

# Kapitel 1. Sammenfatning

Opgørelse af den udnyttelige drikkevandsressource i Danmark med udgangspunkt i model-simulering af det hydrologiske kredsløb baseret på den nationale vandressourcemodel (DK-model) viser, at ressourcen næsten er halveret i forhold til den seneste landsdækkende opgørelse for 11 år siden, fra 1,8 mia. m<sup>3</sup>/år til 1,0 mia. m<sup>3</sup>/år. Den primære forklaring på denne nedskrivning er, at den nye opgørelse regner detaljeret på hele ferskvandskredsløbet, og at påvirkninger af vandløb og natur begrænser de mængder, vi kan indvinde fra grundvandet. Hertil kommer at problemer med vandkvaliteten i det øvre grundvand betyder at dele af denne ressource i en årrække må afskrives.

I takt med den stigende påvirkning over de sidste årtier af det øvre grundvand er vandforsyningen omlagt til i meget stort omfang at udnytte det dybereliggende grundvand. Først nu har vi pålidelige tal for hvor meget ressourcen udgør, når der tages udgangspunkt i de fastlagte målsætninger for vandløbenes kvalitet.

Vandkredsløbet viser under disse forudsætninger for stor oppumpning omkring København, Odense og Århus, samt på de lette jorde i Midt- og Vestjylland, hvor behovet for markvanding er stort. Inden for større områder overudnyttes grundvandsressourcen: I Nordsjælland og omkring København med knap 80 mio. m<sup>3</sup>/år, på Fyn med knap 10 mio. m<sup>3</sup>/år og i Østjylland med ca. 30 mio. m<sup>3</sup>/år.

Også i områder med særlige drikkevandsinteresser er der for stor udnyttelse (røde tal). I dele af Syd- og Nordjylland er der rigeligt vand.

I de fleste af disse områder er problemet, at der pumpes så meget vand op, at påvirkningen af vandløb er for kraftig. I andre områder er det risikoen for at trække nitrat og pesticider ned fra de øvre forurenede magasiner og for frigivelse af stoffer fra undergrunden (fx nikkel), der begrænser de mængder vi kan pumpe op. Grundvandsdannelsen til de dybere magasiner er her for lille i forhold til den nuværende oppumpning.

En meget væsentlig grund til at situationen er alvorlig, er at det øvre grundvand i dag er påvirket af forurening med sprøjtemidler og kvælstof. I halvdelen af overvågningsfiltrene finder vi rester af disse stoffer. I hver femte boring er grænseværdien for både nitrat og pesticider overskredet. Når der samtidig pumpes for kraftigt fra dybere magasiner, forøges risikoen for forurening af vores reserver af rent drikkevand. Udover at væsentlige dele af det øvre grundvand er forurenede og derved truer det fremtidige drikkevand i de dybere reservoirer, kan forureningen påvirke tidspunktet for opfyldelsen af Vandmiljøplanerne, fordi disse forurenede vandmængder mange år frem vil påvirke overfladevandet.

Den nye opgørelse er langt mere omfattende end Vandrådetets opgørelse fra 1992 og har været syv år undervejs. Projektet har vist, at der er et stort behov for mere viden om vandbalancens enkelte elementer samt deres sammenhæng.

Usikkerheden på den nye opgørelse vurderes til +/- 10 % på landsplan. For de 11 DK-model deloplande (svarende til Vandområdedistrikter, VOD niveau) vurderes usikkerheden til +/-

20 %. For de 50 underområder (svarende til områder med særlige drikkevandsinteresser, OSD niveau) vurderes usikkerheden til +/- 40 %.

DK-modellen arbejder ud fra daglig nedbør, temperatur og fordampning. Modellen er kalibreret og valideret i forhold til afstrømning og pejlinger. Der er tale om en detaljeret beskrivelse af ferskvandets kredsløb, og strømningen i undergrunden på baggrund af data fra flere hundrede tusinde boringer. Geologien er tolket med 10-30 geologiske lag. Vandstrømningen i de øvre jordlag, i dræn og til vandløb beskrives ret detaljeret.

