Vann i jord

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

Trude Øverlie
Hervé Colleuille
Lars Egil Haugen

18
2007

RAPPORT

Vann i jord

Vann- og energitransport ved Kvithamar markvannstasjon, Nord-Trøndelag.

Norges vassdrags- og energidirektorat
2007

Rapport nr 18 - 2007

Vann i jord

Vann- og energitransport ved Kvithamar markvannstasjon, Nord-Trøndelag.

Utgitt av: Norges vassdrags- og energidirektorat

Forfatter: Trude Øverlie, Hervé Colleuille og Lars Egil Haugen

Trykk: NVEs hustrykkeri
Opplag: 15

Forsidefoto: Gandals telemåler og snøskala, tensiomerter, jordprofil ved Karasjok, markvannstasjonen på Kvithamar, skap for loggere og overføring av data. Nederst: klima- og markvannstasjon Kise og overløp ved Grosettjern (Foto Hervé Colleuille)

ISBN: 978-82-410-0650-0

Sammendrag: Markvannsmodellen COUP er parametrisert og verifisert for markvannsstasjonen på Kvithamar. 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 2007

Innhold

Forord **4**

Sammendrag **5**

1 Innledning **6**

2 Stasjonsbeskrivelse **8**

3 Klima **10**

4 Jord **15**

4.1 Kornfordeling 15
4.2 Jordas hydrauliske egenskaper 17

5 Metode **21**

5.1 Målinger ved Kvithamar markvannsstasjon 21
5.2 COUP-modellen 23

6 Parametrisering **25**

6.1 Vinterforhold 25
6.1.1 Snødybde 26
6.1.2 Teledybde 31
6.2 Jordtemperatur 34
6.3 Vannbalanse 38
6.3.1 Vannopptak og matrikssug 39
6.3.2 Drenering og grunnvannnsstand 45

7 Verifisering av modellen **48**

7.1 Snødybde 49
7.2 Teledybde 51
7.3 Grunnvannsstand 53

8 Normalverdier **55**

8.1 Vinterforhold 55
8.2 Jordtemperatur 58
8.3 Vannbalanse 59

9 Konklusjon **64**

Referanser **65**

Vedlegg 1 ..... **67**

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.

Denne rapporten er den tredje 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 prosjektet (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 2007

Morten Johnsrud
avdelingsdirektør

Sverre Husebye
seksjonssjef

Sammendrag

Denne rapporten om simuleringer av vann og energibalanse i jord ved NVEs markvannsstasjon på Kvithamar i Nord Trøndelag, inngår i 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 Kvithamar 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 1990 og det er utført målinger av snø, tele, jordtemperatur, grunnvannsstand og matrikssug 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 i området 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 (1990-1999). Simuleringene av jordtemperatur stemmer godt overens med målingene fra markvannstasjonen.

Grunnvannsstanden ved markvannsstasjonen ligger på mellom -0.5 og 3 meter dybde. Det ble oppnådd en rimelig god overensstemmelse mellom simuleringer og målinger, men i enkelte perioder er det avvik. De største avvikene forekommer ved kalde vintre der grunnvannspeilet synker lavere enn dreneringssystemet i modellen.

Totalt i dette arbeidet er det utført simuleringer av markvanns- og grunnvannssituasjonen for perioden 1961-2005 (parametriseringsperiode 2000-2005 , verifiseringsperiode 1990-1999 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 matrikssug) 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 (Colleuille et al., 2007) 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

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

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

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

Denne rapporten er den tredje i en serie 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 Kvithamar markvannstasjon med beliggenheten, jordtype, målinger og klimaforhold. Deretter følger en beskrivelse av parametersettet som er valgt for Kvithamar-modellen. Modellen er kalibrert for perioden 2000-2005 med data fra markvannsstasjonen. 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 1990-1999. Til slutt presenteres normalverdier og ekstremverdier for perioden 1961-1990. Tidligere rapporter i samme serie presenterer tilsvarende arbeid utført for markvannstasjonene Værnes (Øverlie et. al., 2006) og Kise (Colleuille et al., 2007).

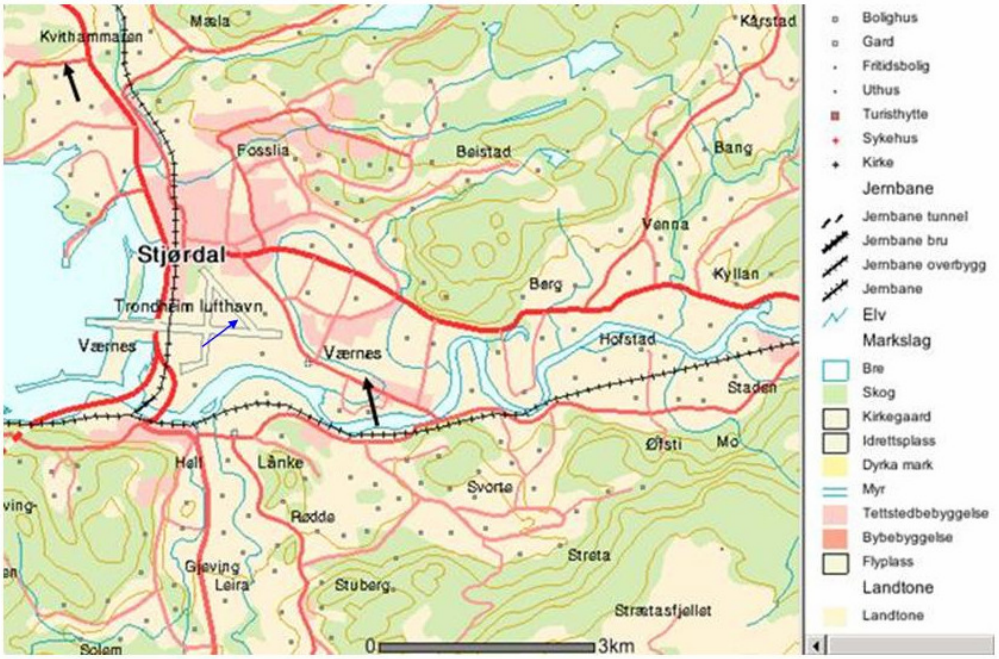
2 Stasjonsbeskrivelse

Kvithamar markvannstasjon ligger i Stjørdal kommune i Nord-Trøndelag og inngår i det nasjonale observasjonsnettet for markvann. Stasjonen ble opprettet i juli 1990 og automatisert med loggere i juni 2000.

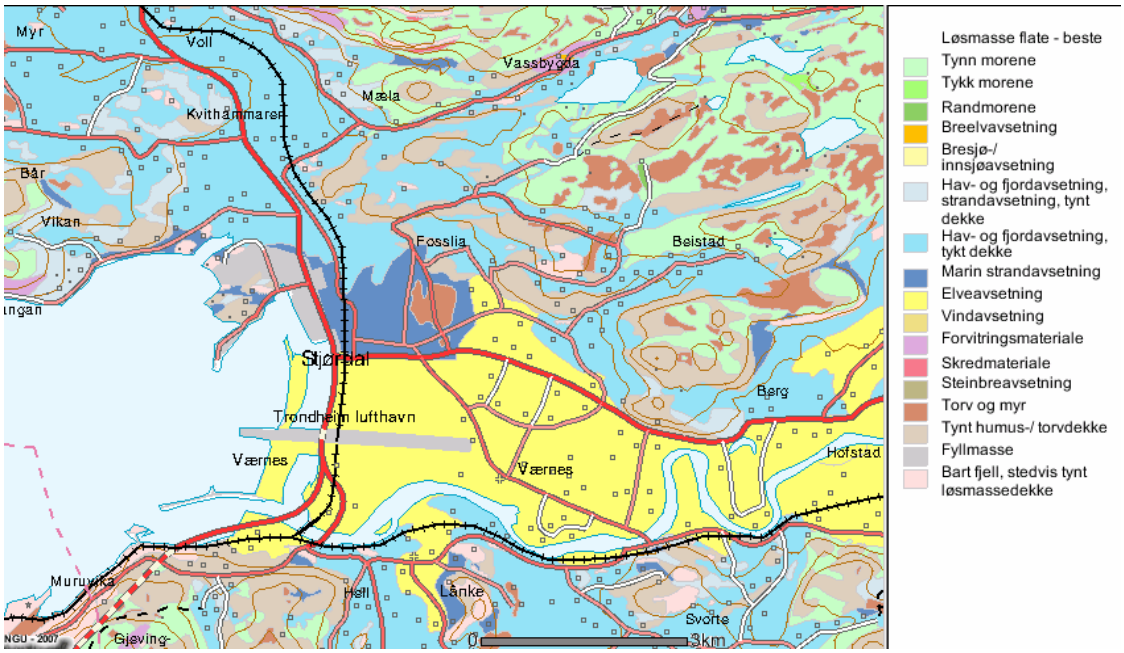
Stasjonens beliggenhet er vist i Figur 2-1. På kartet er også beliggenheten av Værnes markvannstasjon (ca 6 km sørøst for Kvithamar markvannstasjon) og den meteorologiske stasjonen ved Værnes Lufthavn vist.

Kvithamar markvannsstasjon ligger i et området med dyrket mark (korn). Ved selve markvannstasjonen er det plengress. Opphavsmaterialet er havavsetninger bestående av silt og leire (se kapittel 4). Kvartærgeologisk kart over området er vist i Figur 2-2

Stasjonsnavn	Kvithamar
Stasjonsnr. (Hydra II)	124.34.0
Vassdragsnavn	Stjørsdalsvassdraget/kystfelt
Regine/vassdragsnr.	124.22
Høyde	ca. 35 m o. h.
Kartblad	1621-1
Kommune	Stjørdal
Fylke	Nord-Trøndelag
Løsmasser/Bergart	Havavsetning



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.

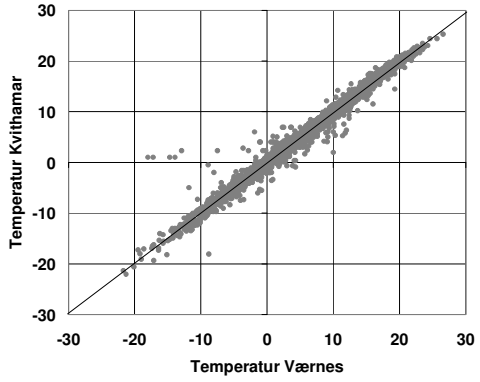


Figur 2-2: Kvartærgeologisk kart (NGU).

3 Klima

For simuleringer med COUP-modellen er det benyttet klimadata fra den meteorologiske stasjonen på Værnes (stasjon nr. 69100). Stasjonen ble opprettet i 1946 og ligger ved Værnes lufthavn ca 4,5 km sørøst for markvannstasjonen, 12 meter over havet. Bioforsk - Landbruksmeteorologisk tjeneste, har en klimastasjon på Kvithamar.

Figur 3-1 viser plott av temperatur fra de to stasjonene for perioden 1990-2005. Med unntak av enkeltmålinger vi må anta er feil, er avviket som ventet liten.



Figur 3-1: Temperatur målt på Værnes plottet mot målinger fra Kvithamar

Ved Bioforsks stasjon på Kvithamar er vindhastigheten målt ved 2 meter mens det ved Værnes er målt vind ved 10 meters høyde. Målingene fra den meteorologiske stasjonen ved Værnes lufthavn viser større vindhastigheter enn målt på Kvithamar. Forskjellene mellom målingene på de to lokalitetene er større enn hva som er rimelig å anta kan skyldes vindgradient i åpent og flatt landskap. For å teste dette er det tatt utgangspunkt i et logaritmisk vindprofil. Vindhastigheten ved 2 meters høyde over kortklippet gress kan da estimeres ved (Allan et. al., 1998)

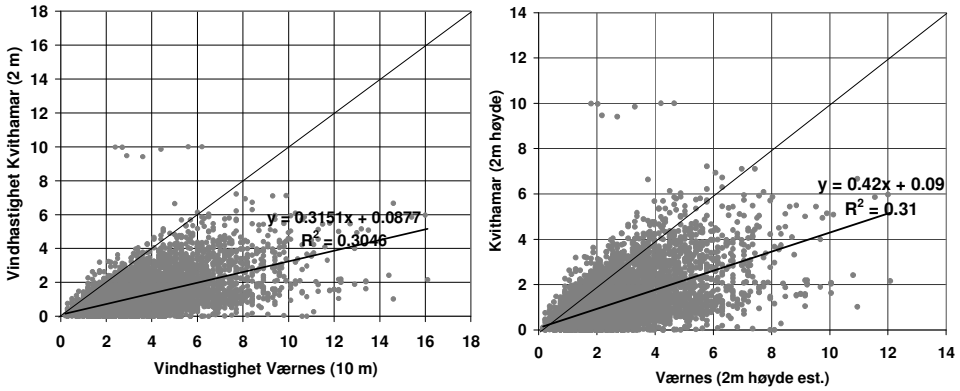
$u_2=u_z(4.84/(\ln(67.8z - 5.42)))$

der u_z er vindhastighet i målehøyden z. Tabell 3-1 viser middel og ekstremverdier vind målt i perioden 1990-2005 på 10 meters høyde på Værnes, vindhastighet fra Værnes justert til 2 meters høyde og målinger for 2 meters høyde på Kvithamar. Figur 3-2 viser plott for forholdet mellom vindhastigheten målt på Kvithamar og på Værnes før og etter justering for høyden over bakken. Verdiene for Værnes justert til 2 meter er betydelig høyere enn verdiene for Kvithamar. Dette tyder på en reell forskjell i vind mellom stasjonen på Værnes, som ligger ved flyplassen ut mot fjorden, og på Kvithamar.

Tabell 3-1: Vindhastighet målt på Kvithamar og Værnes og verdier for Værnes estimert for 2 meters høyde for perioden 1990-2005 (døgnmiddel).

	Værnes 10 m	Værnes 2 m*	Kvithamar 2 m
Gjennomsnitt	3.64	2.73	1.23
Median	3.10	2.33	0.91
Største	16.10	12.08	10.00
Minste	0.20	0.15	0.01

*Verdier estimert ved logaritmisk vindprofil

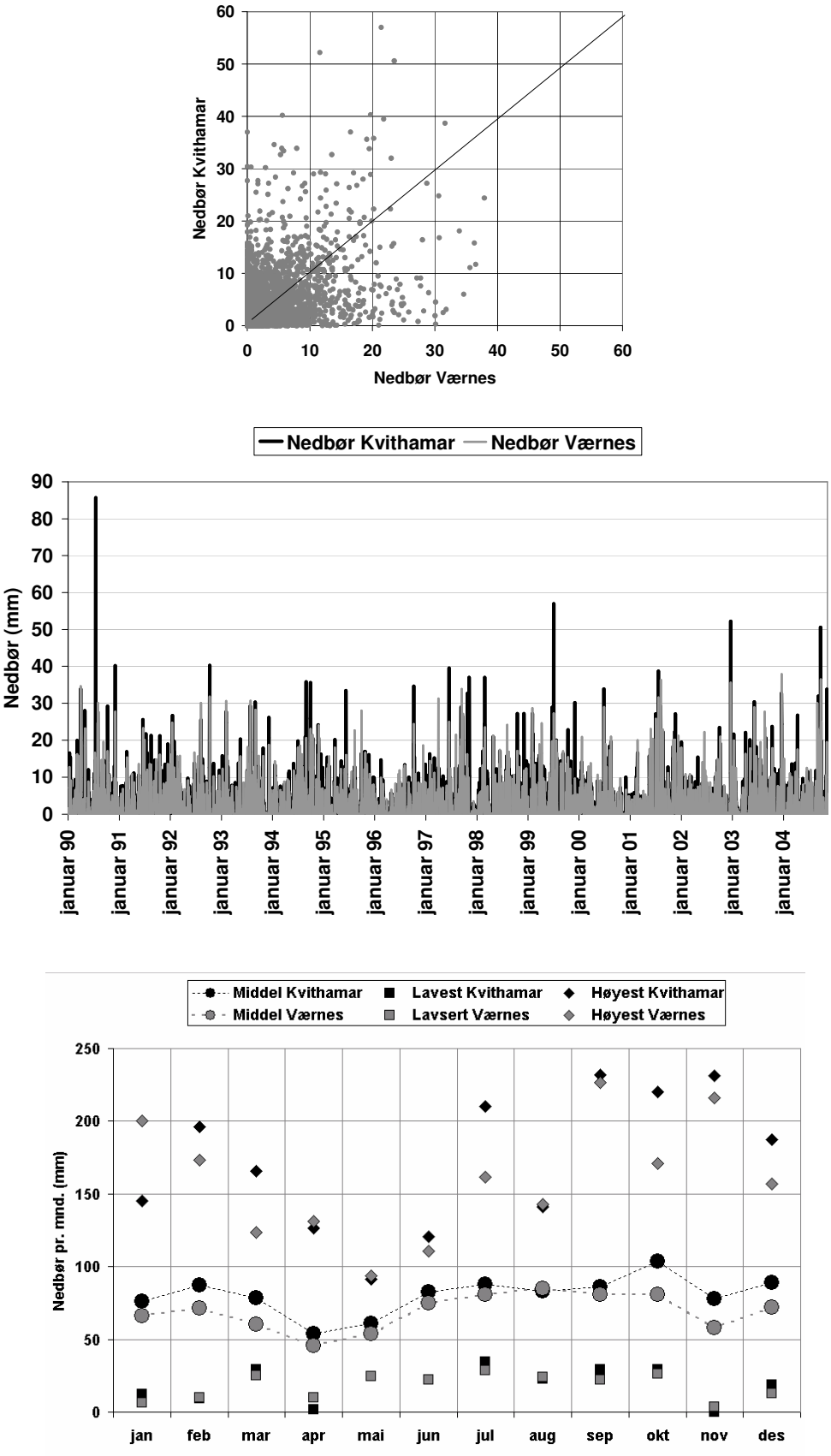


Figur 3-2: Vindhastighet målt på Værnes ved 10 meters høyde og estimert vindhastighet ved 2 meters høyde plottet mot målinger fra Kvithamar på 2 meters høyde.

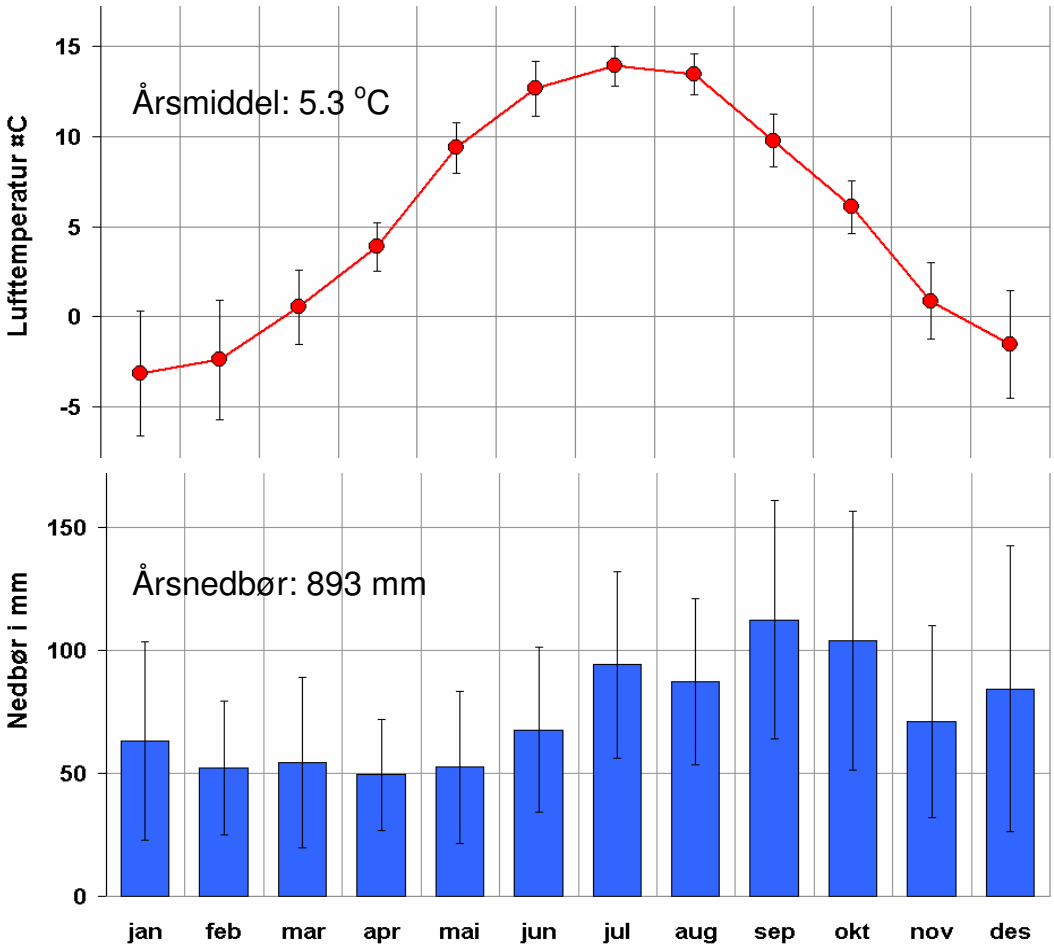
Nedbørsmålingene viser relativt stor spredning (Figur 3-3). Det er generelt mer nedbør målt på Kvithamar enn på Værnes, spesielt ved høy nedbørsintensitet (midtre del av figur). Dette kan skyldes reelle forskjeller eller ulik oppfangingsevne som følge av vind. Månedsverdier av nedbøren på de to lokalitetene er vist for middelverdier og ekstremer nederst i Figur 3-3. Målingene viser en større nedbør på Kvithamar enn på Værnes gjennom hele året med unntak av august med litt mer nedbør på Værnes.

Til tross for forskjellene mellom de to målestasjonene er det valgt å benytte klimadata fra Værnes i modellen da dette er lengre og mer komplette serier.

Månedsnormaler for lufttemperatur og nedbør målt på Værnes for perioden 1961-1990 er vist i Figur 3-4. Standardavvik for månedsverdiene er inntegnet i figuren. Årsmiddel av lufttemperatur er 5,3 °C og midlere årsnedbør er 892 mm for perioden 1961-1990. 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.



