Gjennomsnitt	Median
1961-1990	-7.17	-5.33	-6.62	-6.70
1961	-6.94	-6.14	-6.64	-6.73
1962	-7.12	-5.74	-6.70	-6.78
1963	-7.06	-6.14	-6.75	-6.87
1964	-6.80	-5.92	-6.47	-6.54
1965	-6.96	-5.98	-6.61	-6.75
1966	-7.16	-6.12	-6.84	-6.96
1967	-7.11	-6.34	-6.80	-6.81
1968	-6.93	-5.86	-6.47	-6.56
1969	-7.04	-5.48	-6.87	-6.97
1970	-7.17	-6.09	-6.98	-7.11
1971	-7.00	-5.81	-6.53	-6.63
1972	-7.07	-5.68	-6.51	-6.71
1973	-6.66	-5.87	-6.39	-6.45
1974	-6.88	-5.98	-6.62	-6.76
1975	-6.91	-5.79	-6.50	-6.62
1976	-6.80	-5.89	-6.40	-6.47
1977	-7.13	-6.09	-6.94	-7.04
1978	-7.05	-5.60	-6.66	-6.88
1979	-7.14	-5.33	-6.65	-6.67
1980	-7.07	-6.00	-6.72	-6.88
1981	-6.90	-6.22	-6.61	-6.65
1982	-7.08	-6.30	-6.69	-6.68
1983	-6.80	-5.79	-6.36	-6.39
1984	-7.05	-5.81	-6.68	-6.81
1985	-7.08	-5.73	-6.62	-6.82
1986	-7.12	-5.90	-6.75	-6.93
1987	-7.07	-6.02	-6.61	-6.65
1988	-6.87	-5.94	-6.48	-6.58
1989	-6.78	-5.73	-6.30	-6.35
1990	-6.84	-5.98	-6.56	-6.61

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

Utgitt i Rapportserien i 2006

Nr. 1 Tor Arnt Johnsen (red.): Kvartalsrapport for kraftmarkedet, 4. kvartal 2005 (82 s.)

Nr. 2 Kulturminner i norsk kraftproduksjon (270 s.)

Nr. 3 Tina Vestersager, Hervé Colleuille: Nasjonalt overvåkingsnett for grunnvann og markvann (Fysiske parameter). Driftrapport 2005. Status pr. mars 2006 (46 s.)

Nr. 4 Amir Messiha (red.): Avbruddsstatistikk 2005 (61 s.)

Nr. 5 Flom i tettsteder. Hva bør være NVEs ansvarsområde og ambisjon for å minske skader? (49 s.)

Nr. 6 Olav Kolbeinstveit, Asle Tjeldflåt: Automatisk måleravlesning og toveiskommunikasjon Styringsinstrument eller avlesningsautomat? (52 s.)

Nr. 7 Tor Arnt Johnsen (red.): Kvartalsrapport for kraftmarkedet, 1. kvartal 2006 (89 s.)

Nr. 8 Manuell kartlegging av småkraftpotensial i Luster kommune.
Delvis basert på NVEs digitale kartlegging i 2004 (s.)

Nr. 9 Kari Margrethe Fløtre, Christian Johan Giswold: Omsetningskonsesjonærer, organisasjons- og strukturutvikling pr. 31. desember 2005 (48 s.)

Nr. 10 Anders Aarøe Mømb (red.): Årsrapport for utførte sikrings- og miljøtiltak i 2005 (89 s.)

Nr. 11 Tor Arnt Johnsen (red.): Kvartalsrapport for kraftmarkedet, 2. kvartal 2006 (55 s.)

Nr. 12 Tor Arnt Johnsen (red.): Kvartalsrapport for kraftmarkedet, 3. kvartal 2006 (69 s.)

Nr. 13 Pål Tore Svendsen (red.): CO_2-håndtering på Kårstø (73 s.)

Nr. 14 Panagiotis Dimakis: Grunnvannsanalyse av Groset nedbørfelt (42 s.)

Nr. 15 Trude Øverlie, Hervé Colleuille, Lars Egil Haugen: Vann i jord
Simulering av vann- og energibalansen på Værnes markvannsstasjon, Nord-Trøndelag