## **Vidensbehov om vandkredsløbet og udnyttelige ressource**

Der er et væsentligt behov for ny viden om vandbalancens enkelte elementer samt deres sammenhæng, således at der kan laves mere nøjagtige vandbalanceopgørelser.

En mere kvalificeret vurdering af hvordan forureningsudbredelsen vil udvikle sig i de kommende år er nødvendig. Udviklingen af vandkvalitet både i de enkelte kredsløbselementer, fx rodzonen, umættet zone, øvre og dybere grundvand, dræn, vandløb og søer, men også i overgangszonerne mellem disse, er vigtige vidensbehov. Vil situationen i det dybere grundvand yderligere forværres, eller er den stabil?. Hvad sker der mellem det øvre grundvand og det dybere grundvand?

Intensiv vandindvinding gør grundvandet mere sårbart, både i forhold til forurening fra terræn, men også i forhold til frigivelse af stoffer fra undergrunden. Det er vurderet at en kritisk udnyttelsesgrad ligger omkring ca. 35 % i forhold til den dybe grundvandsdannelse. Disse forudsætninger som er vigtige for hvor stor en udnyttelig ressource vi råder over, bør testes nærmere for Fyn og Jylland, ligesom at undersøgelser på mindre skala (fx kortlægning og zonerings af OSD områder) vil kunne bidrage til bedre belysning af forholdene.

Analysen af hvilken påvirkningsgrad (%-vis reduktion af vandføring) der er acceptabel under forskellige målsætningskategorier (fx høj og lempet) er baseret på vejledende krav til recipientpåvirkninger fra en vejledning i vandforsyningsplanlægning fra 1979. Der er et stort behov for fastsættelse af kravværdier for påvirkning af middel- og minimumsvandføring med udgangspunkt i økologiske parametre, fx fra habitatmodeller. I den forbindelse er der nogen særlige spørgsmål vedrørende brug af referencesituation i urbane områder, fx København. Er det rimeligt her at tage udgangspunkt i en situation uden oppumpning, når nu vandløbene forlængst er blevet tørlagte?

Bedre vurdering af klimaforholds betydning, specielt i områder hvor indikatorer udviser stor afhængighed af nettonedbørens størrelse (fx Nordsjælland, Vestjylland) er vigtige, herunder nærmere analyse af markvandings konsekvenser. En kobling af avancerede regionale klimamodeller med avancerede hydrologiske modeller kan være en mulighed. En anden mulighed kunne være at vurdere klimaforholdene nærmere i perioden 1800-1900. I denne periode forekom flere år med meget lille vinternedbør, som formentlig udgør en kritisk 200-års hændelse. En sådan forskning vil kunne give viden om de mest brugbare referencesituationer.

Ressourceudnyttelsen i Danmark er skæv. En række områder er i dag - med forudsætning i de fastlagte vandløbsmålsætninger (recipientmålsætninger) - stærkt overudnyttede som følge af vandindvinding fx omkring København. Det ekstra vand, der er brug for må hentes i stor afstand. Det rejser et behov for samarbejde mellem myndigheder, vandværker og interessenter på tværs af vandområde-distrikter. Der er kan peges på en national koordinering af vandindvinding på tværs af vandområdedistrikter.

## Vandkvalitet og –kvantitet hænger sammen

Overvågningsprogrammet for grundvand viser, at 20 % af det øvre grundvand er forurenet med nitrat og pesticider over grænseværdien og at ca. halvdelen af de øvre filtre viser tegn på påvirkning. I dybder større end ca. 50 m er kun en ringe del af grundvandet forurenet. Grundvandsdannelsen i en dybde på 30-50 m er udvalgt som en indikator for, hvor meget rent grundvand, der er til rådighed. Det vurderes, at der kan tages ca. 1/3 af grundvandsdannelsen i denne dybde, uden at det medføre forøget risiko for forurening fra øvre lag eller for frigivelse af stoffer som følge af grundvandssænkning. To indikatorer beskriver grundvandsressorens størrelse med udgangspunkt grundvandsdannelse til dybereliggende magasiner.