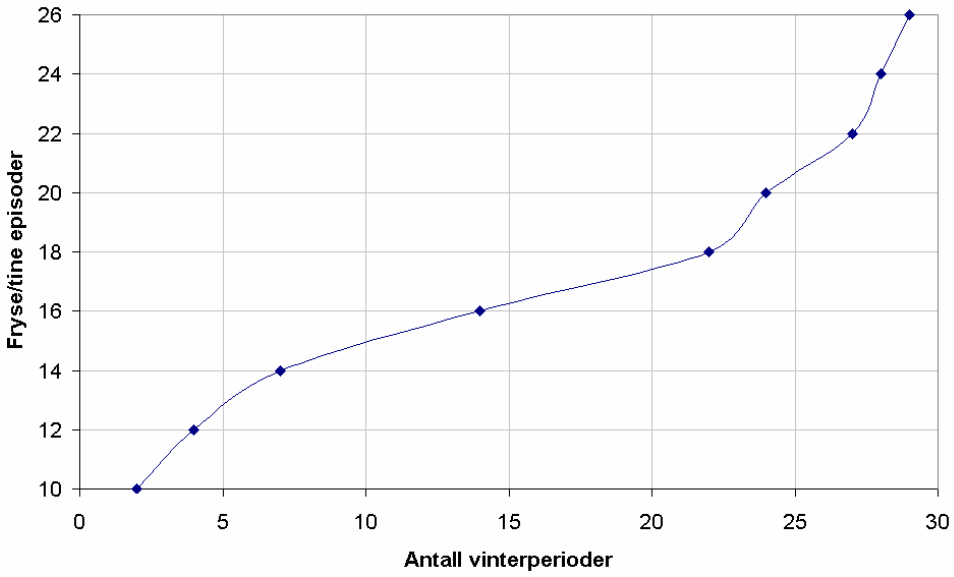
Figur 3-3: Sammenligning av nedbørsmålingene fra Værnes og Kvithamar. Øverst: nedbørsdata fra Værnes plottet mot tilsvarende data fra Bioforsks klimastasjon på Kvithamar. Midten: Tidsplott av nedbør ved de to stasjonene (døgnverdier). Nederst: Middel og ekstremer av døgnverdier ved di to stasjonene.



Figur 3-4: Månedsmiddel lufttemperatur (øverst) og månedssum nedbør i perioden 1961-1990 (nederst). Standardavvik for månedsverdiene er inntegnet i figuren.

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). 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).

Figur 3-5 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.

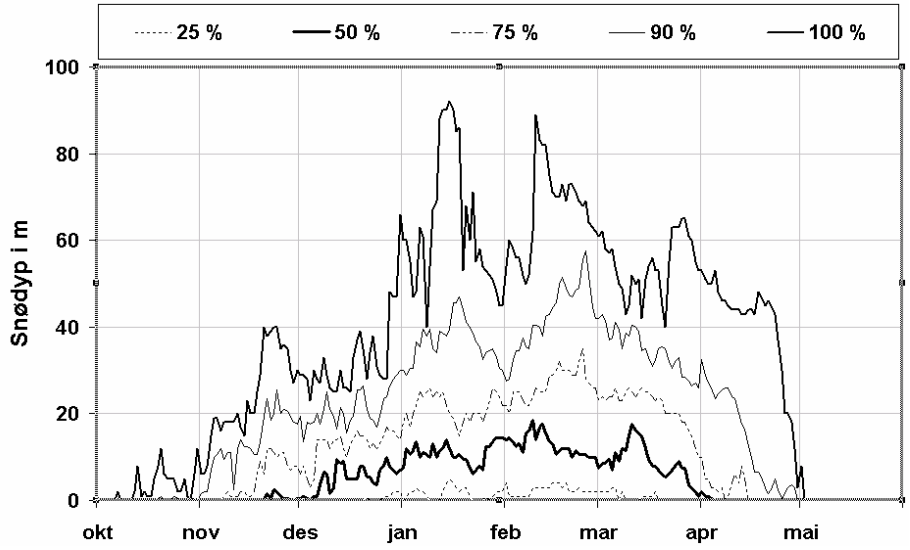


Figur 3-5: Antall vinterperioder versus antall fryse/tining episoder innen vinter i periode 1961-1990.

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 3-6 er det vist ulike persentiler for snødybde som funksjon av dato. De ulike persentilene i figuren gir et inntrykk av spredningen i snødybde på de ulike datoene. Kurven for 75 prosent persentilen viser at for 75 % av årene er snødybden lavere enn kurven mens 25 % av årene har større snødybder.

Mediankurven for snødybden (50 % persentilen) 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.



Figur 3-6: Observert snødybde presentert som persentiler i perioden 1961-1990.

4 Jord

4.1 Kornfordeling

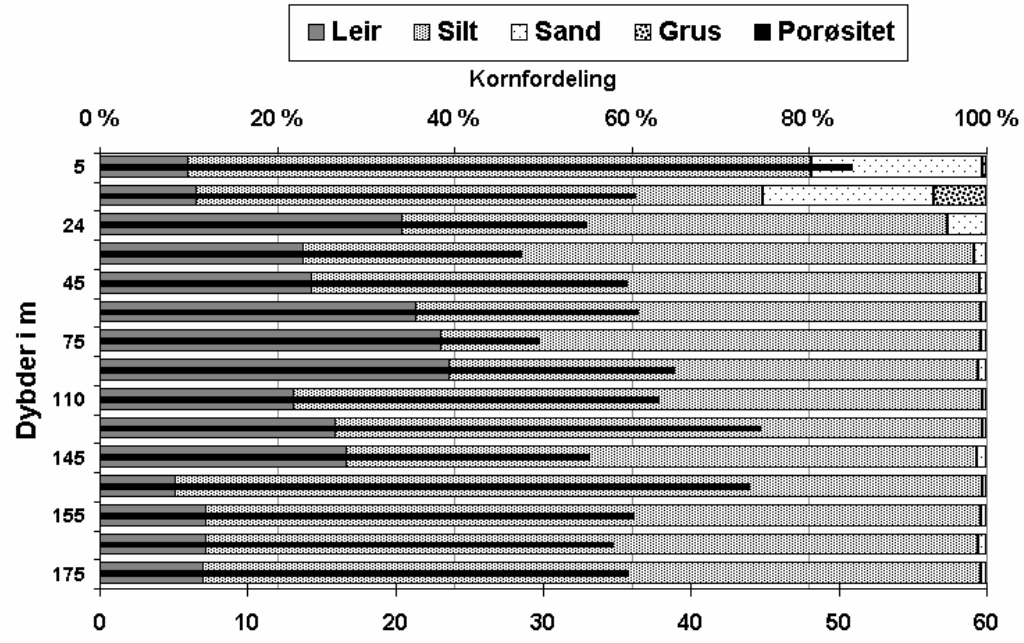
Området Kvithamar og Værnes prestegård er kartlagt av Jordregisterinstituttet (Solbakken, 1987). Totalt 13 ulike jordtyper er kartlagt for områdene. Kvithamar markvannsstasjon ligger i et området kartlagt som dårlig drenert siltig mellomleire som inneholder lag med siltig lettleire eller silt i de øvre 30-40 cm (Solbakken, 1987). Et representativt profil (jordtype 2) for området nær markvannsstasjonen er beskrevet i Vedlegg 1.

Tabell 4-1 viser kornfordelingen i de ulike sjiktene i profilet fra kartleggingen (Solbakken, 1987) og for prøver fra markvannsstasjonen (1990). I Vedlegg 2 er det vist en mer detaljert kornfordeling for datasettet fra markvannsstasjonen slik det er benyttet i modellen. 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). Datagrunnlaget for figuren samt jordtetthet på de ulike prøvedypene er vist i tabellform i vedlegg 2.

Tabell 4-1: Kornfordeling av prøver fra profil for jordtype 2 av Solbakken (1987) og fra prøver tatt ut på Kvithamar markvannsstasjon (1990).

Profil for jordtype 2 fra Solbakken (1987)						
Sjikt	**Dyp cm**	**Jordart**	**Sand %**	**Silt %**	**Leir %**	**C %**
Ap	0-20	Siltig mellomleire	7	66	27	8.8
Bg	20-35	Siltig lettleire	2	85	13	0.3
Cg	35-	Siltig mellomleire	1	62	37	0.4

Profil fra NVE markvannsstasjon (1990)					
Dyp cm	**Jordart**	**Sand %**	**Silt %**	**Leir %**	**Glødtap %**
0-20	Sandig silt	11	67.5	21.5	7
20-35	Siltig mellomleire	4.6	61.3	34.0	3
35-145	Siltig lettleire	0.8	75.3	23.9	2
145-175	Silt	0.7	87.4	11.9	1



Figur 4-1: Kornfordeling og porevolum for Kvithamar markvannstasjon

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

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

Vannretensjon er målt for prøver ved 7 dybder på Kvithamar av Bioforsk. Vannretensjonsdata for de ulike dypene er gitt i Tabell 4-3.

Tabell 4-3: Retensjonsdata som vol % vann og sug i cm H_2O for ulike prøvedyp.

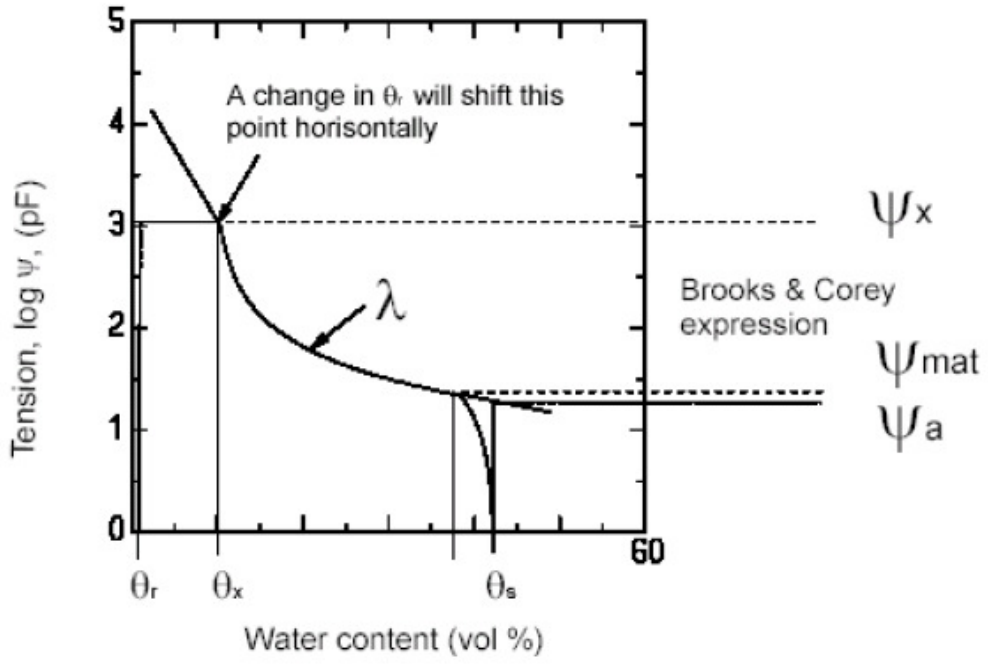
	cm H_2O							
Dybde (cm)	**0**	**10**	**20**	**40**	**70**	**100**	**1000**	**15000**
15	51,4	49,2	47,4	46,2	45,1	43,8	36,6	12,9
30	37,8	35,2	34,5	33,8	33,4	32,9	30,4	16,4
45	41,8	38,3	37,4	36,7	36,2	35,7	32,5	20,5
60	41,4	39,3	38,2	37,6	37,1	36,6	33,5	18,3
75	41,9	39,6	39,3	38,8	38,2	37,8	35,1	20,9
90	45,1	41,9	41,6	41,1	40,7	40,2	37,5	20,3
120	45,2	43,3	43,1	42,8	42,5	42,2	40,0	20,4

For modellsimuleringene må sammenhengen mellom matrikssug 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 i eksempel hentet fra Jansson og Karlberg (2001) i Figur 4-2. Parametriseringen benyttet i tilpassingen og kurvene for de fire sjiktene i modellen plottet sammen med måledata fra sjiktene er gitt i Vedlegg 2.

1. Makroporefunksjon – funksjon for området nær vannmetning hvor en har de groveste porene. Matrikssuget er gitt ved:
$\psi = \psi_{mat} - \psi_{mat}((\theta-\theta_s+\theta_m) / \theta_m)$
der θ_m er volumprosent makroporer. Default-verdien i modellen er 4 vol%. θ_s er porøsitet og ψ_{mat} er matrikssuget 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 matrikssuget der de første porene tømmes ("air-entry") og λ er porestørrelsesfordelingsindeks. 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 ($\theta_s - \theta_m$) til et bestemt matrikssug, øvre grense for Brooks & Corey's. funksjon. Denne grensen (ψ_x) er for våre simuleringer satt til matrikssug ved 1100 cm H_2O.

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 ψ_x og θ_{wilt} er vanninnhold ved visnegrensa ψ_{wilt}.



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

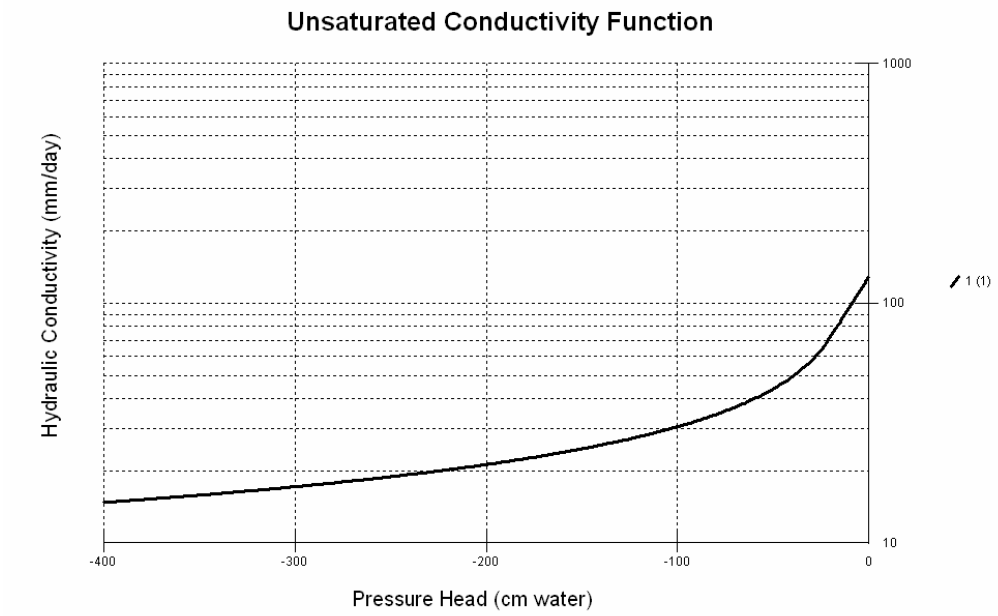
Vannledingsevne er et mål på jordas evne til å slippe igjennom vann og er avhengig av jordas porestørrelsesfordeling. Mettet vannledningsevne er ikke målt på Kvithamar men kan estimeres ut fra sammenhengen mellom mettet vannledningsevne og kornfordeling (Jansson og Karlberg, 2001). Denne sammenhengen er imidlertid svært usikker.

Estimert mettet vannledningsevne for de fem sjiktene er vist i Figur 4-4. Vannledningsevnen påvirker i stor grad fluktuasjonen av simulert grunnvannsnivå. Det er derfor hovedsakelig tatt hensyn til tilpassing av grunnvannstand ved parametrisering av mettet og umettet vannledningsevne.

Jordas umettede vannledningsevne (K_W) er i modellen for Kvithamar beregnet som funksjon av effektiv metning.

$k_w = k_{mat} S_e^{Pne}$

Parametrene P_{ne} er en parameter, k_{mat} er mettet matriksvannledningsevne og S_e er effektiv metning. Figur 4-3 viser sammenhengen mellom matrikssug (cm H_2O) og vannledningsevne (mm/dag) for det øverste sjiktet (0-20 cm). Parametrisering av vannledningsevne for de fem sjiktene er vist i Vedlegg 2.

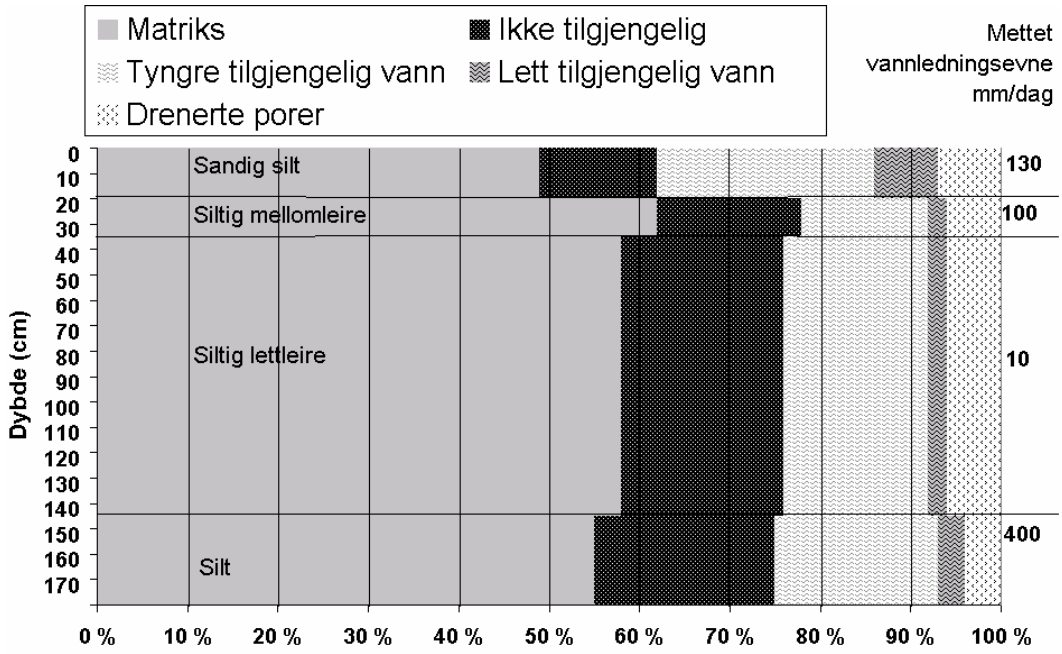


Figur 4-3: Sammenhengen mellom matrikssug (cm H2O) og vannledningsevne (mm/dag) for sjiktet fra 0 til 20 cm dybde med umettet vannledningsevne beregnet som funksjon av effektiv metning.

Jorddata for Kvithamar markvannsstasjon benyttet i modellen er vist i Figur 4-4 nedenfor som et dybde-volum-diagram for fast materiale og porer. Det faste materiale er vist til venstre i figuren med jordartsklasse fra kornfordelingsanalyse ført inn. De neste feltene viser volumprosent vann ved ulike matrikssug. Vann som er bundet sterkere enn ved visnegrensa ved 15 000 cm H_2O er ikke tilgjengelig vann. Dette vannet utgjør 10-20 vol% for de ulike sjiktene. Plantetilgjengelig vann er vann bundet mellom matrikssug på 100 cm H_2O (feltkapasitet) og 15000 cm H_2O (visnegrense). Dette deles ofte opp i tyngre tilgjengelig vann (1000 til 15000 cm H_2O) og lett tilgjengelig vann (100 til 1000 cm H2O). Vann bundet svakere enn feltkapasitet (100 cm H_2O sug) holdes ikke tilbake mot gravitasjonskreftene og tapes raskt etter vannmetning. Dette er i figuren vist som drenerte porer.

Til høyre i figuren vises mettet vannledningsevne benyttet i modellen. Det er tatt utgangspunkt i verdier estimert fra målt kornfordeling, men verdiene er justert for å bedre simulert fluktuasjon i grunnvannsnivå.

Sjiktinndelingen vist i figuren er som benyttet i modellen og er valgt ut fra tilgjengelige profiler og prøvedybder for markvannstasjonen.



Figur 4-4: Dybde-volum diagram for jordprofil på markvannsstasjonen. Mettet vannledningsevne benyttet i COUP-modellen for Kvithamar er vist til høyre i figuren.

5 Metode

5.1 Målinger ved Kvithamar markvannsstasjon

Til parametrisering og verifisering av COUP-modellen for simulering av vann og energitransport i jord er det hovedsaklig benyttet måledata fra Kvithamar markvannsstasjon På markvannsstasjonen 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 matrikssug, vanninnhold samt teledybde. En kort beskrivelse av målingene benyttet er gitt her. Utstyret og metodene er beskrevet mer detaljert av Colleuille og Gillebo (2002).

	Måledybder i cm	**Måleperioder**
Jordtemperatur NVE *ºC*	15, 30, 45, 60, 75, 90, 120	2000-
Resistans *ohm*	5, 15, 30, 45, 60, 75, 90, 120	2000-
Tensionmeter *cm vann*	15, 30, 45, 60, 75, 90 ,120,180	1990-
Grunnvannsstand *m*		1990- automatisert 2000
Snødyp *m*		01.1992-
Teledyp m		11.1991-

Snø

Snødybden måles ved hjelp av en stake ved siden av telemåler. Nøyaktigheten antas å være +/- 1 cm.

Tele

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 matrikssug. 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

Sensorene registrerer en strøm (4-20 mA) som er en lineær funksjon av temperatur (Tayler og Jackson, 1986). Måleområdet er fra -20 °C til +40 °C. Sensorene har en nøyaktighet på +/- 0,2 °C (Buchan, 1991). Sensorene er imidlertid ikke kontrollert og

kalibrert før nedsetting. Feilen kan derfor være betydelig større enn dette. Målingene forutsetter god kontakt mellom sensorene og jorda omkring.

Matrikssug og vanninnhold

Sensoren består av en keramisk celle der motstanden måles mellom to innebygde elektroder (elektriske motstandsblokker). Vanninnholdet i den keramiske cellen varierer med jordas matrikssug på det aktuelle dyp. Sensorene har et måleområde fra 10-20 kPa til 200 kPa (Thomson og Armstrong, 1987). Store deler av tiden er det fuktigere enn nedre grense for sensorenes gyldighetsnivå og målingene vil derfor være usikre. I tørre perioder og ved frost vil den øvre grensen overstiges. 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 matrikssuget 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 matrikssug med tensiometer. Tensiometermålingene som ligger til grunn for kalibreringskurven er utført på relativt våt jord. Sammenhengen mellom elektrisk motstand og matrikssug 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.

Manuelle målinger av matrikssuget i jorda er utført med tensiometer ved markvannsstasjonen. 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

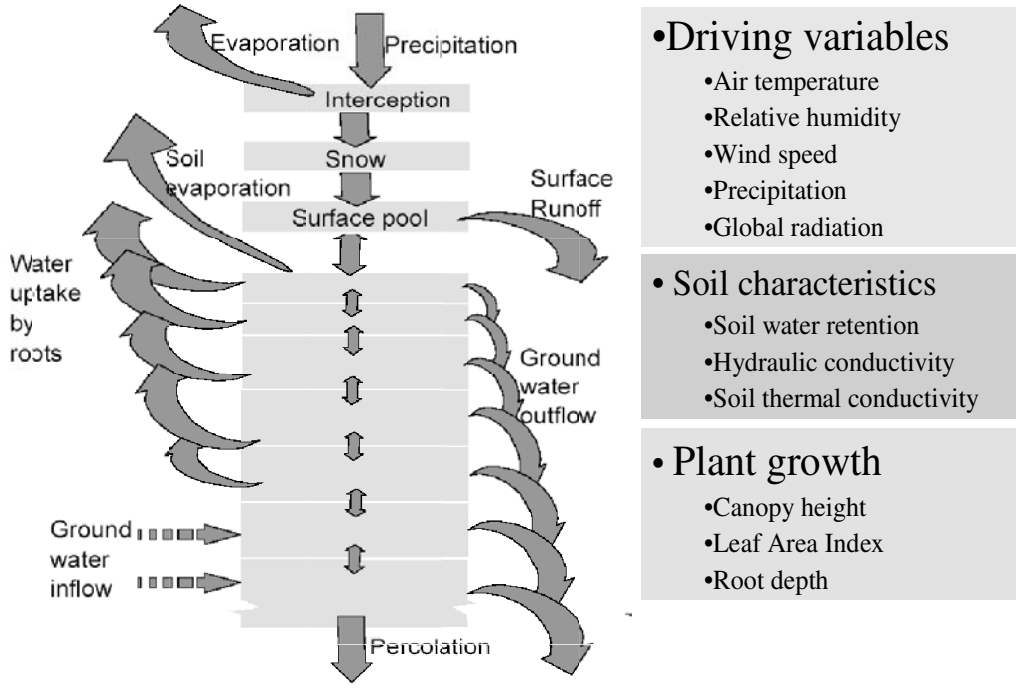
Grunnvannsstanden er målt ved markvannsstasjonen siden den ble opprettet i 1990. Målingene ble automatisert ved hjelp av en trykksensor og tilkoblet en logger i 1999. Ved markvannsstasjonene benyttes Wika-sensorer. Sensorene har et måleområde på mellom 5 og 10 meter vannhøyde og en nøyaktighet på rundt 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, matrikssug 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 Kvithamar er utført for tidsperioden 1/1-2000 til 31/12-2005 og kalibrert mot måledata fra markvannsstasjonen. For å unngå problemer i forbindelse med initialverdier er det valgt å la modellen starte simuleringene noe tidlige (15/4-1999). 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 prosesser og parameterverdier som er benyttet i modellen for Kvithamar er gitt i Vedlegg 3. Det er laget et jordprofil inndelt i fire sjikt ut fra tilgjengelige målinger av kornfordeling og jordas vannretensjon. For beregninger i modellen er profilet delt inn i 15 lag. Lagdelingen er valgt slik at måledybdene ved markvannstasjonene i størst mulig grad skal ligge i midten av modellag. Det er valgt tynnere lag nær overflaten og tykkere i dypere lag. Laginndelingen er vist i vedlegg 2. Her er også sjiktinndelingen og retensjonskurver og kornfordelingen benyttet vist.

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.

Nedbør	Termisk kvalitet
↓↓↓↓↓	Tetthet
Snøpakke	Strålingsabsorbsjon Overflatetemperatur Setning Smelting/refrysing Varmeledningsevne i snøen Retensjon av vann
↑↓↑↓↑	Varmestrøm
Jordprofil	Strålingsabsorbsjon Temperatur Faseoverganger Varmeledningsevne i jorda Frysepunktnedsetting Vannledningsevne

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 (”f(ice and liquid content)”).

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 overskuddsvannet transporteres til jordoverflata. Overstiger smeltevannstilførselen jordas infiltrasjonsevne, dannes en vanndam på overflaten som videre gir opphav til overflateavrenning.

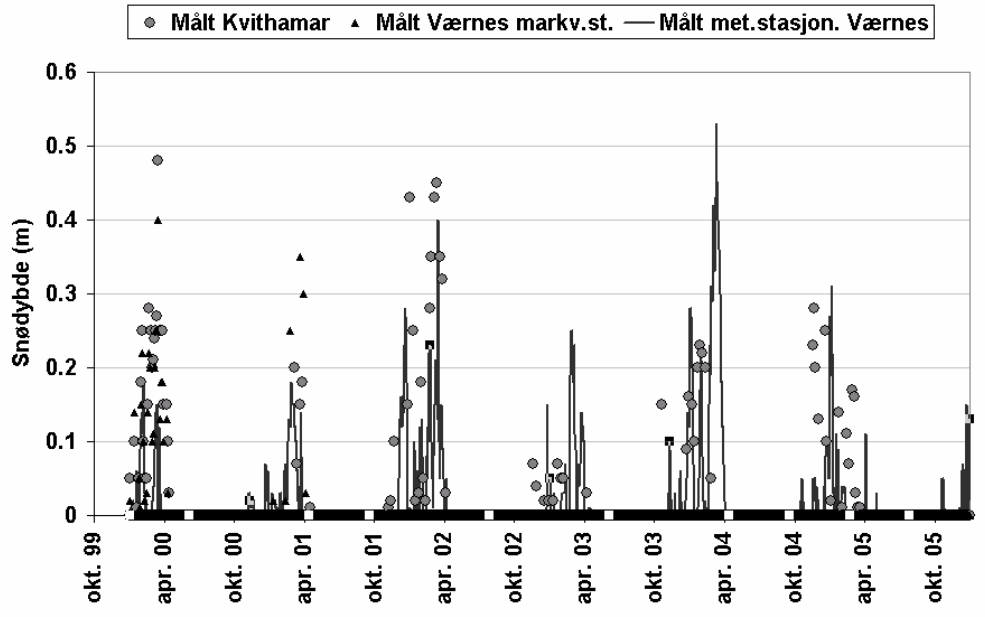
Ved parametriseringen av modellen er simuleringene av snødybde sammenlignet med målinger fra både Kvithamar markvannsstasjon og den meteorologiske stasjonen ved Værnes lufthavn. For Kvithamar markvannsstasjon er det ca ukentlige registreringer mens det for Værnes lufthavn er daglige registreringer.

Figur 6-2 viser snømålinger fra Kvithamar markvannstasjon, den meteorologiske stasjonen ved Værnes Lufthavn, samt målinger av snø ved markvannstasjonen på Værnes for de to første vintrene i parametriseringsperioden. Det er store forskjeller i registrert snødybde mellom de nærliggende lokalitetene. Stasjonenes beliggenhet er vist i Figur 2-1. Målingene viser generelt større snødybde på markvannsstasjonene Kvithamar og Værnes enn på den meteorologiske stasjonen ved Værnes lufthavn. Figur 6-3 viser målt snødybde fra markvannsstasjonen plottet mot samtidige registreringer av snødybden ved den meteorologiske stasjonen.

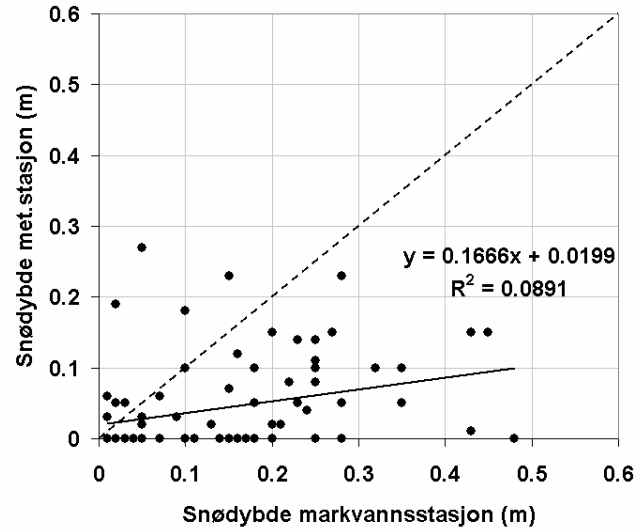
Av 58 snømålinger ved Kvithamar markvannsstasjon viser samtidige registreringer fra den meteorologiske stasjonen ved Værnes lufthavn mindre snødybde ved 41 av måletidspunktene. Ved 19 tidspunkt med registrert snø på markvannstasjonen er det snøfritt ved den meteorologiske stasjonen. Forskjellen mellom de to lokalitetene kan skyldes forskjeller i måletidspunkt på dagen, forskjeller i nedbørsmengde eller termiske kvalitet (regn, sludd eller snø) av nedbøren som følge av avstanden mellom stasjonene

og forflytting av snø på grunn av vind. Den meteorologiske stasjonen ligger nærmere fjorden og er trolig også mer vindutsatt.

Snømålingene påvirkes også av lokale forskjeller i snødybde inne på målestasjonene. Figur 6-4 viser et fotografi fra Kvithamar markvannstasjon, mars 2007. Bildet illustrerer tydelig problematikken rundt måling av snø. Snødekket er ujevnt med snøsmelting rundt rør og gjerdestolper. Registrert snødybde vil avhenge av hvor målingen utføres. Bildet viser også at det er økt smelting av snø rundt telemåleren.



Figur 6-2: Snødybde målt ved Kvithamar markvannstasjon, ved den meteorologiske stasjonen på Værnes samt målinger fra Værnes markvannstasjon i perioden benyttet til parametrisering av modellen.



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

Figur 6-4: Kvithamar markvannstasjon, 5. mars 2007. Foto: Anne Kjersti Bakken, Bioforsk Midt-Norge.

Det er dårlig sammenheng mellom døgnverdier for lufttemperatur og nedbør og endringen i snødybde målt ved den meteorologiske stasjonen ved Værnes Lufthavn (se beskrivelse i Øverlie et al., 2006). Det er målt økning i snødybde for perioder med registrert temperatur som normalt ville tilsi nedbøren i form av regn og minkende snødybde med registrert temperatur som ville tilsi nedbør i form av snø. Dette kan til en viss grad forklares ved at det brukes døgnmiddelverdier for klimavariablene. Temperaturen varierer gjennom døgnet og temperaturen ved nedbørstidspunktet kan være forskjellig fra 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.

Snøen har stor betydning for temperatur og teleforholdene i jorda om vinteren. Ved parametriseringen av modellen for snø er også effekten på simuleringsresultatet for teledybden vektlagt. Det er spesielt lagt vekt på tidspunktet 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 modellens standardverdier for disse parametrene er vist i Tabell 6-1 nedenfor. Øvrige endrede parameterverdier og løsninger er gitt i Vedlegg 3.

Tabell 6-1: Endrede parameterverdier i modelltilpassingen for snø

Parameter	Verdi	Standard	Enhet
DensityOfNewSnow	110	100	Kg/m^3
MeltCoefAirTemp	1	2	Kg/Cm^2day
OnlyRainPrecTemp	2,5	2	C
SThermalCondCoef	3.00E-06	2.86E-06	$Wm^5/°C \cdot Kg^2$

Ved temperatursvingninger rundt null kan bruk av døgnmiddeltemperatur føre til at modellen simulerer nedbør av feil termisk kvalitet (regn, snø eller sludd). For å minske effekten av slike episoder på simulert snødybde, er grensetemperaturen mellom regn og sludd hevet fra standardverdien 2°C til 2.5°C slik at temperaturintervallet for sludd økes og nedbøren inneholder både frosset og flytende vann opp til 2.5°C.

Tettheten til nysnø uten innhold av flytende vann (”DensityOfNewSnow”) 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 (”SThermalCondCoef”) hevet. Koeffisient for smeltingsandelen forårsaket av lufttemperatur (”MeltCoefAirTemp”) er senket på grunn av for rask minking av snødybden og for tidlig snøfritt om våren flere år som førte til for tidlig tining av telen og deretter forskyvning i tidspunktet for grunnvannsfornyelse.

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. Tilsvarende resultat er vist for Værnesmodellen i Øverlie et. al, 2006.

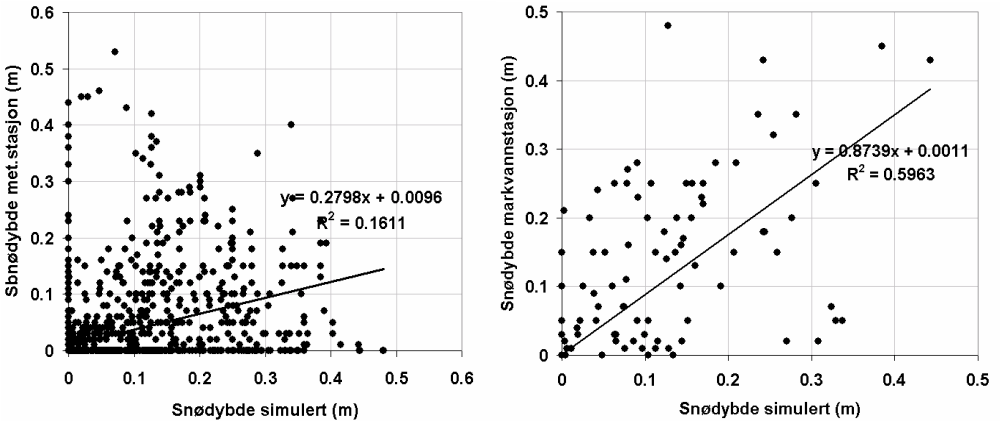
Tabell 6-2: Resultat av tilpassing av snø mot målinger av snødybde fra Kvithamar. Øverst resultatet mot målt snø ved markvannsstasjonen, deretter mot samtidige målinger på den meteorologiske stasjonen og nederst mot målinger ved markvannstasjonen plassert på Værnes (Figur 2-1).

Snødybde	Observasjoner (N)	R^2	Intersept	Helningskoef.	RM (1)	RMSE (2)
Kvithamar markv. st.	82	0.60	0.00	0.87	-0.02	0.11
Værnes met..stasjon	840	0.16	0.01	0.28	0.02	0.08
Værnes markv.st.	30	0.48	0.06	1.02	-0.06	0.10

(1): RM = 1/N∑(sim-målt)

(2): RMSE= √(∑(sim-målt)^2)/N)

Figur 6-5 viser simuleringer av snødybde plottet mot samtidige målinger på henholdsvis markvannsstasjonen og på den meteorologiske stasjonen ved flyplassen. Generelt simulerer modellen en noe større snødybde enn målt ved flyplassen. Simuleringene samsvarer bedre med målingene fra markvannstasjonen.



Figur 6-5: Simulert snødybde plottet mot samtidige snømålinger på den meteorologiske stasjonen på Værnes (venstre) og på markvannsstasjonen på Kvithamar (høyre)

Avviket i endring over tid mellom simulert snødybde og målingene fra den meteorologiske stasjonen er størst når nedbøren kommer ved døgnmiddeltemperaturer nær 0 ^{o}C. 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 Øverlie et al. (2006).

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
- Problemer med smelting av snø rundt måleutstyr og gjerder ved stasjonen
- Avstanden mellom Kvithamar markvannstasjon og den meteorologiske stasjonen på Værnes.
- 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

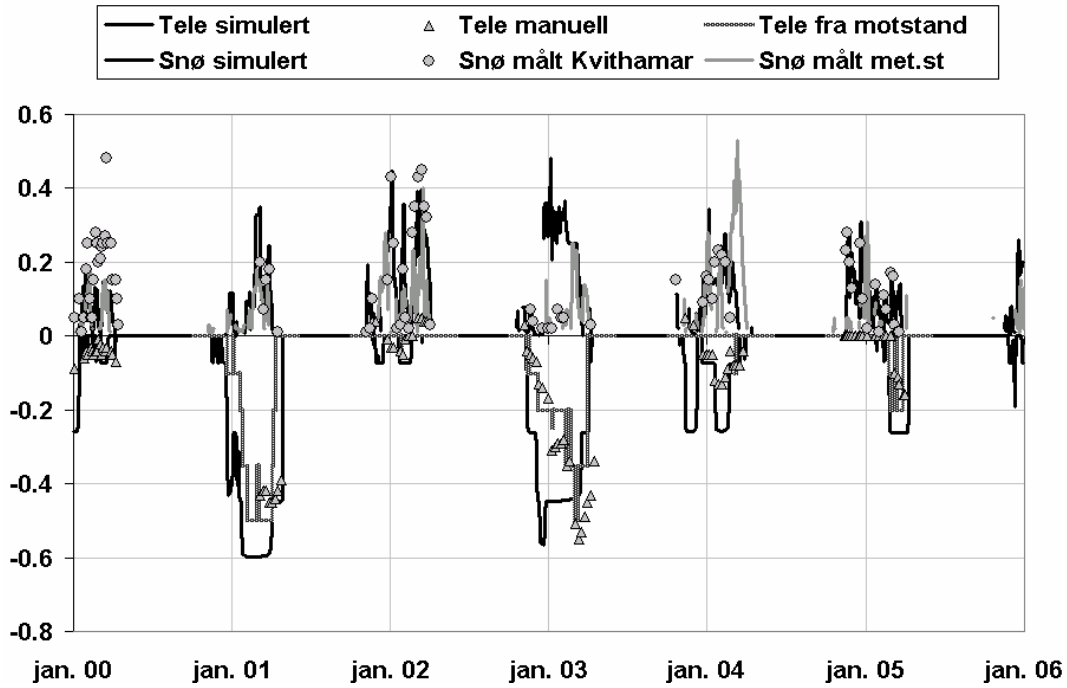
Hvorvidt vannet fra snøsmelting og regn i vintersesongen infiltreres i jorda eller renner av som overflateavrenning styres av teleforholdene i jorda. Når vann fryser til is i jorda, endres jordas vannledningsevne. Vannledningsevnen i frossen og delvis frossen jord, vil være avhengig av andelen av porevolumet okkupert av flytende vann og is i tillegg til jordas vannledningsevne i frostfri tilstand. Også vannets strømningsveier i jorda påvirkes av telen. Ved modellsimuleringene 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) i dypere jordlag og latent varme frigjort ved frysing. Varmefluksen mot jordoverflaten avhenger av varmeledningsevnen i det frosne laget og jordas overflatetemperatur. Varmeledningsevnen i nysnø er ca 10 ganger lavere enn i frossen jord og et tynt lag nysnø vil derfor påvirke jordas overflatetemperatur og derigjennom teledybden. Resultatet av telesimuleringene påvirkes derfor av tilpassingen av modellen for snø.

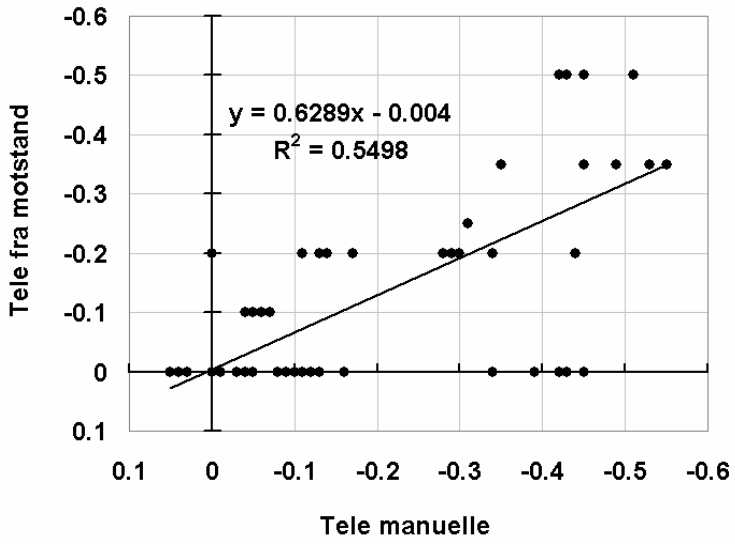
Ved bruk av Gandahls telemåler, måles teledybden direkte. Teledybden er også estimert ut fra målinger med motstandsensorer som omtalt i kapittel 5. Frysing av vann i jorda virker som en uttørking og dette gir en klar økning i den målte motstanden. Teledybden kan derfor estimeres ut fra daglige målinger 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. Sammenhengen mellom de manuelle telemålingene og teledybde estimert fra motstandsmålinger er vist i Figur 6-7.

En oversikt over målt og simulert teledybde i parametriseringsperioden er vist i Figur 6-6 sammen med snødybden. Både telens maksimale dybde og varighet varier mye mellom årene.

Tabell 6-3 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.



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



Figur 6-7: Sammenheng mellom tele målt manuelt og estimert fra målinger av elektrisk motstand i jorda.

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

	Frostsum	Snødekke (simulert)		Nedbør
	°C	Døgn	Middel (m)	mm
2000/2001	-382,8	66	0.15	133,7
2001/2002	-213,1	120	0.20	425,1
2002/2003	-335,1	102	0.25	310,7
2003/2004	-162,4	92	0.15	314,8
2004/2005	-184,7	120	0.12	404,9

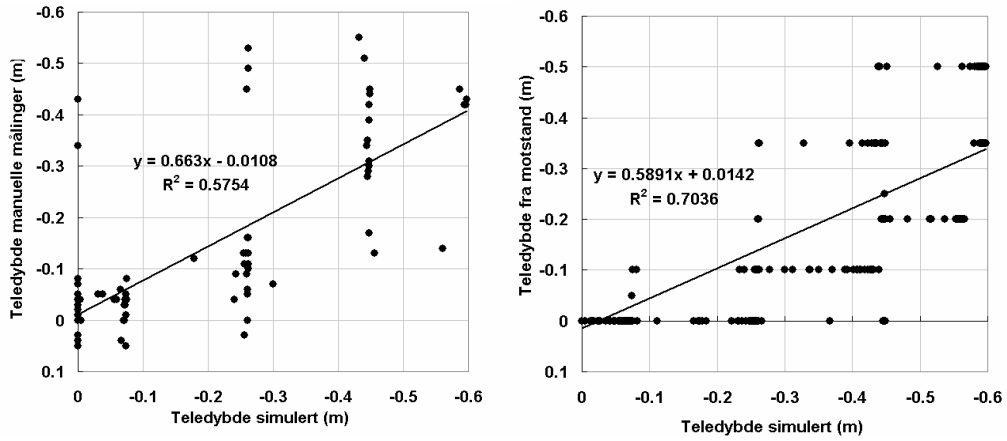
Statistiske resultater av telesimuleringene er vist i Tabell 6-4 og Figur 6-8. Mye av avviket mellom simuleringer og tele estimert fra motstand skyldes begrensningen i bruk av motstandsmålinger som følge av avstanden mellom sensorene i profilet. Modellen simulerer noe mer tele enn observasjonene viser, 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	98	0,58	-0,01	0,66	-0,04	0,13
Fra motstand	1216	0,70	0,01	0,59	-0,07	0,13

(1): RM = 1/N∑(sim-målt)

(2): RMSE= √(∑(sim-målt)^2)/N)



Figur 6-8: Telesimuleringer plottet mot samtidige målinger av tele med motstandssensorer

6.2 Jordtemperatur

Det er utført målinger av jordtemperatur på markvannsstasjonen siden 2000 med sensorer på dypene 15 cm, 30 cm, 45 cm, 75 cm, 90 cm og 120 cm. Dataene benyttet i parametriseringen av modellen er døgnmiddelverdier. Målingene for dypene 15 cm, 45 cm og 90 cm er vist sammen med simulert jordtemperatur i det tilsvarende laget i Figur 6-9.