Forureningen af det øvre grundvand har central betydning for både kvaliteten af det fremtidige drikkevand, som for en væsentlig del hentes fra større dybde, men også for kvaliteten af det vand der her og nu strømmer til vandløb og søer. På grund af forureningen af det øvre grundvand, skærpes grænserne for hvor meget vi kan pumpe op og fjerne fra strømmen af rent grundvand fra dybere magasiner til vandløb og søer. Det vurderes, at der kan tages ca. 1/10 af middelfstrømningen i vandløb, som består af drænafstrømning og grundvandsafstrømning fra både øvre og dybere magasiner). En acceptabel påvirkning af minimumsvandføringen i sommerperioden (baseflow) i vandløb, som domineres af grundvandsafstrømning fra både øvre og dybere magasiner, vurderes i forhold til fastsatte recipientmålsætninger for de enkelte vandløbsstrækninger (5, 10, 15, 25 og 50 % påvirkning i forhold til referencesituation "uden oppumpning"). To indikatorer beskriver ressorens størrelse med udgangspunkt i maksimal påvirkning af grundvandsafstrømning til vandløb  
Klimavariationer betyder at grundvandsdannelsen og påvirkningen af især middelfstrømningen har betydelige tidlige variationer, der skal tages højde for i ressourcetureringen. Dette er specielt vigtigt for Nordsjælland og i Vestjylland, men spiller overalt i landet en vigtig rolle, når udviklingen i det øvre grundvand og i fx vandløb skal analyseres.

Vandforvaltningen har behov for at kunne vurdere ressorens størrelse på forskellige skalaer (national, vandområdedistrikt-VOD, områder med særlige drikkevandsinteresser-OSD, indsatsplan- og markniveau). Den nationale vandressourcemodel kan sige noget kvalificeret om vandkredsløbet og ressorens størrelse på en skala fra 50-100 km<sup>2</sup> og opefter - på landsplan og for VOD skalaen, samt bidrage som "referenceramme" (konceptuel model, randbetingelser, parameterverdier, grundvandsdannelse mv.) for vurderinger på mindre skala. Modellen er ikke detaljeret nok til at beskrive stoftransport generelt.

## Ferskvandskredsløbets tidslige variationer

Vandbalancen for et opland kan udtrykkes ved en vandbalanceligning hvor nedbør balanceres af summen af de øvrige led i vandbalancen dvs. aktuel fordampning, afstrømning i vandløb, underjordisk afstrømning, oppumpning til vandindvinding og ændret magasinering i rodzonen og undergrunden. Der er betydelige usikkerheder på opgørelse af vandbalancen på oplandsbasis, anslået til +/- 50 mm/år, som følge af usikkerhederne på de enkelte led.

De nye korrektionsværdier for nedbør må anses at være behæftede med en vis usikkerhed, idet de endnu er så nye, at de ikke har været testet i vandbalancestudier, eller valideret mod et større uafhængigt dansk datasæt. Det gælder især for korrektion af nedbør der falder som sne, som slår kraftigt igennem på korrektionsværdierne for vintermånederne. Selvom punktværdierne, med ovennævnte forbehold overfor korrektionsværdierne må anses for at være nøjagtige, er der desuden en betydelig usikkerhed knyttet til areal-værdier. For Susåens opland er beregnet usikkerheder på arealnedbøren af størrelsesordenen 60% på daglige værdier, 10 % på månedsværdier og 6 % på årlige værdier.

De hyppigst anvendte metoder for beregning af aktuel fordampning ud fra referencefordampning har haft som forudsætning, at referencefordampningen har været et mål for den maksimale fordampning. Det har imidlertid vist sig, at de fleste afgrøder i perioder kan have en fordampning som er 10-20 % større end referencefordampningen. Det vil sige at det er nødvendigt at benytte overfladekoefficienter, som varierer med afgrøde og med årstid. Vidensgrundlaget med hensyn til hvordan forskellige afgrøder fordamper er stadig mangelfuldt. Der er en betydelig usikkerhed knyttet til estimeringen af disse koefficienter. Hertil kommer at fordampningen for visse overfladetyper, specielt skove og vådområder, er dårligt undersøgt. Desuden sker der løbende en ændring af landbrugsafgrøderne så høstudbyttet i dag er øget med ca. 30 % indenfor få årtier (i foderenheder pr. ha). Det er ikke tilstrækkeligt belyst hvorledes dette forhold eventuelt påvirker fordampningen. Usikkerheden på aktuel fordampning er estimeret til 10 % på årsbasis.

Usikkerheden på afstrømning vurderes at være væsentligt lavere end usikkerheden på nedbør og fordampning, med usikkerheder på årsværdier på op til 5 %, og 5-10 % på daglige værdier for større oplande.

Perioden 1991-2000 indeholder betydelige korttidsvariationer i klima og nedbør med våde og tørre år, som er mere sjældne end forventelig i en tiårs periode. Der er således store variationer med et enkelt meget tørt år (1996) og tre meget våde år (1994, 1998 og 1999). Det tørre år ligger på niveau med de tørre år som optræder med en gentagelsesperiode på ca. 50 år. De tre våde år er de vådeste i hele den historiske tidsserie.

Det gennemsnitlige niveau for nedbør og afstrømning i perioden 1991-2000 er sammenlignelig med 1980'erne, en tiårsperiode med den højeste registrerede nedbør og afstrømning. Til sammenligning var nedbøren i perioden i slutningen af 1800-tallet 15 % lavere.

Vinternedbøren i perioden 1991-2000 var højere end vinternedbøren for perioden 1961-90. I det hele taget har vinternedbøren siden 1961 været højere end i tidligere årtier.

## Ferskvandskredsløbet regionale variation

Nedbøren er for perioden 1991-2000 størst i Sydvestjylland (ca. 1100 mm/år) og mindst på øerne (650-700 mm/år) i kystnære områder. Det centrale Sjælland har nedbør over 750 mm/år. For et tørt år som 1996 var nedbøren i Sydvestjylland kun 750 mm/år og 450-500 mm/år for kystnære dele af Sjælland.

Vinternedbøren (1/10-1/4) er en god indikator for grundvandsdannelsen, idet fordampningen er begrænset. For Sjælland var vinternedbøren for 1991-2000 ca. 400 mm/år, dvs. at overskudsnedbøren udgjorde ca. 300 mm/år.

Forskellen mellem referencefordampning bestemt ved Makkink og Penman, som udgør forskellen på de nye anbefalinger fra DFJ, DMI, DMU og GEUS, og det anvendte i DK-modellen, var for perioden 1991-2000 ca. 70-90 mm/år for Syd- og Østjylland, ca. 30-40 mm/år for Nordjylland, 60-80 mm/år for Fyn og 40-60 mm/år for Sjælland og Bornholm.

Middelafstrømningen for Danmark udgør ca. 320 mm/år. I de østlige dele af landet dog kun ca. 200 mm/år, mens den visse steder i vest er på 400 mm/år. Minimumsafstrømningen baseret på medianminimum udgør i dele af Midt- og Vestjylland ca. 125 mm/år, hvorimod den for store dele af øerne er nede på ca. 30 mm/år.

For at opgøre vandressourcens størrelse mere detaljeret er der behov for at teste de nye anbefalinger nærmere i de kommende år, samt betydning af brug af klimadata fra 10x10 km og 20x20 km grid, i forhold til det benyttede 40x40 km grid.

## Konstruktion, kalibrering og validering af DK-model

Der er opstillet en integreret grundvands- og overfladevandsmodel med 1x1 km grid for Danmark dækkende 43,000 km<sup>2</sup>. Modellen består af et relativt simpelt rodzonemodul til beregning af nettonedbør og en detaljeret og omfattende tre-dimensional grundvandsmodel, til simulering af grundvandsdannelse og trykniveau i forskellige geologiske lag. Modellen består af et relativt detaljeret overflademodul, der beskriver afstrømning i dræn og vandløb, herunder udveksling mellem grundvand og vandløb. Modellen er baseret på MIKE SHE / MIKE 11 modelsystemet og udnytter de fleste af de data der foreligger i de nationale databaser vedrørende geologi, jordart, topografi, vandløbssystem, klima og hydrologi.