Det er en tendens til noe lavere simulerte temperaturer enn målt. 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 parametriseringsperioden i ^{o}C og frostsum for perioden.

Dybde (cm)		Median		Kaldest		Varmest		Sum t < 0 ^{o}C	
Simulert	Målt	Simulert	Målt	Simulert	Målt	Simulert	Målt	Simulert	Målt
7- 22	15	5,5	6,1	-3,9	-2,5	18,2	18,0	-92,7	-115,9
22- 38	30	5,5	6,2	-1,7	-1,0	17,0	16,9	-27,8	-52,8
38- 52	45	5,3	6,1	0,0	-0,6	16,0	16,1	-0,1	-21,7
52- 67	60	5,3	6,2	0,3	-1,3	15,3	15,3	0,0	-0,6
82- 97	90	5,3	6,3	0,8	0,3	14,0	14,2	0,0	0,0
112-127	120	5,4	6,6	1,3	0,2	12,9	13,7	0,0	0,1

Laveste simulerte temperatur i toppen at profilet, ved 15 cm, er 1,4^{o}C lavere enn målt ved markvannsstasjonen. Dypere i profilet er den laveste simulerte temperaturen høyere enn den målte. Ved 45 cm dybde viser målingene kuldegrader 131 døgn ved markvannsstasjonen i løpet av parametriseringsperioden. Det er målt temperaturer lavere enn 0 ^{o}C på 75 cm dyp 11 døgn av perioden 01.01.2000 – 31.12.2005. Det er ikke simulert temperaturer kaldere enn 0 ^{o}C for lag dypere enn 38 cm. Til tross for en lavere simulert minimumstemperatur enn målt i de øvre lagene er simulert frostsum høyere enn observert (Tabell 6-5). 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 1 ^{o}C. Usikkerheten i temperaturmålingene er som omtalt i kapittel 5 minst +/- 0,2 ^{o}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	1879	0.97	0.63	1.06	-0.99	1.50
15 cm	1879	0.97	0.60	1.07	-1.00	1.43
30 cm	1879	0.97	0.42	1.08	-0.89	1.28
45 cm	1879	0.98	0.50	1.08	-0.98	1.29
75 cm	1623	0.97	0.27	1.14	-1.04	1.44
90 cm	1910	0.98	0.16	1.11	-0.80	1.09
120 cm	1912	0.98	0.39	1.13	-1.14	1.32

(1): RM = 1/N∑(sim-målt)

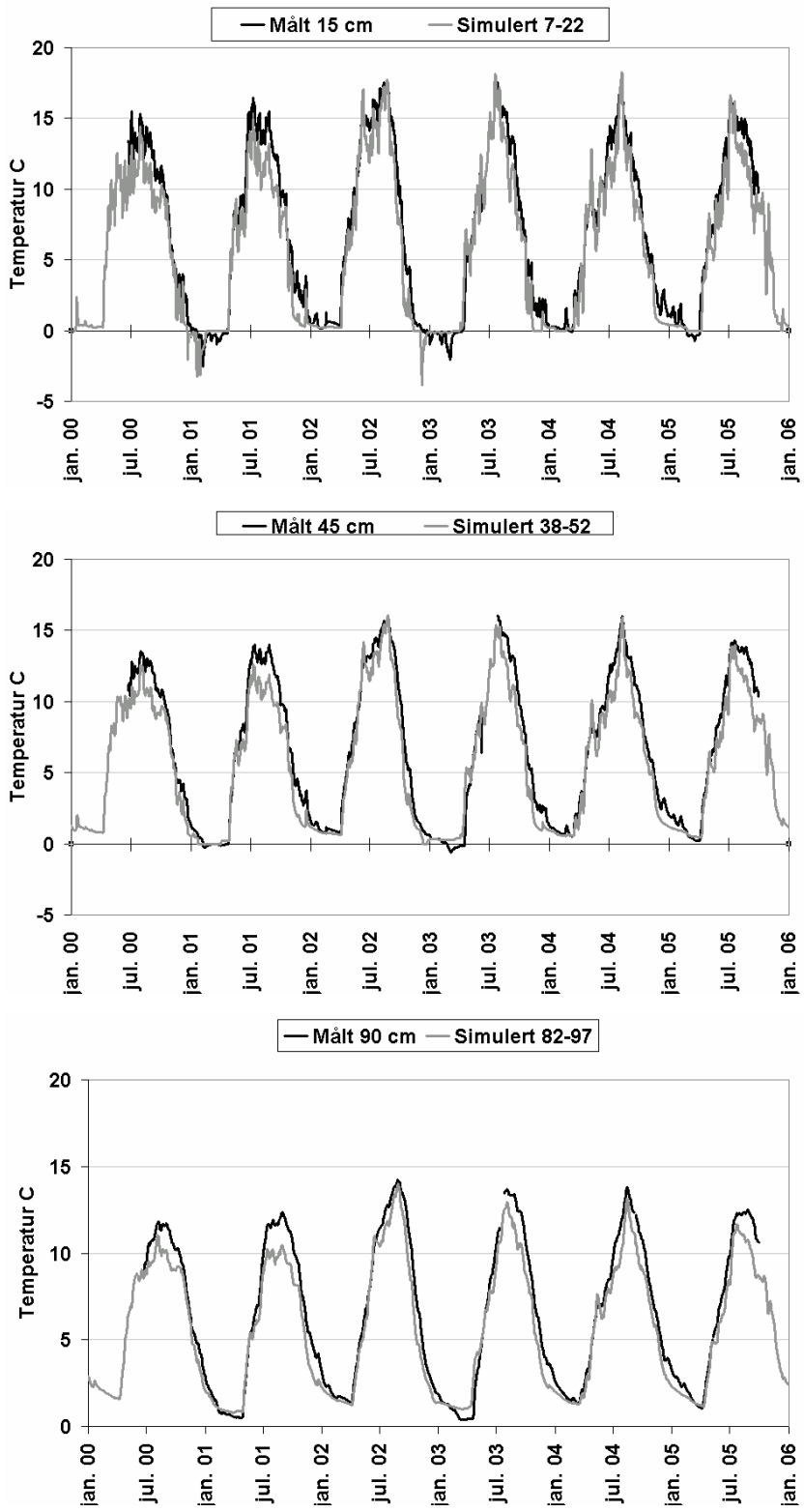
(2): RMSE= √(∑(sim-målt)^2)/N)

For å få en litt bedre oversikt over hva som skjuler seg bak middelavviket så er resultatene for 15, 45 og 90 cm beskrevet nærmere. Simuleringer og målinger er vist i Figur 6-9 og Figur 6-10. For dypet 15 cm er det vanligvis tele i løpet av vinteren 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.

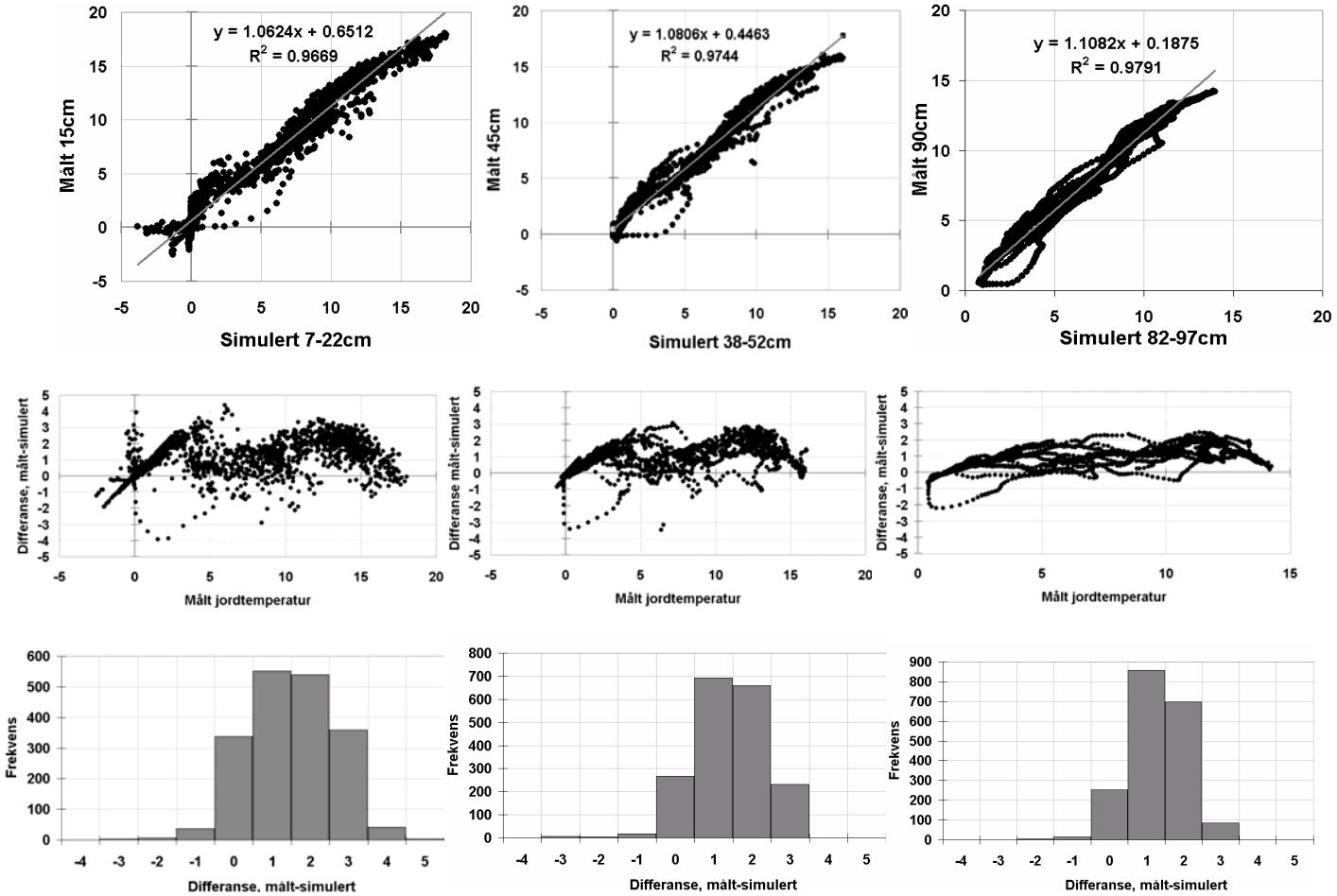
Øverste rad i Figur 6-10 viser simulert jordtemperatur plottet mot målt jordtemperatur med regresjonslinjen inntegnet. Midtre rad i figuren viser forskjellen mellom målt og simulert jordtemperatur plottet mot målt jordtemperatur på x-aksen. Nedre rad av figuren viser et frekvensdiagram for avviket målt minus simulert.

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 rekke punkter som ligger rundt origo på x-aksen viser at målt temperatur er rundt 0 °C mens simulert jordtemperatur er større eller mindre enn 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. Det er ingen klar tendens til at differensen mellom målt og simulert jordtemperatur varierer med målt jordtemperatur.

Histogrammene i nederste rad i figuren viser at hoveddelen av avvikene mellom målt og simulert ligger innenfor rundt ± 2 °C, men med enkelte forskjeller opp mot 5 °C. De store forskjellene er, som figuren i den midtre raden viser, ofte tilknyttet temperaturer nær 0 °C.



Figur 6-9: Simulert og målt temperatur i parametriseringsperioden for dypene 15 cm, 45 cm, 75 cm og 150 cm

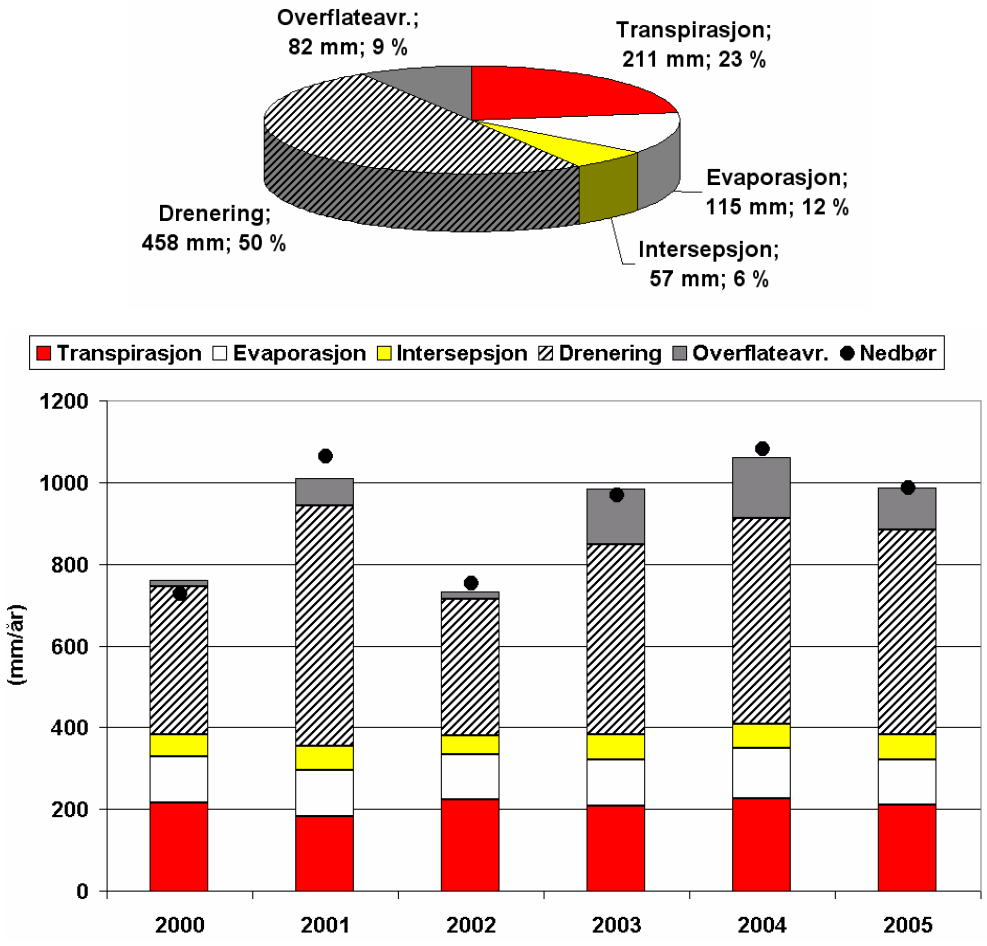


Figur 6-10: Sammenheng mellom målt og simulert jordtemperatur for 15 cm, 45 cm og 90 cm dybde. Øverste rad viser simulert jordtemperatur plottet mot målt jordtemperatur med regresjonslinjen inntegnet. Midtre rad viser forskjellen mellom målt og simulert jordtemperatur plottet mot målt jordtemperatur på x-aksen. Nedre viser et frekvensdiagram for avviket målt minus simulert.

6.3 Vannbalanse

Dette kapittelet tar for seg simulering av de ulike vannbalansekomponentene. Det er satt som nedre grensebetingelse i modellen at vann ikke strømmer inn eller ut i bunnen av profilet. 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 via konstruerte drensgrøfter i modellen. Vanntilførsel som overskrider jordas infiltrasjonskapasitet vil føre til overflateavrenning.

Figur 6-11 viser simulerte vannbalansekomponenter i mm/år for hvert år (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 4. Årlig nedbør i perioden er fra 728 til 1081 mm. Dette er verdier justert med standardverdier i modellen for overgang fra punktmålinger til arealnedbør, dvs. korrigert for vind. Gjennomsnittelig justert årsnedbør er 930 mm/år, hvorav 540 mm renner vekk i drenssystemet eller som overflateavrenning. Den gjennomsnittlige årlige totale evapotranspirasjonen er simulert til 382 mm hvorav 172 mm er fordamping av vann fra jordoverflata (evaporasjon) inkludert tap av intersepsjonsvann (57 mm). Avviket mellom nedbør og forbruk av vann utgjør endringen i vannlager i profilet. Vannbalansen for de ulike simuleringslagene med vannopptak og vertikal vannstrømning i profilet er vist i tabellform for hvert år samt normaler og ekstremer i Vedlegg 4.



Figur 6-11: Vannbalanse simulert for parametriseringsperioden 2000-2005.

6.3.1 Vannopptak og matrikssug

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

Istedenfor å knytte plantevekstutviklingen til samme dagsnummer hvert år, er det her valgt å relatere plantevekstutviklingen til lufttemperaturen. Denne tilnærmingen brukes blant annet både for korn og gras, men her er datagrunnlaget betydelig bedre enn det en har for plen. En har her tatt utgangspunkt i et grovt estimat av planteutvikling og varmesummer før ulike utviklingstrinn oppnås fra Ås-området (Akershus). Beregningene er utført for perioden 1961-1990 for klimadata fra den meteorologiske stasjonen på Ås, varmesummer er referert nedenfor. De samme krav til varmesum er brukt for å estimere plengrasutvikling med henhold til plantenes vannopptak for Kvithamar markvannstasjom ut fra klimadata for den meteorologiske stasjonen på Værnes.

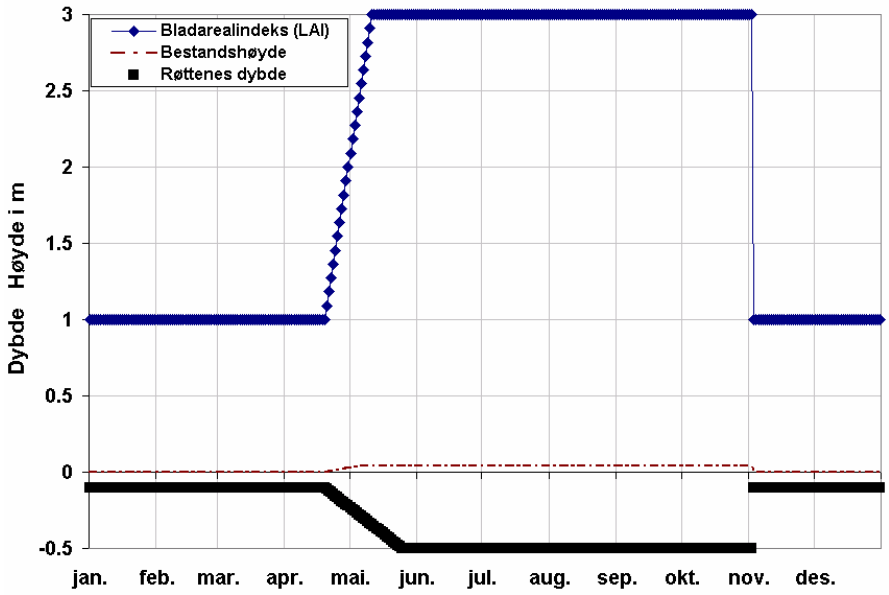
1. Vekststart om våren estimeres til når 7-døgnsmiddel av lufttemperatur passerer 5°C;
2. Utviklingstrinn som funksjon av varmesum (basistemperatur = 0 °C):
    a. Maksimum bestandshøyde (4 cm) er nådd etter 150 døgngrader;
    b. Maksimum bladsarealindeks (LAI = 3) er nådd etter 200 døgngrader;
   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

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 6-12. 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 211 mm/år. Dette utgjør i snitt 58 % av det totale simulerte fordampingstapet.

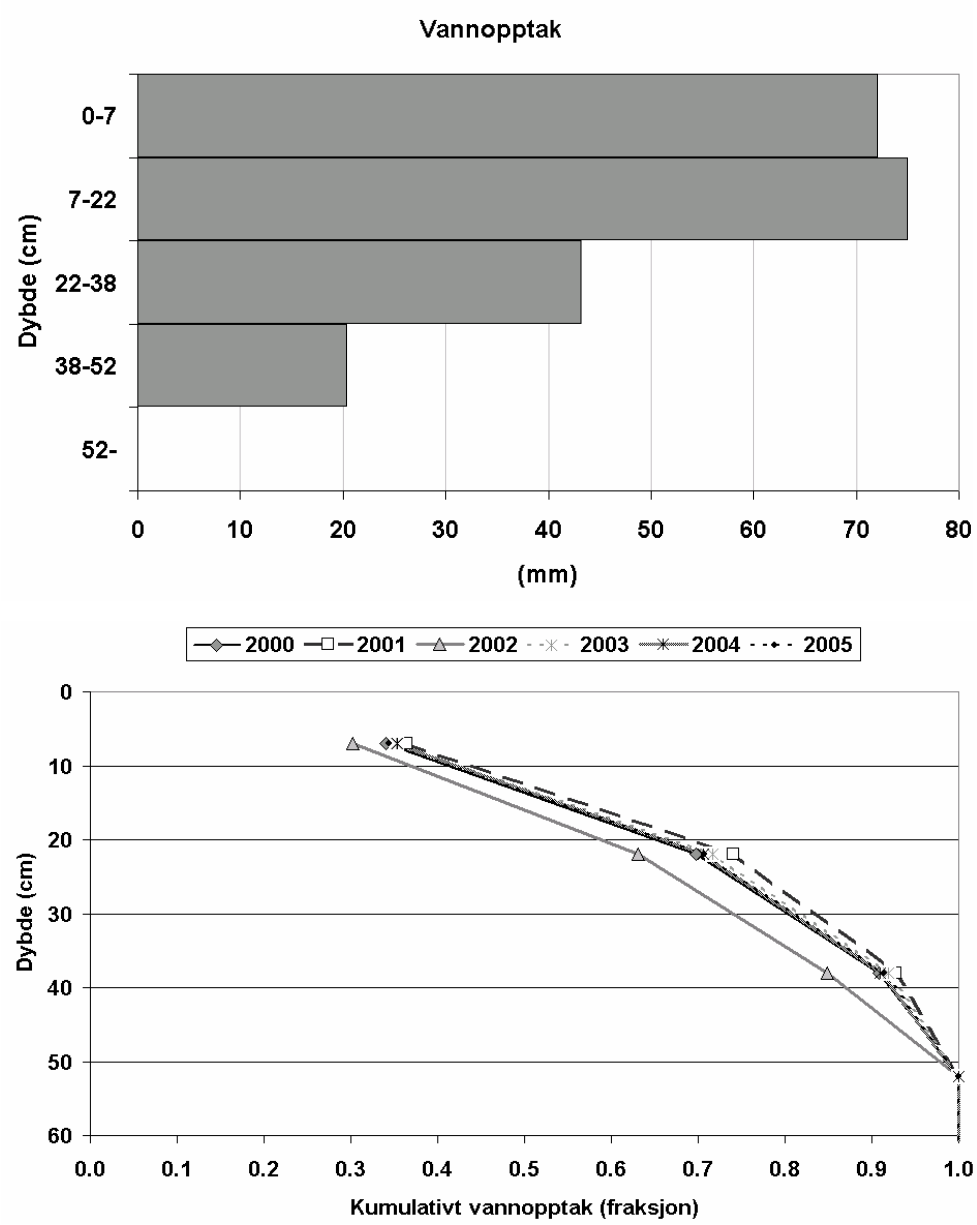
Tabell 6-7: Dagsnummer og dato for ulike utviklingsstadier for plengras estimert for perioden 1961-1990 ut fra lufttemperaturdata fra den meteorologiske stasjonen på Værnes.

Utviklingstrinn	Middel	Standard-Avvik	Tidligst	Seinest
Vekststart LAI=1 Rotdyp=0,1 m Plantehøyde=0,001 m	115 25/4	8	99 9/4	127 7/5
Plantehøyde = 0,04 m 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= 0,50 m nåes	155 3/6	4	150 30/5	161 10/6
Vekstslutt LAI=1 Rotdyp=0,1 m Plantehøyde=0,001 m	296 23/10	12	273 30/9	322 18/11



Figur 6-12: Eksempel på plengrasutvikling med bladarealindeks (LAI), bestandshøyde og rotdybde estimert fra lufttemperaturmålinger fra den meteorologiske stasjonen på Værnes.

Fordeling av simulert planteopptak av vann fra ulike lag i modellen er vist øverst i Figur 6-13. 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 for korn og eng.



Figur 6-13: Vannopptak som gjennomsnittlige årlige verdier for hvert simuleringslag (øverst) og akkumulert over dyp simulert for årene 2000-2005.

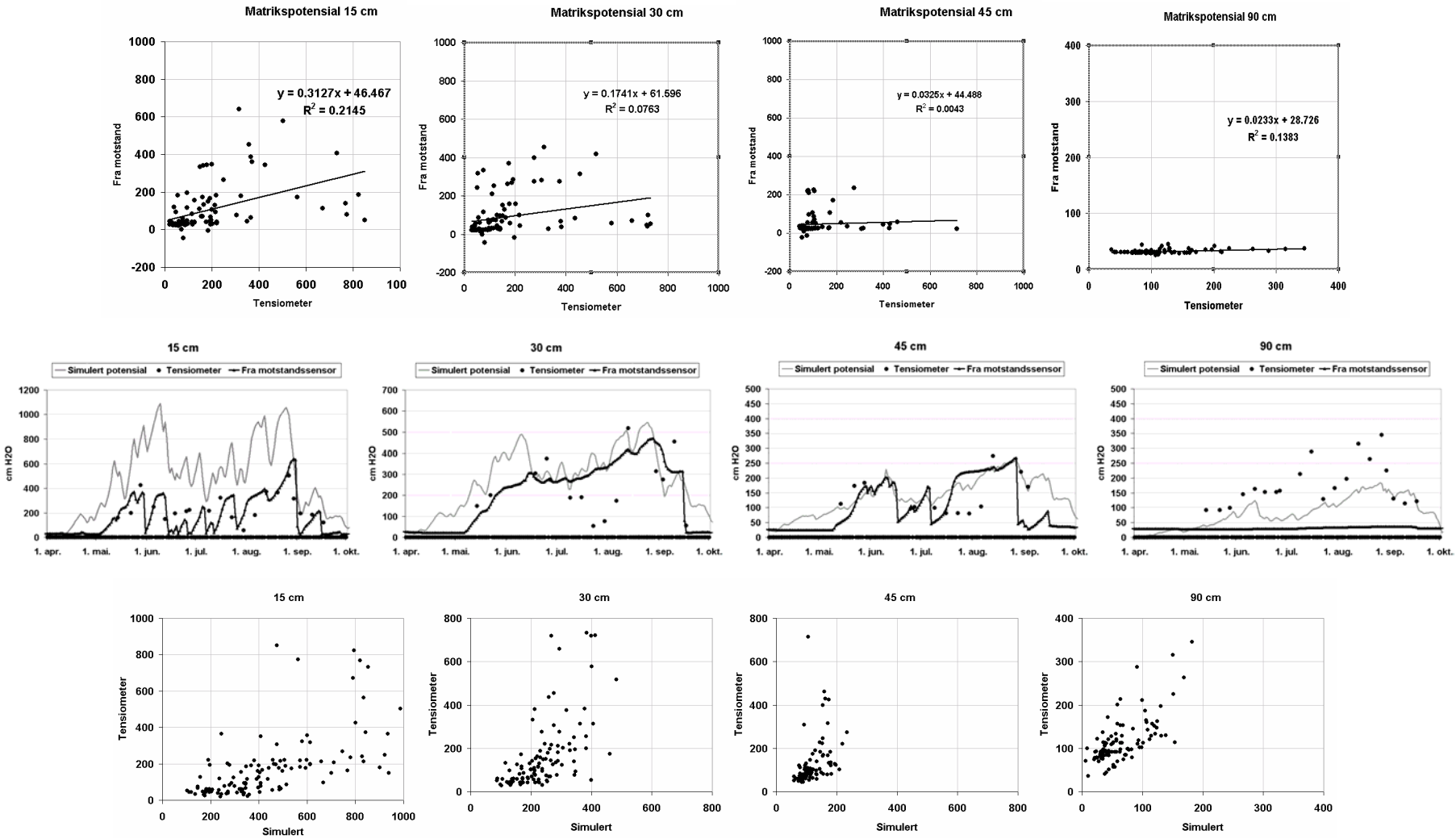
For parametrisering av modellen med hensyn på matrikssug er det benyttet målinger med tensiometere og motstandssensorer som beskrevet i kapittel 5.

Figur 6-14 viser matrikssug for 15, 30, 45 og 90 cm. Øverst i figuren er det vist plott over sammenhengen mellom matrikssug målt med tensiometer og beregnet fra målinger av elektrisk motstand. Regresjonslinjen er tegnet inn, men det er ingen signifikant sammenheng mellom målingene med tensiometer og motstandsblokker for noen av dypene. Det foreligger ikke gode kalibreringskurver for motstandssensorene[2]. I tillegg har både tensiometre og motstandssensorer begrenset gyldighetsområdet og målingene ligger store deler av tiden utenfor dette (kapittel 5). Generelt viser motstandsblokkene mindre utslag ved tørke enn målingene med tensiometer, spesielt på større dybder.

Midtre del av figuren viser simuleringer og målinger fra sommeren 2002 for de samme dypene. Også her kommer avvikene mellom de to måleseriene tydelig frem. I tillegg til forskjeller i nivå, er det også klare forskjeller i forløp. Fra månedsskiftet juli-august viser tensiometerene på 30 og 45 cm en oppfukting (minskende sug) mens motstandsmålingene indikerer en uttørking i samme periode. Nedbørsmålingene viser at dette var en tørr periode. Det kan tenkes at tensiometerene har trekt inn luft. Simuleringene følger motstandsblokkene for denne perioden. For 90 cm reagerer motstandssensorene svært lite på variasjonen i matrikssug og indikerer mye lavere sug enn hva tensiometermålingene viser. Dette er målinger som ligger utenfor motstandssensorenes måleområde. Simuleringene viser et noe større sug ved 15 cm dybde enn målt denne sommeren. For de dypere lagene stemmer nivået stort sett godt overens med målingene.

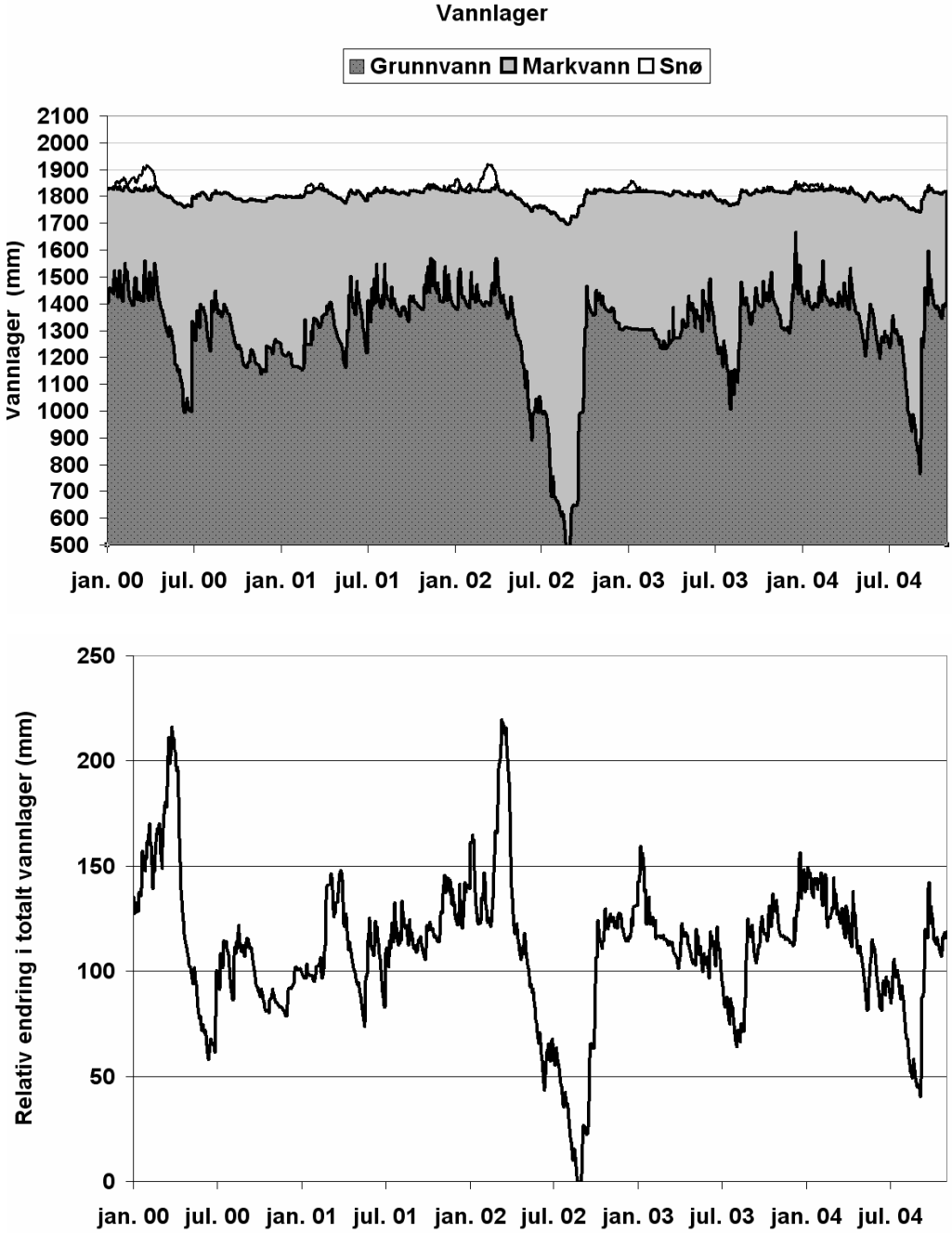
På nederste rad i figuren er simuleringer plottet mot tensiometermålinger. Sammenhengen er bedre enn mellom tensiometermålingene og matrikssug fra motstandsmålingene, men også her er det stor spredning. Modellen har en tendens til å simulere tørrere forhold en tensiometermålingene fra 15 cm dybde viser, mens den for større dybder simulerer for vått.

[2] Kalibreringen ble utført med data kun for perioden 06. 200 til 06. 2002 (ca. 30-40 målepunkter).



Figur 6-14: Øverst: plott som viser sammenhengen mellom matrikssug (cm H_2O målt med tensiometer og motstandsblokker for dypene 15 cm, 30 cm, 45 cm, og 90 cm. I midten er målinger og simuleringer for samme dybder vist for sommeren 2002. Nederst er simulert matrikssug plottet mot målinger med tensiometer.

Figur 6-15 viser vann lagret i den umettede sonen i jorda, markvannet, og vannet lagret i snøpakken samt grunnvann i de øvre 4,25 meter i jorda (se kapittel 6.2.2), fra simulering. Absolutte verdier for mengden grunnvann (mettet sone) i profilet er ukjent da den totale tykkelsen av sedimenter ved markvannsstasjonen ikke er målt. Nederste grafen i figuren viser den relative variasjonen i det totale vannlageret. Sommeren 2002 skiller seg ut ved lav grunnvannstand og stor umettet sone. Mengde markvann stiver da fra om lag 400 mm til nesten 1300 mm vann. Det totale vannlageret synker ca 220 mm denne sommeren og når det laveste nivået simulert for parametriseringsperioden. Det totale vannlageret i jorda når de laveste verdiene ved kalde vintre og tørre somre.



Figur 6-15: Øverst vises simulert lager av snø, markvann og grunnvann i de øvre 4,25 meter av jordprofilet. Nederste grafen illustrerer de relative endringene i det totale vannlageret.

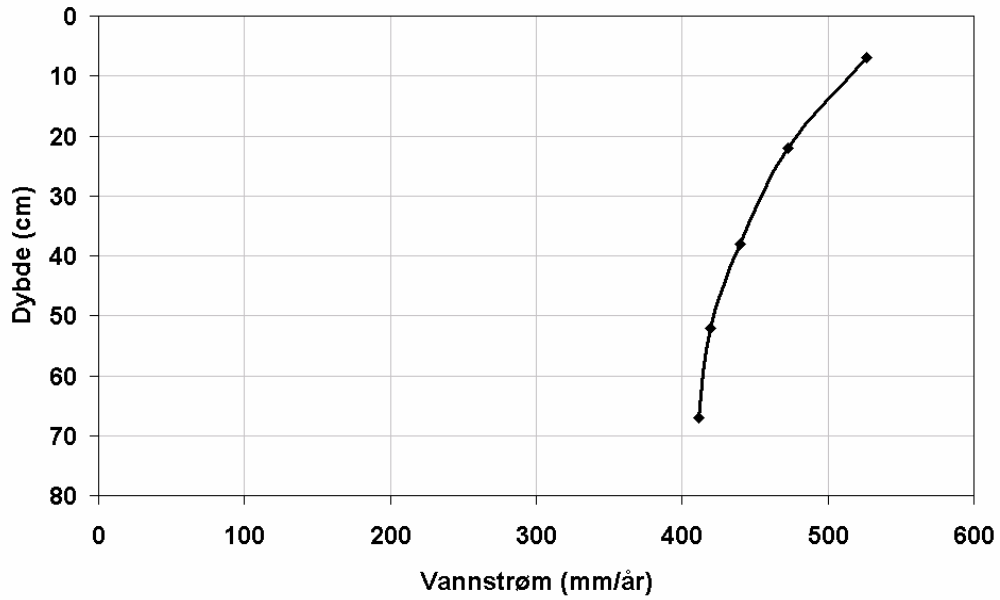
6.3.2 Drenering og grunnvannnsstand

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 6-16 viser gjennomsnittlig vanntransport mellom lagene pr. år som funksjon av dyp. Under plantenes maksimale rotdybde (50 cm) er den vertikale vanntransporten relativt stabil, for deretter å minke ned mot grunnvannsspeilet som fluktuerer mellom 0,7 m og 2,7 m dybde i parametriseringsperioden.

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 1999. Målingene ble automatisert med logger i 1999.

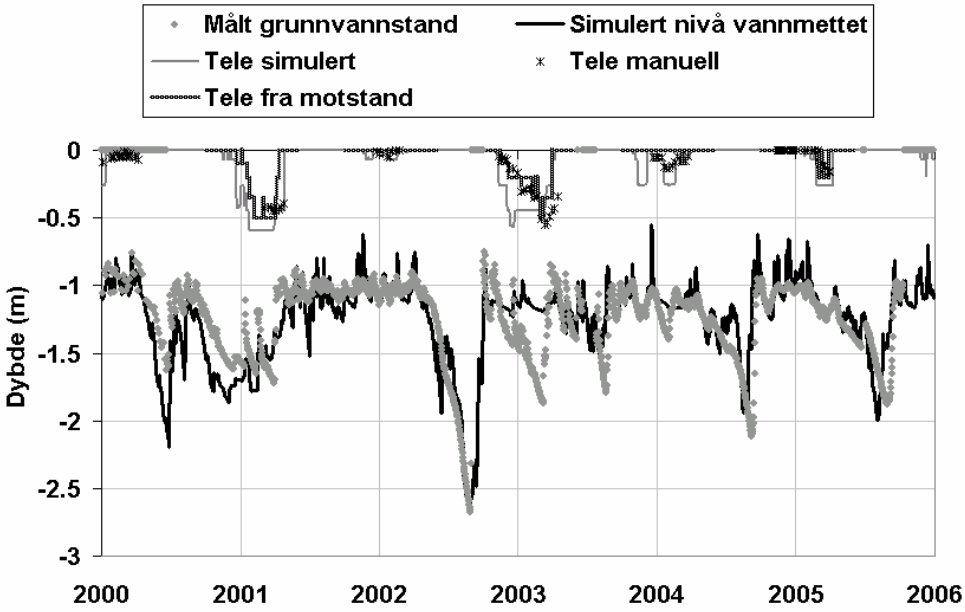
Det er valgt en lineær løsning for drenering der den horisontale strømningen ut er proporsjonal med den mettede vannledningsevnen og hydrauliske gradienten. Gradienten avhenger av det konstruerte drenssystemet i modellen. Dybden til drensrørene og avstanden mellom disse gis ved parametere. Beste tilpassing er funnet ved å sette drensrørene til 1,2 m dybde og med 1 m avstand mellom rørene.



Figur 6-16: Gjennomsnittelig vannstrømning mellom de ulike lagene i modellen gitt i mm vann pr. år for perioden 01.01.2000 til 30.12.2005

Figur 6-17 viser simulert og målt grunnvannsstand for parametriseringsperioden (01.01. 2000 - 31.12.2005) plottet sammen med teledybden. Det meste av grunnvannsfornyelsen skjer om høsten for år med sommertørke (som 2002, 2004 og 2005) og på våren for år med kalde vintre med betydelig tele som begrenser infiltrasjon av vann i jord (2001 og 2003). For vinteren 2003 viser både simuleringer og målinger betydelig teledybde. Simuleringene viser likevel ikke den målte senkingen av grunnvannsstanden denne vinteren men forblir relativt stabil. Dette beror på at målt grunnvannstand er lavere enn nivået for drenering i modellen. Siden profilet er tett i bunnen og alt vann går ut i drensgrøftene og gjennom overflaten (evapotranspirasjon), kan ikke modellen simulere en slik senkning i grunnvannstanden vinterstid. Det er laget et alternativ modell, men en annen nedre grensebetingelse, som er vist i vedlegg 5.

Ved de to mildere vintrene 2001 - 2002 og 2003 – 2004, forblir grunnvannsstanden høy gjennom vinteren for både målinger og simuleringer.



Figur 6-17: 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 6-18 og Figur 6-19 viser forholdet mellom målte og simulerte nivåer for grunnvannsstanden. Generelt simulerer modellen et noe høyere nivå enn målingene viser. I Figur 6-18 er simuleringer og målinger plottet mot hverandre. I figuren er 1:1 linjen vist.

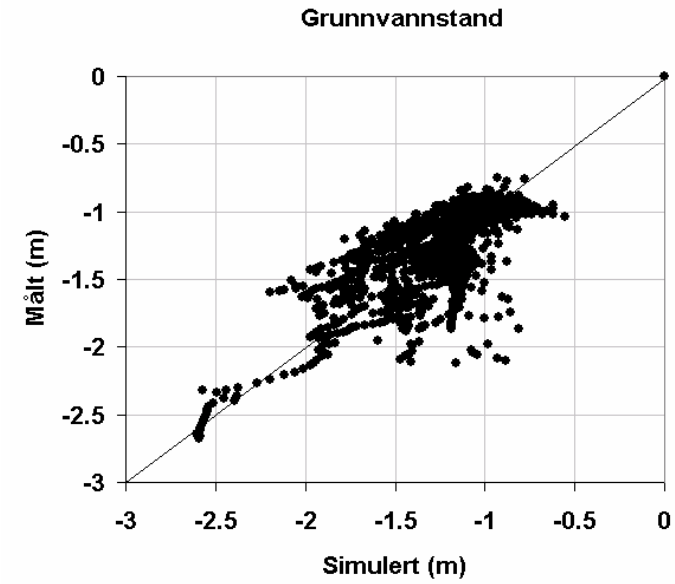
Tabell 6-8: Resultat av tilpassing av grunnvannsstand mot målinger fra markvannsstasjonen.

Observasjoner (N)	R^2	Intersept	Helningskoef.	RM (1)	RMSE (2)
1905	0,55	-0,33	0,74	0,00	0,21

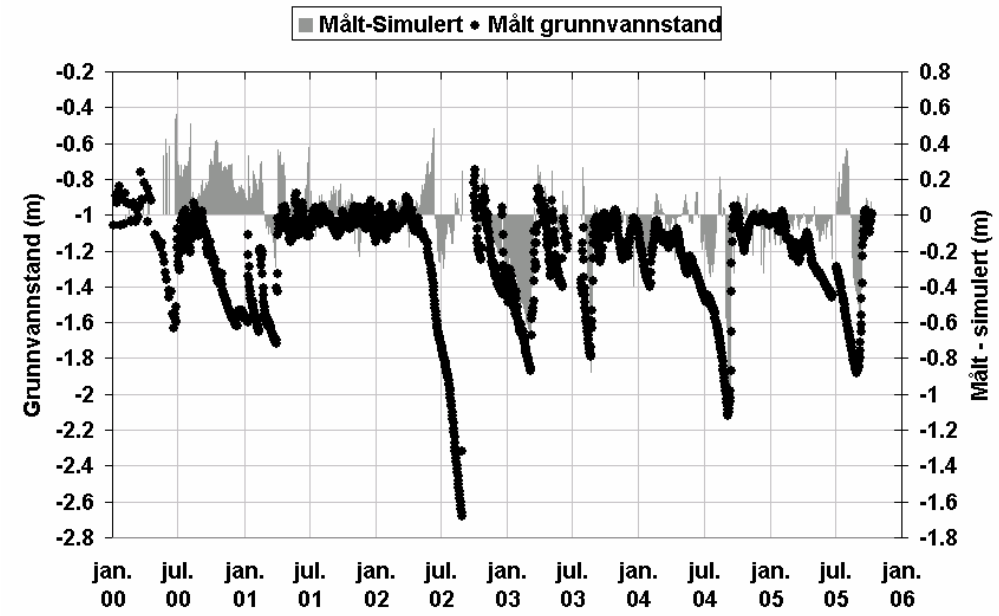
(1): RM = 1/N∑(sim-målt)

(2): RMSE= √(∑(sim-målt)^2)/N)

Figur 6-19 viser at de største differansene mellom målt og simulert grunnvannsstand forekommer ved kalde vintre i perioden. Dette må ses i sammenheng med tilpassingen av snø og teleforholdene i jorda. 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.



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



Figur 6-19: 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.

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** 1/1-1990 til 31/12-1999		
	Middel	**Min**	**Max**	**Middel**	**Min**	**Max**
Lufttemperatur	6,3	5,2	6,8	5,7	4,8	6,5
Nedbør, målt	858	669	1006	838	555	938
Nedbør, justert	930	728	1089	911	603	1018
Fordamping	382	354	408	351	318	389
Jordfordamping	115	110	126	115	94	137
Transpirasjon	211	181	225	183	168	206
Intersepsjon	57	48	63	55	45	72
Drenering	458	332	588	436	183	656
Totalavrenning	540	352	655	561	300	749

7.1 Snødybde

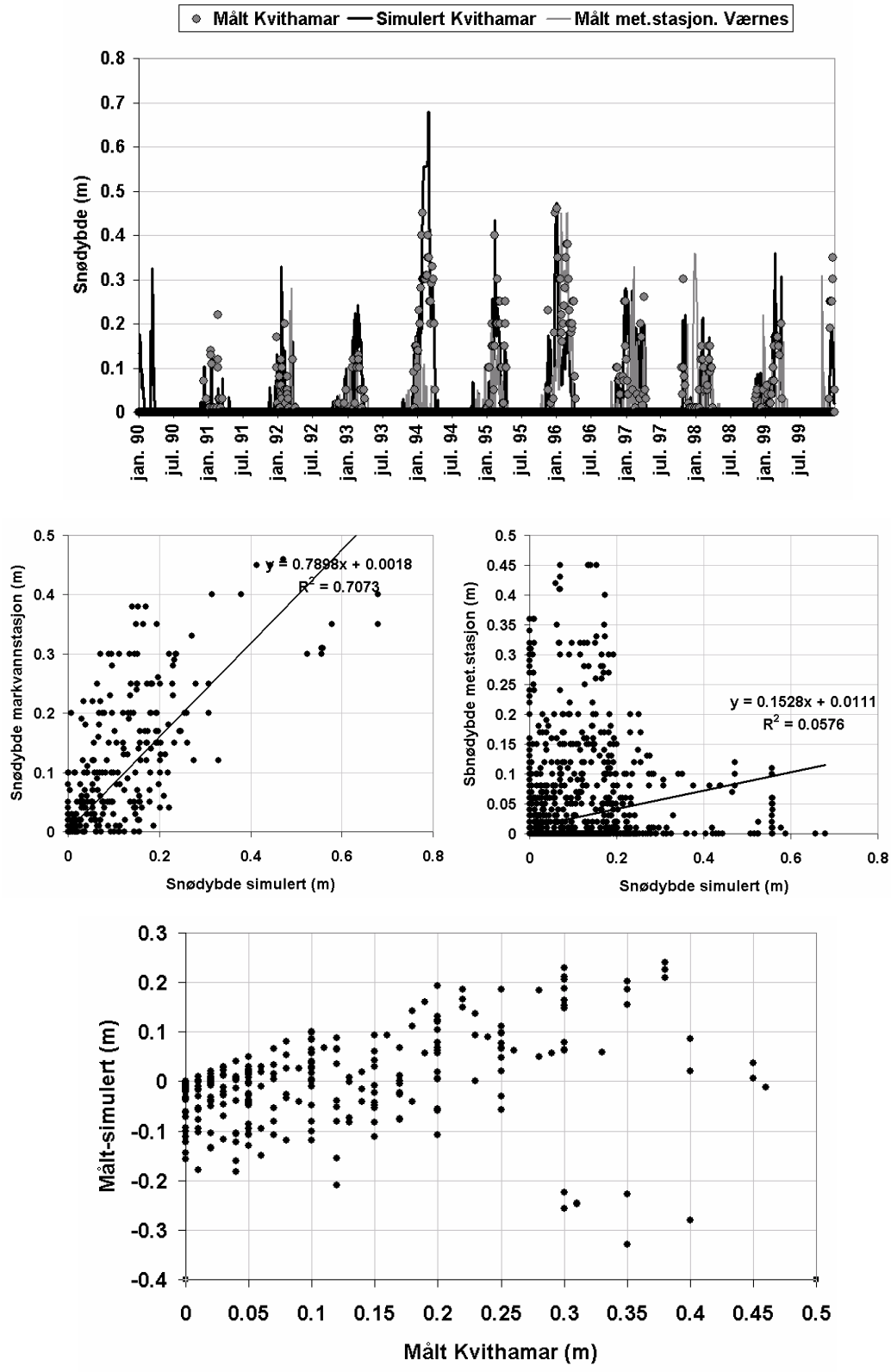
Øverst i Figur 7-1 er det vist et tidsplott av snødybde simulert og målt på markvannsstasjonen og ved den meteorlogiske stasjonen ved Værnes lufthavn. I midten av figuren er simulert snødybde plottet mot snødybde målt ved de to lokalitetene og nederst er et plott over differensen mellom målt og simulert snødybde i forhold til snødybde målt på markvannstasjonen. 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 ved markvannstasjonen er litt bedre i verifiseringsperioden enn i parametriseringsperioden (Tabell 7-2). Det er en tendens til at simuleringene overestimerer snødybden ved liten snødybde og underestimeres ved stor. Siden avviket i målt snødybde ved de to lokalitetene 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.

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	82	0.60	0.00	0.87	-0.02	0.11
Verifisering	361	0,71	0,00	0,79	0,00	0,08
Met. stasjon						
Parametrisering	840	0.16	0.01	0.28	0.02	0.08
Verifisering	2921	0,05	0,01	0,15	0,02	2921

(1): RM = 1/N∑(sim-målt)

(2): RMSE= √(∑(sim-målt)^2)/N)



Figur 7-1: Verifisering av snødybde for perioden 1990-1999 med tidsplott (øverst), simuleringer plottet mot målinger fra markvannsstasjonen og den meteorologiske stasjonen (nederst).

7.2 Teledybde

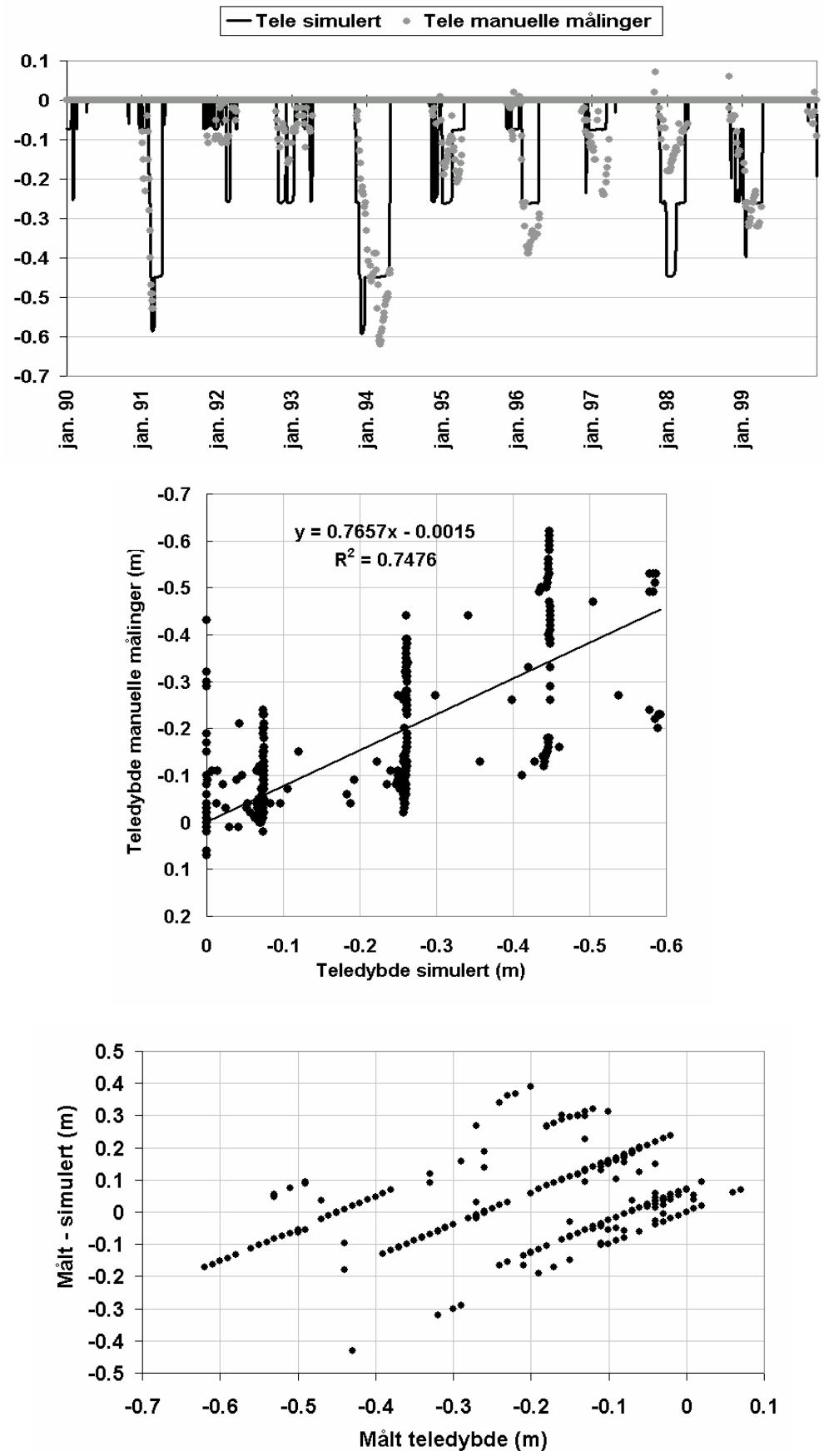
Simulert teledybde og manuelle målinger av nedre teledybde med Gandahls telemåler som funksjon av tid er vist øverst i Figur 7-2. Nedenfor er plott som viser sammenhengen mellom målt og simulert tele og differansen mellom målt og simulert tele plottet for målt teledybde. Generelt er simulert teledybde større enn den målte tidlig på vinteren og det er her vi finner de største avvikene. Tidspunktet for tining av telen stemmer imidlertid bra de fleste årene, noe som er av stor betydning for infiltrasjon av vann i jorda om våren. Maksimal teledybde er simulert dypere enn målt 5 av 9 vintre i perioden. 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.

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	98	0,58	-0,01	0,66	-0,04	0,13
Verifisering	318	0,48	-0,04	0,65	-0,03	0,13
Fra motstand						
Parametrisering	1216	0,70	0,01	0,59	-0,07	0,13

(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. Resultatene viser en tilsvarende sammenheng som for parametriseringsperioden, men flere kalde vinterperioder med senkning av grunnvannstanden som følge av snø og tele gir et dårligere statistisk resultat (Tabell 7-4).

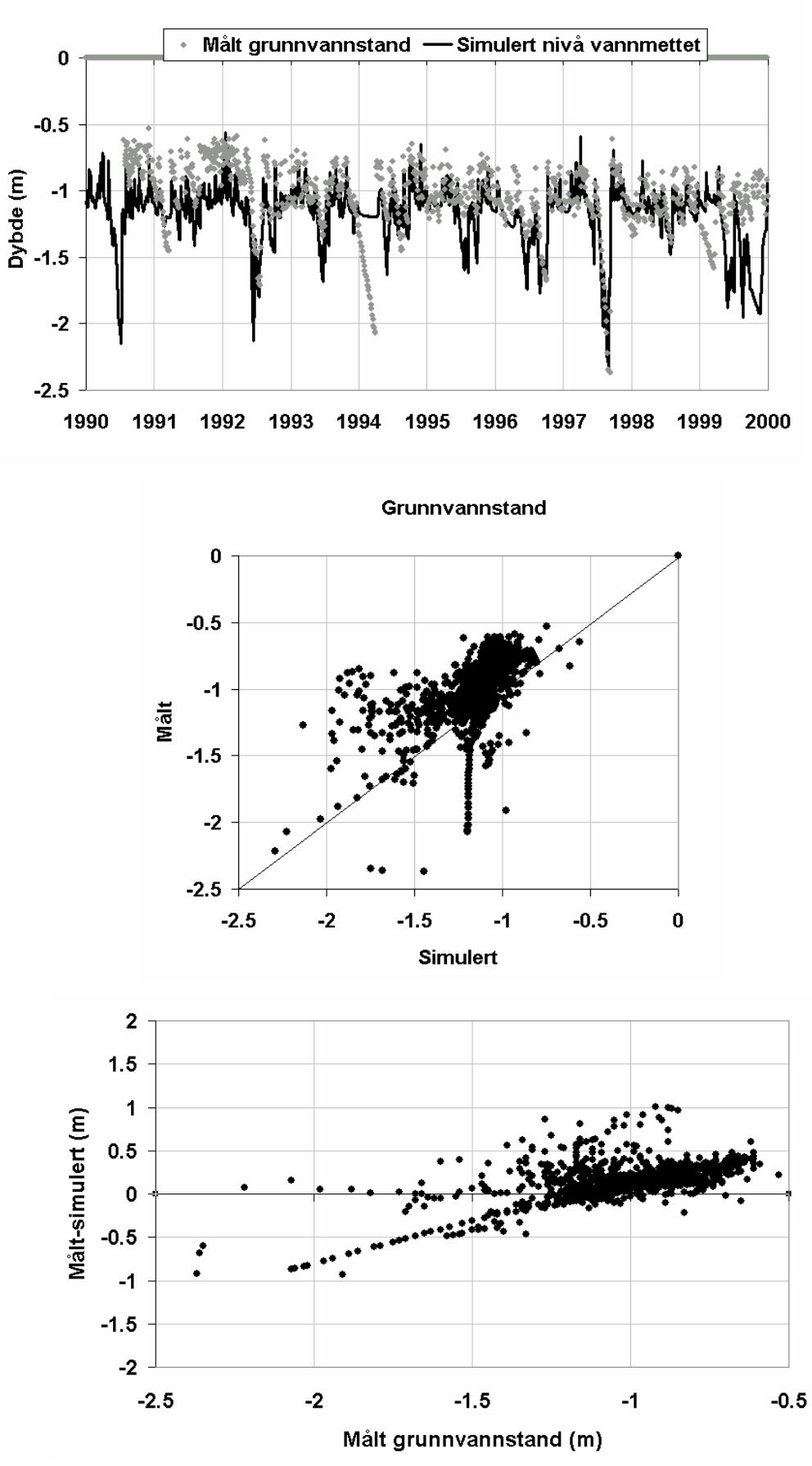
Tabell 7-4: Sammenheng mellom målt og simulert grunnvannsstand i parametriserings- og verifiseringsperioden

Grunnvann	Observasjoner (N)	R^2	Intersept	Helningskoef.	RM (1)	RMSE (2)
Parametrisering	1905	0,55	-0,33	0,74	0,00	0,22
Verifisering	972	0,30	-0,28	0,64	-0,14	0,27

(1): RM = 1/N∑(sim-målt)

(2): RMSE= √(∑(sim-målt)^2)/N)

Det er samme 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 i Figur 7-3. For vinteren 93-94 stemmer simulert grunnvannsstand dårlig overens med observasjonene. Både simuleringer og observasjoner viser en stor teledybde denne vinteren. Dette fører til at det ikke forekommer noen grunnvannsfornyelse og observasjonene viser at grunnvannstanden synker gjennom hele vinteren. Simuleringene viser imidlertid en ganske stabil grunnvannstand da denne ikke synker lavere enn nivået for drensgrøftene som er satt til 1,2 meter i modellen. Nedenfor disse er det antatt tett i modellen, og da vannet ikke transporteres vekk ved evapotranspirasjon blir det ingen endring i grunnvannstand. Modellen egner seg derfor ikke til simulering av episoder med dyp tele og følgende lav grunnvannstand vinterstid. Det samme gjelder også for vinteren 1999. Plottet av målt og simulert grunnvannstand i Figur 7-3 (midten), viser en tydelig vertikal linje der målt grunnvannstand varierer mens den simulerte er konstant.



Figur 7-3: Simulert og målt grunnvannsstand for verifiseringsperioden.

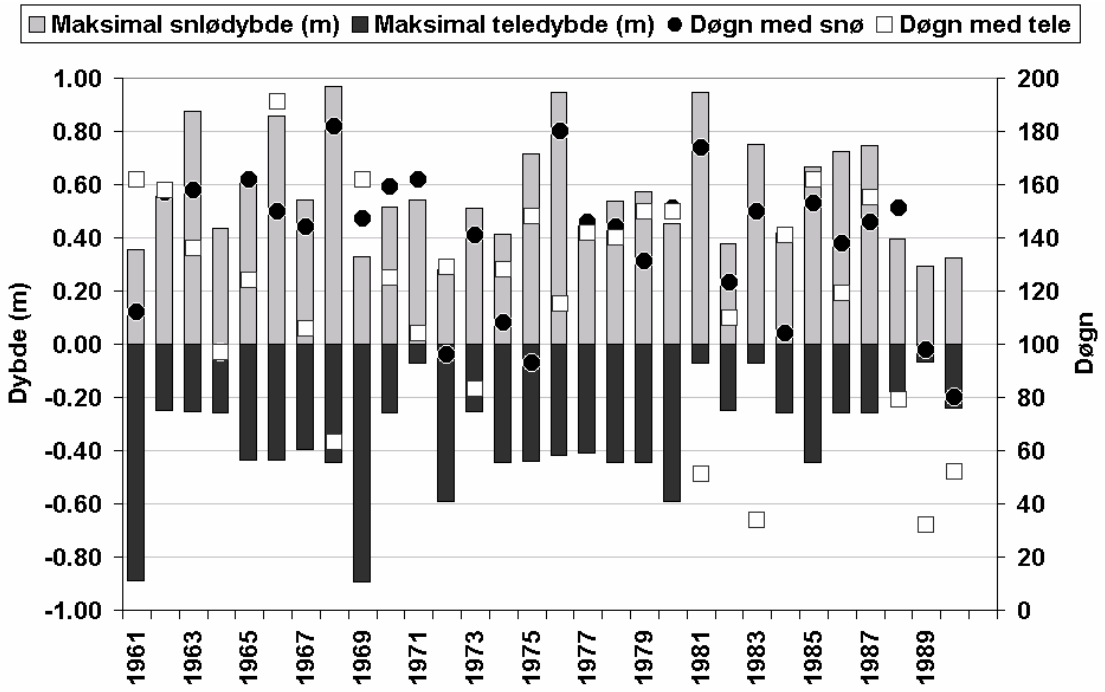
8 Normalverdier

Sammenhengen mellom målinger fra markvannsstasjonen og simuleringene med COUP (kapittel 6 og 7) betraktes som tilfredsstillende og 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.

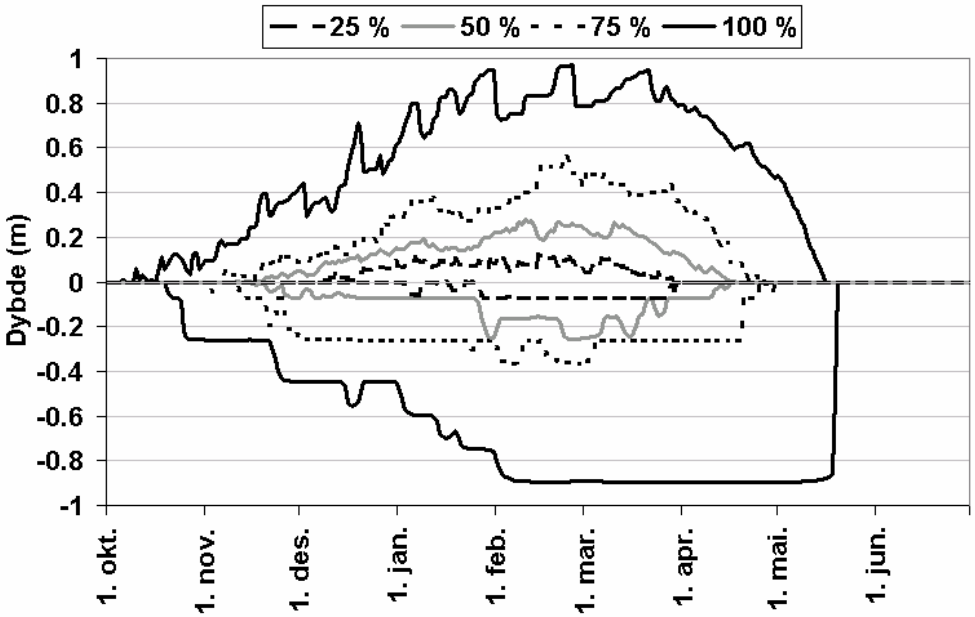
8.1 Vinterforhold

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. 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.

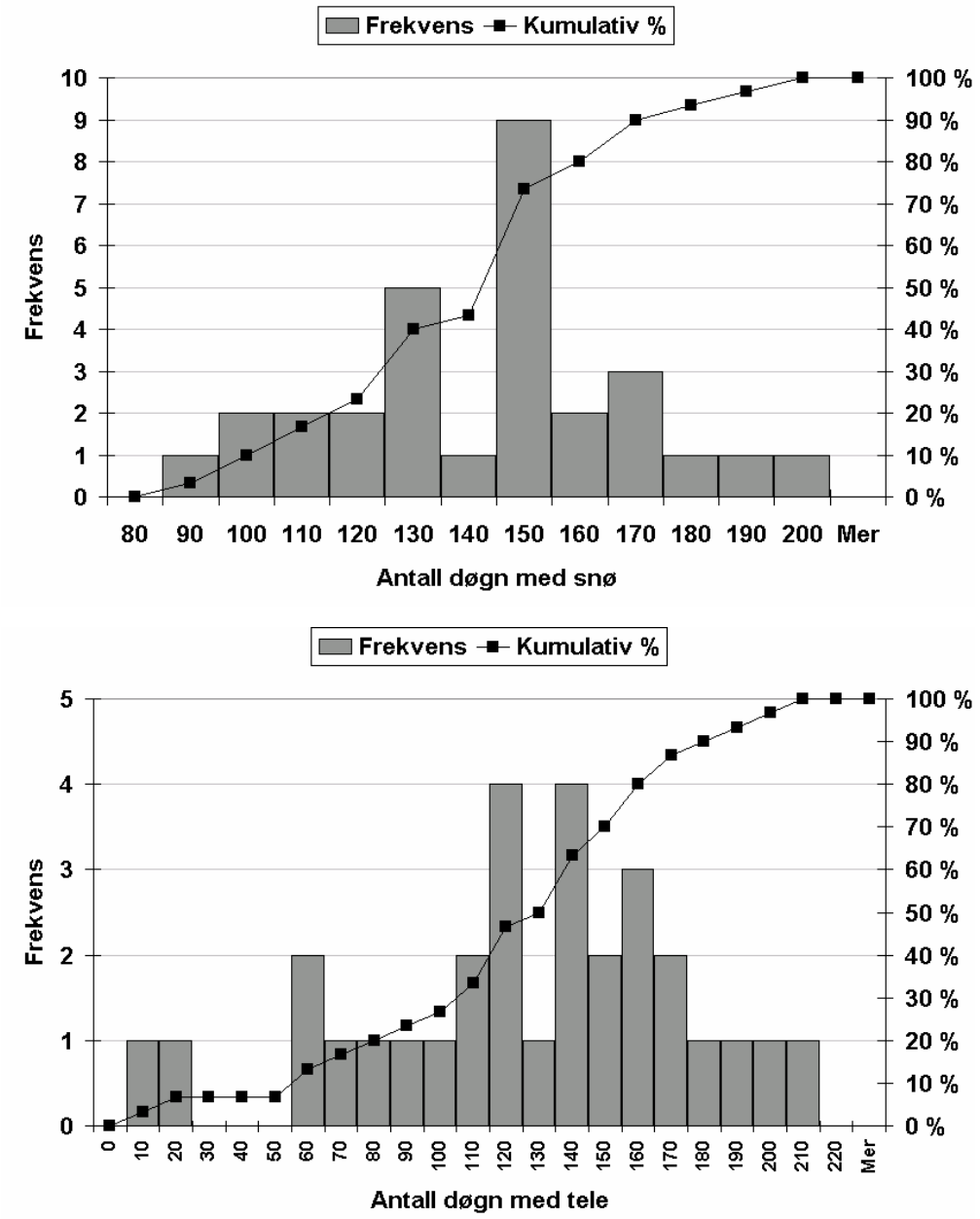
I Figur 8-2 er verdiene for snø og teledybde sortert etter dato og vist som persentiler der 100 % tilsvarer største dybde for hver dato i løpet av normalperioden. Som for parametriserings- og verifiseringsperioden viser figuren at det er store variasjoner både med hensyn på dybde og varighet av snø og 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 140 dager (ca 4 måneder) med snø og ca 130 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.



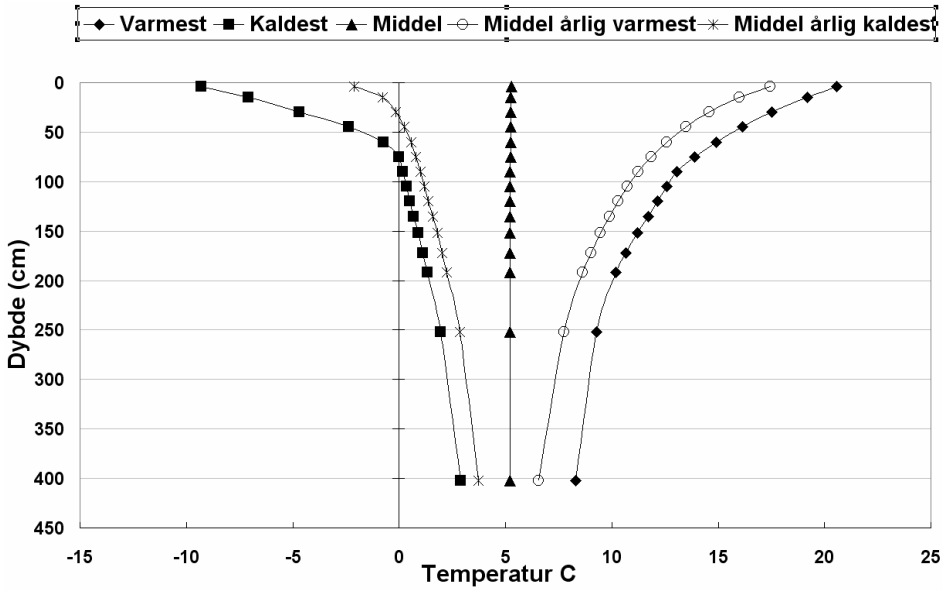
Figur 8-2: Forløp gjennom vinteren for snødybde og teledybde for normalperioden 1961-1990. Simuleringene er sortert etter dato gjennom vinterhalvåret og ulike persentiler er tegnet inn.



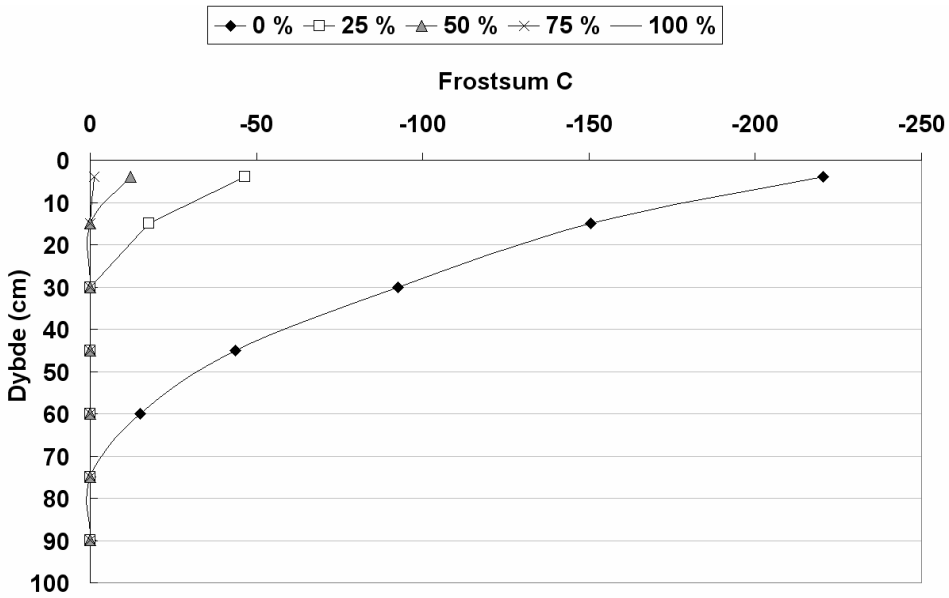
Figur 8-3: Frekvensfordeling av antall dager med snø og tele i jorda.

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 er i de fleste tilfeller innenfor måleusikkerheten. 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. Figur 8-5 vise frostsum simulert for de ulike lagene i modellen. Det er simulert kuldegrader ned til maksimalt 75 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.



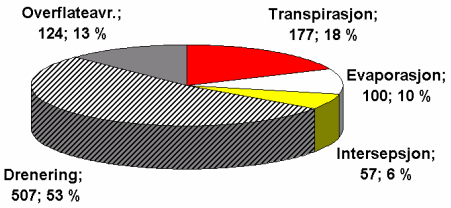
Figur 8-5: Normaler og ekstremverdier av frostsum i normalperioden. Dybden er gitt i meter.

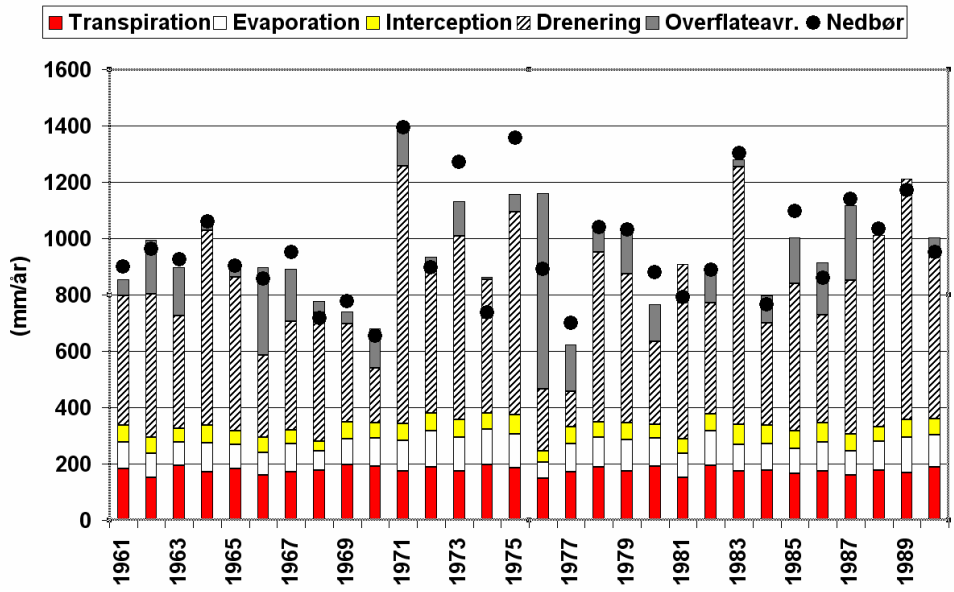
8.3 Vannbalanse

Gjennomsnittlig justert årsnedbør[3] for perioden 1961-1990 er 964 mm, hvorav 35 % tapes ved fordamping og 65 % er avrenning (Tabell 8-1, Figur 8-6 og Vedlegg 4). 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). Av fordampingsdelen utgjør transpirasjonen i gjennomsnitt 53 % og fordamping fra jordoverflaten 30 %. Resten er fordamping av interseptert vann.

Tabell 8-1: Middelverdier av målt nedbør samt simulerte vannbalansevariabler for perioden 1961-1990. "Nedbør, justert" er justert nedbør med standardverdier i modellen for overgangen fra punktnedbør til arealnedbør.

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	334	31	245	380
Jordfordamping	100	17	58	129
Transpirasjon	177	14	148	198
Intersepsjon	57	8	35	72
Totalavrenning	631	177	293	1045
Drenering	507	198	128	913





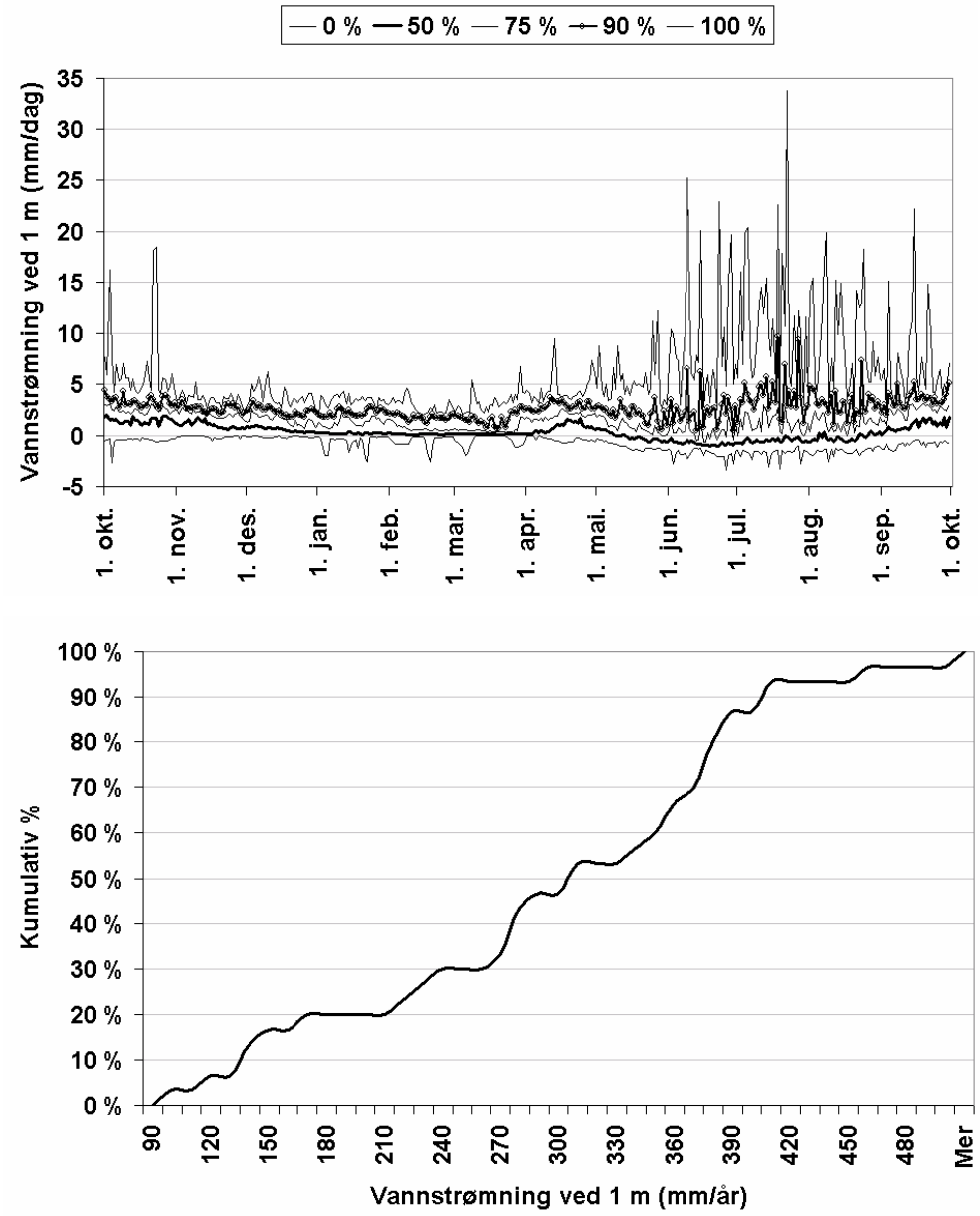
Figur 8-6 Simulert vannbalanse for perioden 1961-1990. Øverst vises gjennomsnittlig fordelingen av vannbalansekomponentene for avrenning og evapotranspirasjon.

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

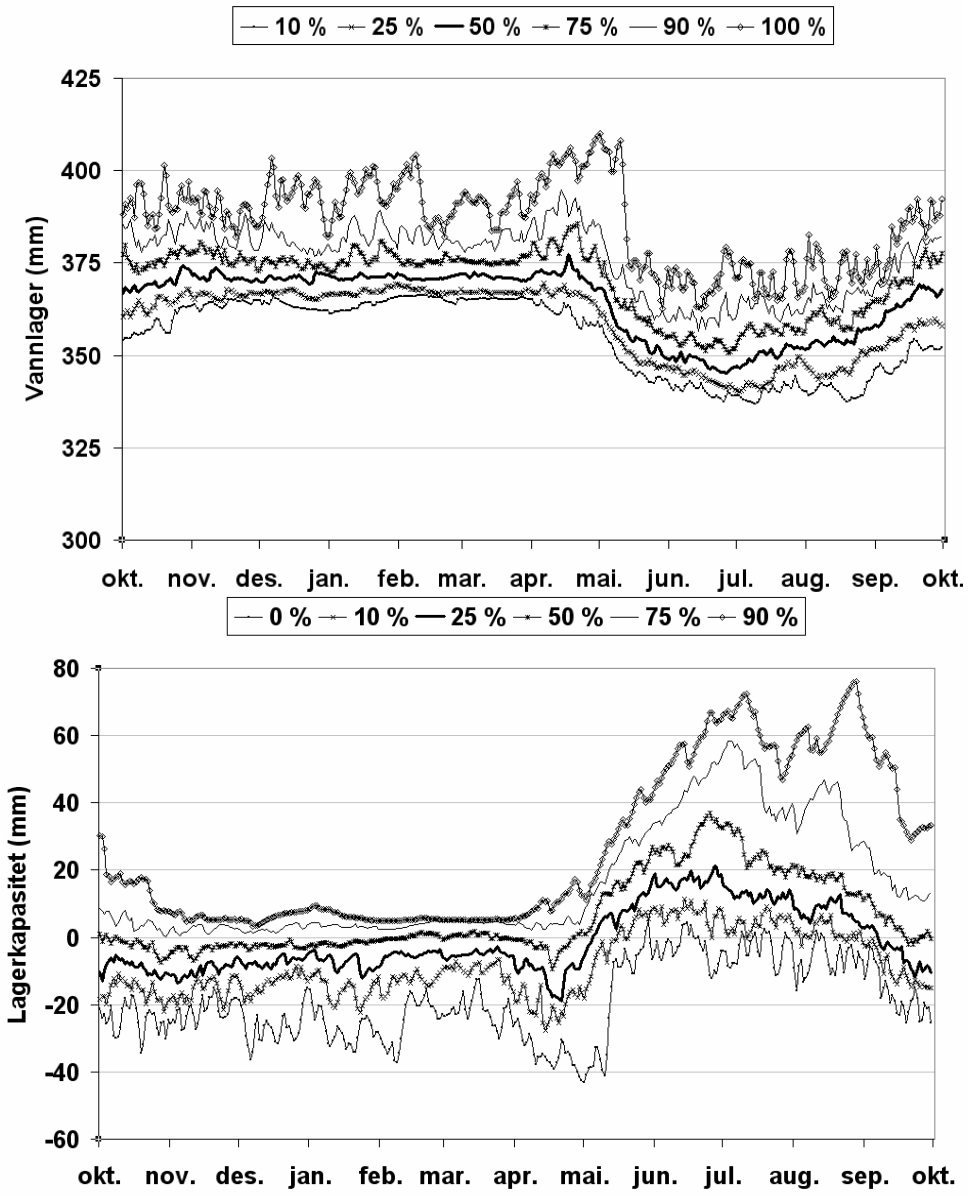
For å få en ide om størrelsen på grunnvannsdannelse er det sett på simulert vanntransport ved 100 cm dybde, der vi kan se bort fra transpirasjon. Øverst i Figur 8-7 er vannstrømmen (mm/dag) ved 100 cm dyp vist som persentiler for normalperioden. Positiv verdi betyr at det er en nedoverrettet vannbevegelse. 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. Men det er også sensommer og høst som viser de største døgnverdiene for vanntransport ved 1 meter dybde. I nedre del av Figur 8-7 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 100-500 mm. Medianverdiene er rundt 310 mm.

Med begrepet jordas lagerkapasitet for vann menes den nedbørsmengden som må 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 av jordprofilet, er vannlager samt lagerkapasitet (markvannsundersudd eller overskudd) beregnet for hver dag i året for perioden 1961-90 og fremstilt som persentiler i Figur 8-8. Utgangspunktet for beregning av lagerkapasitet 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. En negativ lagerkapasitet vil si at det er et overskudd av vann ved at vanninnholdet er større enn vanninnhold ved feltkapasitet. 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 matrikssug på 100 cm H_2O. For Kvithamar er jordas vanninnhold ved feltkapasitet for sjiktene i jordprofilet vist i Tabell 4-3 og Figur 4-4.



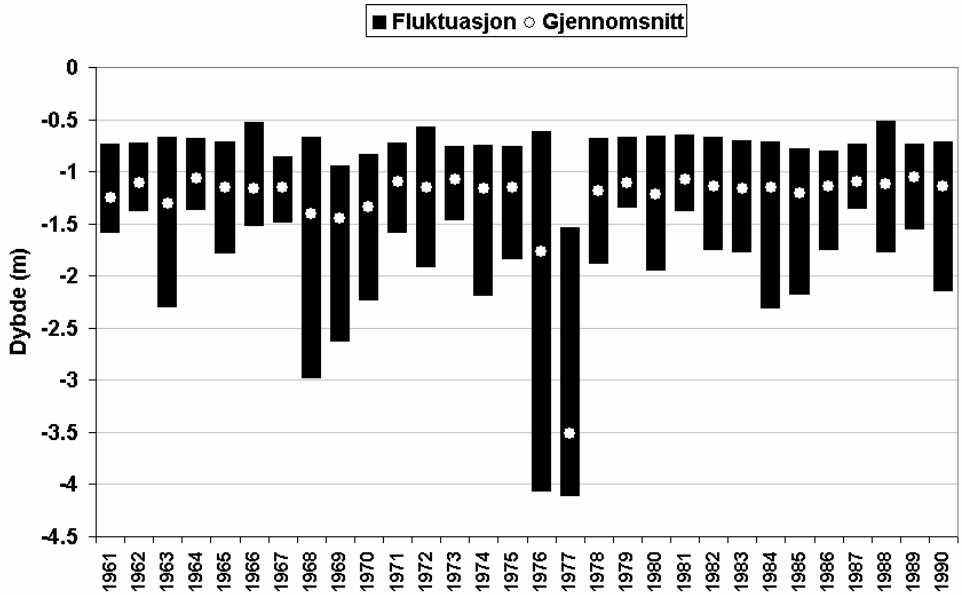
Figur 8-7: Gjennomsnittlig vannstrøm (mm/dag) ved 100 cm dyp som funksjon av tid gjennom året (øverst) og kumulativ prosentfordeling av årlig vannstrøm for perioden 1961-1990 (nederst).



Figur 8-8: Vannlager for dypet 0-100 cm og total lagerkapasitet i jorda over året for perioden 1961-1990. Kurver for ulike persentiler er vist i figuren.

Figur 8-9 viser simulert grunnvannsstand for normalperioden med middelverdier og årlig fluktuasjon. Midlere grunnvannsstand er simulert til -1,27 m, med -3,51 m som dypeste og -1.06 som høyeste årlig middel. Den høyeste simulerte grunnvannsstanden er -0,51 m. Det gjennomsnittelig årlige maksimale nivå er -0,74 m. Dypeste simulerte grunnvannstand i perioden er -4,11 m (1977). Det gjennomsnittlige nivået for årlig dypeste grunnvannsstand er simulert til -1,99 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.



Figur 8-9 Største, minste og gjennomsnittlig grunnvannsstand simulert for Kvithamar markvannsstasjon i periode 1961-1990.

9 Konklusjon

Parametrisering av COUP-modellen ble foretatt i tilknytning til måleserier fra Kvithamar markvannsstasjon for perioden fra og med 2000 til og med 2005. En oversikt over valgte prosesser og parameterverdier er vist i Vedlegg 3. 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 Kvithamar markvannsstasjon for perioden fra og med 1990 til og med 1999. For begge perioden ble det benyttet meteorologiske data fra Værnes lufthavn. Det er betydelige forskjeller i snødybde målt ved de to lokalitetene. Simuleringene viste klart best overensstemmelse med målingene fra markvannsstasjonen. 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. Generelt øker simulert tykkelse av telelaget raskere enn målt tidlig om vinteren, mens tidspunktet for tining om våren stemmer bra. 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 ($R^2 = 0,9$), men det er en generell tendens til noe lavt simulert jordtemperatur.

Det er stort sett relativt god overensstemmelse mellom simulert og målt grunnvannstand. Det er likevel enkeltepisoder med relativt store avvik, de fleste i tilknytning til lave grunnvannsnivåer vinterstid og ved stor teledybde (ingen grunnvannsfornyelse). Dette kommer av at modellen antar at ikke noe vann forlater profilet lavere enn de konstruerte drensgrøftene (tett i bunnen) og greier dermed ikke simulere slike episoder der grunnvannstanden synker gjennom hele vinteren.

Parametersettet i COUP-modellen for Kvithamar markvannsstasjon anses 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 i området rundt Kvithamar markvannstasjon. 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

Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., 1998. Crop Evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements – FAO Irrigation and drainage paper 56.

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. NVE rapport Miljøbasert vannføring 3-2004. Rapport 3 Grunnvannsmodellering.

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.

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

Colleuille H., Haugen L.E., Øverlie T., 2007: Vann i jord Simulering av vann- og energibalanse på Kise markvannstasjon, Hedmark. NVE rapport 8, 2007.

Jansson, P-E & Karlberg, L., 2001. Coupled heat and mass transfer model for soil-plant-atmosphere systems. Royal Institute of Technology, 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

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.

Øverlie T., Colleuille H., Haugen L.E., 2006: Vann i jord Simulering av vann- og energibalanse på Værnes markvannstasjon, Nord-Trøndelag. NVE rapport 15, 2006.

Vedlegg 1

Beskrivelse av profil representativt for jordtype 2 (Solbakken, 1987), med kornfordeling, kjemiske og fysiske egenskaper

Profilnr.	20240	**Beskrevet**	11/6-1985
Sted	Kvithamar	**Kommune**	1714 Stjørdal
H.o.h.	28 m	**UTM**	32 59373 704168
Topografi	Slette	**Helling**	0-2 %
Opphavsmateriale	Havavsetning	**Jordsmonn**	Orthic Humic Gleysol[4]
Dreneringsgrad	Dårlig drenert	**Fjellblotninger**	Ingen
Stein og blokk	Ingen		

Profilbeskrivelse

Sjikt	Dyp, cm	Beskrivelse
Ap	0-20	Svære mørk gråbrun (10YR 3/2), svært moldrik, siltig mellomleire; svakt til moderat utviklet svært fine og fine gryn og fine og middels skarpkantede blokker, skjør, svakt klebrig, svakt plastisk, mange svært fine porer, noen fine porer, svært mange svært fine og svært mange fine røtter, skarp og bølgende sjiktgrense.
Bg	20-35	Grå (10YR 5/1) siltig lettleire, lys grå (10YR 6/1) horisontale striper, noen middels, sterk brune (7.5YR 4/6), fremtredende tydelig avgrensede fargeflekker, svakt til moderat utviklet middels og grove plater, svært skjør, svakt klebrig, ikke eller svakt plastisk, mange svært fine porer, noen fine porer, få middels porer, få svært fine røtter, få fine røtter, skarp og plan sjiktgrense. Sjiktet består av tynne lag med vekselvis silt og leire
Cg	35 -	Mørk grå (N 4/0) siltig mellomleire, noen middels og grove, sterk brune (7.5YR 4/6) fremtredende, skarpt avgrensede fargeflekker, svakt utviklet svært grove plater, fast til svært fast, klebrig, plastisk til svært plastisk, mange svært fine porer, mange fine porer, noen middels porer.

Kornfordeling

Sjikt	Dyp (cm)	Jordart	Sand %	Silt %	Leir %
Ap	0-20	Siltig mellomleire	7	66	27
Bg	20-35	Siltig lettleire	2	85	13
Cg	35-	Siltig mellomleire	1	62	37

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

Kjemiske egenskaper

Sjikt	Dyp	pH	Org. C	N	CEC	BS
	cm		%	%	me/100g	%
Ap	0-20	6,0	8,8	0,57	37,3	67,3
Bg	20-35	6,3	0,3	0,02	5,6	50,1
Cg	35-	6,6	0,4	0,03	12,5	59,5

Fysiske egenskaper

Sjikt	Dyp, cm	Prøvedyp cm	Volumprosent vann ved ulike matrikssug (cm H2O)						
			Uttak	Mettet	20	100	1 000	3 000	15 000
Ap	0-20	10-15	36,6	61,9	57,5	53,7	47,1	44,7	19,5
Bg	20-35	20-35	15,4	40,3	36,9	35,1	25,9	23,8	13,1
Cg	35-	38-43	25,6	39,0	36,1	34,9	31,6	30,3	34,8

Sjikt	Dyp	Tetthet	Porevolum	Mat. tetthet	Tilgjengelig vann	Tilgjengelig vann
	cm	Kg/ dm^3	%	Kg/ dm^3	Vol%	mm/ sjikt
Ap	0-20	1,03	57,3	2,41	34,5	69
Bg	20-35	1,69	37,4	2,70	22,0	33
Cg	35-	1,72	39,5	2,84	0,1	

Vedlegg 2

Jorddata fra analyser og verdier benyttet i modellen

Kornfordeling fra prøver tatt ved markvannstasjonen benyttet i COUP-modellen for Kvithamar

Sjikt (m)	Kornstørrelse (mm)							Glødetap
	<0.002	0.002 - 0.006	0.006 - 0.02	0.02 - 0.06	0.06 - 0.2	0.2 - 0.6	0.6 - 2.0	
0 - 0.2	10.2	24.6	28.8	9.3	11.2	6	2.9	7
0.2 - 0.35	33	34.5	20	5	3.1	1	0.4	3
0.35 - 1.45	23.4	27.3	31.7	14.8	0.6	0.1	0.1	2
1.45 - 1.75	11.8	20.5	40.8	25.2	0.5	0.1	0.1	1

Analyse av kornfordeling og tetthet for prøver tatt ut i forbindelse med nedsetting av nøytronmeter ved markvannstasjonen.

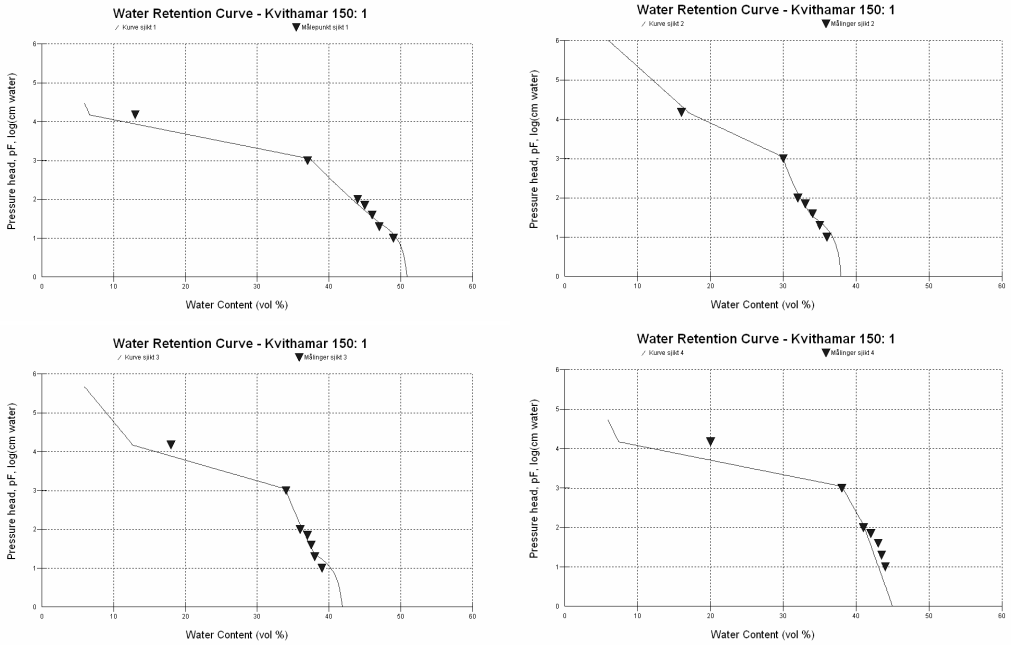
Dybde	Leire	Silt	Sand	Grus	Jordater	Tetthet tørr	Materialtetthet	Porøsitet
cm	%	%	%	%		g/cm3	g/cm3	%
5	9,8	70,4	19,4	0,4	Sandig silt	1,45	2,95	50,8
14	10,8	63,9	19,4	5,9	Sandig silt	1,5	2,35	36,2
24	34	61,6	4,4	0	Siltig mellomleire	1,98	2,95	32,9
35	22,9	75,7	1,4	0	Siltig lettleire	1,91	2,67	28,5
45	23,9	75,3	0,8	0	Siltig lettleire	1,95	3,03	35,6
60	35,6	63,7	0,7	0	Siltig mellomleire	1,78	2,8	36,4
75	38,4	60,9	0,7	0	Siltig mellomleire	1,77	2,52	29,8
90	39,4	59,7	0,9	0	Siltig mellomleire	1,7	2,78	38,8
110	21,8	77,8	0,4	0	Siltig lettleire	1,63	2,62	37,8
134	26,5	73,1	0,4	0	Siltig mellomleire	1,62	2,93	44,7
145	27,7	71,2	1,1	0	Siltig mellomleire	1,78	2,66	33,1
150	8,4	91,1	0,5	0	Silt	1,61	2,87	43,9
155	11,9	87,5	0,6	0	Silt	1,84	2,88	36,1
165	11,9	87,2	0,9	0	Silt	1,86	2,85	34,7
175	11,6	87,8	0,6	0	Silt	1,71	2,66	35,7

Retensjonsdata benyttet i COUP-modellen for Kvithamar

	cm H_20							
Dybde (cm)	**0**	**10**	**20**	**40**	**70**	**100**	**1000**	**15000**
0 - 0,2	51	49	47	46	45	44	37	13
0,2 - 0,35	38	36	35	34	33	32	30	16
0,35 – 1.45	42	39	38	37.5	37	36	34	18
1.45-1,75	45	44	43.5	43	42	41	38	20

Tilpassing av retensjonskurve benyttet for COUP-modellen for Kvithamar.

Soil Hydraulic		*Brooks-Corey, water retention, measured horizons*				*4 elements*		
	Lower Depth		Air Entry		Wilting Point		Macro Pore	
Upper Depth		Lambda		Saturation		Residual Water		Upper Boundary
0	0.2	0.0609132	6.44377	51	6.5	0.485149	4	1.100e+3
0.2	0.35	0.233685	4.99831	38	17.3	26.7327	4	1.100e+3
0.35	1.45	0.0684371	1.12782	42	12.8	20.4653	4	1.100e+3
1.45	1.75	0.0336001	7.08524	45	7.31	0.435644	4	1.100e+3



Tilpassing av vannledningsevne benyttet for de ulike sjiktene i COUP-modellen for Kvithamar.

Soil Hydraulic		*Hydraulic conductivity, measured horizons*			
	Lower Depth		Total Conductivity		Macro Pore
Upper Depth		Matrix Conductivity		n Power (SatEffective)	
0	0.2	128.678	128.678	8.61101	4
0.2	0.35	10	10	14.0586	4
0.35	1.45	10	100	10.4991	4
1.45	1.75	400	4.000e+3	9.03348	4

Inndeling av lag i Coup-modellen for Kvithamar nummerert fra overflaten og nedover i profilet.

Lag nr.	Tykkelse	
1	0,075	m
2	0,15	m
3	0,15	m
4	0,15	m
5	0,15	m
6	0,15	m
7	0,15	m
8	0,15	m
9	0,15	m
10	0,15	m
11	0,2	m
12	0,2	m
13	0,2	m
14	1	m
15	2	m

Vedlegg 3

Parametrisering av modellen med innstillinger og parameterverdier endret fra normalen

Data base selections

Soil		100: 1 Kvithamar	63.4 /29

Switches

Interception	PrecInterception	on
Potential Transpiration	Displacement	f(canopy)
	RSMethod	Lohammar Eq
	Roughness	f(canopy)
Meteorological Data	CommonRefHeight	No
	HumRelInput	Read from PG-file
	PrecInput	Read from PG-file
	TempAirCycle	Annual
	TempAirInput	Read from PG-file
	VapourAirInput	As relative humidity
Plant	CanopyHeightInput	Driving variable
	LaiInput	Driving variable
	RootInput	Driving variable
Numerical	NumMethod	Central Difference
Soil heat flows	Convection flow	Not accounted for
	Lower Boundary	Constant heat flow
Model Structure	Evaporation	Radiation input style
	GroundWaterFlow	on
	PlantType	Explicit single big leaf
	SnowPack	on
	WaterEq	on
Soil Hydraulic	Conductivity Function	Power of effective saturation
	Matric Conductivity	Same as Total Conductivity
Technical	PressureHeadSign	Positive
Soil frost	FrostSwelling	Off
	Infiltration	Low+High FlowD
	LoadPotential	Off
Soil evaporation	Evaporation Method	PM-eq, Rs(3Par)
	Surface Temperature	f(PM-equation)
Drainage and deep percolation	PhysicalDrainEq	Linear Model
Soil water flows	Crack	Bypass Flow

Parameters

SnowPack	DensityOfNewSnow	110	Kg/m3
	MeltCoefAirTemp	1	Kg/Cm2day
	OnlyRainPrecTemp	2.5	C
	SThermalCondCoef	3.000e-6	Wm5/°C·Kg²
Meteorological Data	ReferenceHeightWind	10	m
	TempAirAmpl	18	°C
	TempAirMean	5	°C
Soil heat flows	SoilInitTempConst	6	øC
Radiation properties	Latitude	63.5	-
Drainage and deep percolation	DrainLevel	-1.2	m
	DrainSpacing	1	m
Soil water flows	AScaleSorption	0.1	-
	InitialPressuredHead	100	cm water

Vedlegg 4

Årlig vannbalanse for parametriseringsperioden

	Nedbør	Evapo-transpirasjon	Transpirasjon	Evaporasjon	Interception	Total avrenning	Drenering	Overflateavr.
2000	728	384	216	114	54	376	360	16
2001	1065	354	181	115	58	655	588	67
2002	753	381	223	110	48	352	332	20
2003	968	384	208	113	63	599	464	136
2004	1081	408	225	126	57	653	504	149
2005	987	383	210	112	61	604	502	101
Snitt	930	382	211	115	57	540	458	82
Minst	728	354	181	110	48	352	332	16
Størst	1081	408	225	126	63	655	588	149

Årlig vannbalanse for valideringsperioden

	Nedbør	Evapo-transpirasjon	Transpirasjon	Evaporasjon	Interception	Total avrenning	Drenering	Overflateavr.
1990	951	360	188	115	57	638	608	30
1991	879	373	174	126	72	472	405	67
1992	965	389	199	137	53	587	527	60
1993	914	368	182	126	59	533	533	0
1994	958	370	189	127	54	624	449	174
1995	949	343	168	119	56	540	404	137
1996	603	318	168	101	49	300	183	117
1997	1018	321	182	94	45	749	656	93
1998	945	322	172	95	55	596	375	221
1999	924	365	206	105	53	573	216	357
Snitt	911	353	183	115	55	561	436	126
Minst	603	318	168	94	45	300	183	0
Størst	1018	389	206	137	72	749	656	357

	Nedbør	Evapo-transpirasjon	Transpirasjon	Evaporasjon	Interception	Total avrenning	Drenering	Overflateavr.
1961	899	337	182	95	60	517	461	56
1962	963	294	150	86	58	701	508	193
1963	925	326	194	82	51	571	399	172
1964	1061	338	172	102	64	707	691	16
1965	902	317	182	86	49	595	546	49
1966	858	293	159	80	54	603	293	311
1967	952	321	172	99	49	571	385	186
1968	716	280	177	69	35	496	456	39
1969	778	349	196	93	60	391	349	42
1970	655	346	191	101	54	334	192	142
1971	1395	344	175	108	61	1045	913	132
1972	897	379	189	129	61	554	519	34
1973	1270	357	175	120	63	775	653	122
1974	737	380	198	124	58	484	473	11
1975	1357	374	186	120	68	783	722	61
1976	891	245	148	58	39	915	220	696
1977	699	330	172	100	57	293	128	166
1978	1040	348	188	106	54	689	605	84
1979	1032	345	175	109	61	697	528	169
1980	880	341	190	100	50	424	294	130
1981	791	288	152	85	51	622	620	2
1982	889	376	193	123	60	514	395	118
1983	1302	341	174	95	72	938	913	26
1984	765	338	176	95	68	459	361	97
1985	1099	317	165	89	63	686	522	164
1986	860	344	173	104	67	571	385	186
1987	1140	307	159	87	60	811	544	267
1988	1033	332	178	101	53	678	678	0
1989	1172	358	169	125	64	852	852	0
1990	952	360	188	116	57	641	606	35
Snitt	964	334	177	100	57	631	507	124
Minst	655	245	148	58	35	293	128	0
Størst	1395	380	198	129	72	1045	913	696

Vedlegg 5

Simuleringer Kvithamar fra oktober 2007.10.15

Utgangspunktet for parametrisering var resultatene fra et forsøksfelt for korn på Kvithamar og med målt vanninnhold i 1988 (marina Bleken pers.medd). Jordegenskapene var fra dette feltet. Dette parametersettet ble videre benyttet for simuleringer på markvannsstasjonen på Kvithamar. Vegetasjonen for markvannstasjonen ble simulert som plen med jorddata fra et profil på markvannstasjonen. Ut fra malt tekstur på markvannstasjonen så ligger den siltige mellomleira over et lag med silt (7.9-11.9 % leir), som ut fra jordprøver virker mer permeabelt enn den siltige mellomleira. Andre forskjeller mellom simuleringer på forsøksfeltet og simuleringene beskrevet i denne rapporten var:

1. Endret grøftedyp - brukt i rapporten -1.2 m og grøfteavstand 1 m
2. Endret funksjon for jordas vannledningsevne – power of effective saturation brukt i rapporten
3. Endret overflatetemperatur - f(Surface temperature) brukt i rapporten
4. Slått av makroporestrømning - makroporestrømning (Crack) benyttet i rapporten

Istedenfor ”power of effective saturation” ble Mualem - funksjonen benyttet (Beskrevet i rapporten for Værnes, Øverlie et. al. 2006) . Målinger av grunnvannsdyp under de simulerte drensgrøftene medførte vanskeligheter i tilpasningen. Dette var grunnen til at en annen tilnærming for Ksat og makroporestrømning ble brukt. Istedenfor å holde nedre grense i jordprofilet som No Flow, som brukt i denne rapporten, så ble det valgt å introdusere et sekundært grøftesystem (”seepage flow”) slik at det i tørre perioder skjedde en relativt sen drenering. Dette gjorde også at grøftedyp og grøfteavstand ble mer realistiske, dyp -1.2 m og avstand 8 m og for det nedre grøftesystemet grøftedyp -2.4 m og grøfteavstand 200 m. Ulike alternativer for grøftedyp og grøfteavstand ble utprøvd for å få en bedre forståelse av hvordan dette påvirket resultatene, se tabell nedenfor. Det ble valgt å bruke øvre grøftesystem på -1.0 m og avstand 8 m og nedre grøftesystem med dyp -2.4 m og avstand 200 m.

	Øvre system		Nedre system			
Sim	Dyp	Avst	Dyp	Avst	Annet	Kommentar
157	-1.2	1				Dårlig
158	-1.4	8				Brukbar
159	-1.0	4				For lav
160	-1.5	20				For lav, litt høyere
161	-1.1	200				Brukbar
162	-1.5	200				For lav / for høy
163	-1.5	200			Ks -1til-1.2 1/10	For høy
164	-1.5	200			Ks=10e+3,km=10e+2	
165	-1.5	200			Crack	
166	-1.5	8			Ellers som 158	
167	-1.5	8				
168	-1.1	8			Lite avstand, liten amplityde	
169	-1.0	4				
170	-1.0	8				
171	-1.0	12				
172	-1.0	16				
173	-1.0	32				
174	-1.0	64				
175	-1.2	4				
176	-1.2	8				
177	-1.2	16				
178	-1.2	12				
179	-1.2	8	-5	200		
180	-1.2	8	-2.4	800		
181	-1.2	8	-2.4	400		
182	-1.2	8	-2.4	200		
183	-1.0	8	-2.4	200	Bruker	

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

Utgitt i Rapportserien i 2007

Nr. 1 Knut Hofstad: Vindkraftpotensialet utenfor norskekysten (offshore)

Nr. 2 Hervé Colleuille, Ingvill Stenseth: Nasjonalt overvåkingsnett for grunnvann og markvann Drift og formidling 2006. Status pr. februar 2007

Nr. 3 Tor Arnt Johnsen (red.): Kvartalsrapport for kraftmarkedet, 4. kvartal 2006 (77 s.)

Nr. 4 Britt-Mari Langåsen, Anders E. Grønstvedt, Asle Tjeldflåt, Stig Haugen: Utnyttelse av det norske kraftnettet

Nr. 5 Anders Bjordal og Mads Johnsen: Stabilitet langs Namsen. Utbedring av gamle sikringstiltak (168 s.)

Nr. 6 Halvor Kr. Halvorsen (red): Tilsynsrapport for 2006. NVEs tilsyn (25 s.)

Nr. 7 Tor Arnt Johnsen (red.): Kvartalsrapport for kraftmarkedet, 1. kvartal 2007 (74 s.)

Nr. 8 Hervé Colleuille, Lars Egil Haugen, Trude Øverlie: Vann i jord. Simulering av vann- og energibalansen på Kise markvannsstasjon, Hedmark (70 s.)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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