Konstruktionen af en af hydrologisk model af DK-modellens kompleksitet, som indeholder så mange data om geologi, jordart, arealanvendelse, topografi, vandløbssystem, oppumpning og klima, har været særdeles omfattende og udfordrende, fordi alle disse data ikke har været sammenstillet på denne måde før, og derfor ikke nødvendigvis indebærer gensidig konsistens. Formålet med et sådant modelstudie er at udvikle et værktøj til efterfølgende anvendelse i praktisk vandressourceforvaltning, i dette tilfælde til opgørelse af de udnyttelige grundvandsressourcer. En meget vigtig sidegevinst ved et sådant modelstudie er den mulighed som gennemførelsen af hele processen giver for en kvalitetssikring af de hydrologiske data og procesforståelse på stor skala. Der er også eksempler hvor arbejdet med modellen gav vigtig feed-back til problemer i den geologiske tolkning eller problemet med at

få vandbalancen til at gå op (her var resultater fra DK-modellen medvirkende til at DJF, DMU, GEUS og DMI valgte at udarbejde nye anbefalinger til nedbør og fordampning, bl.a. baseret på Makkink i stedet for Penman).

Det endelige resultat af DK-modellen viser, at det har været muligt at konstruere en kombineret grundvands- og overfladevandsmodel med en horisontal maskevidde på  $1 \times 1 \text{ km}^2$ , som giver pålidelige resultater med hensyn til simulering af trykniveau og afstrømning. Modellen er parat til operationel anvendelse, fx opgørelse af grundvandsdannelse til magasiner i forskellig dybde, samt vurdering af følgevirkninger af forskellige vandindvindingsstrategier på regional skala. Desuden er modellen et brugbart værktøj til analyse af klimaændringers indvirkning på de udnyttelige vandressourcer, herunder drikkevandsressourcer. Det skal imidlertid understreges at modellen kun er dokumenteret anvendelig til simuleringer på regionalskala eller oplandsskala ( $> 50\text{-}100 \text{ km}^2$ ). Skalaproblematikken medfører, at det ikke er muligt at benytte en storskala model som DK-modellen, til simulering af lokal skala. Fx er det ikke muligt at benytte DK-modellen til vurdering af strømningsveje og opholdstider indenfor OSD områder.

Endnu resterer Bornholm, idet modellen er opstillet for Bornholm men, kalibrering og validering mangler.

Modellen for Sjælland opfylder som helhed de opstillede valideringskriterier, men en enkelt delmodel (Sydsjælland) har problemer med simulering af trykniveau i forhold til observationer. Modellerne for Østjylland og Nordjylland opfylder ikke kravet til simuleret afstrømning i forhold til observationer ved faste målestationer, men vurderes på trods heraf rimeligt pålidelige, idet beskrivelsen af grundvandsafstrømningen til vandløb, bl.a. minimumsafstrømning, er god.

Alle øvrige delmodeller opfylder de opstillede nøjagtighedskriterier i forhold til afvigelser mellem simuleret og målt trykniveau (udfra pejledata), afstrømning (udfra daglige værdier ved vandføringsmålestationer) og gennemsnitlige afstrømningsvolumener i vandløb. Det er vurderet at en opfyldelse af valideringskriterierne i problemområderne vil kræve en revision af den konceptuelle model, evt. suppleret med forbedrede klima inputdata (fx  $20 \times 20 \text{ km}$  grid).

## **Bedre overvågning af vandkredsløbet i NOVANA og i relation til Vandrammedirektivet**

Vandrammedirektivet stiller nye krav om monitorering af vandkredsløbet.

Fejl i opgørelserne af vandbalancen, medfører betydelige problemer for vurdering af vandbalance, grundvandsdannelse og dermed også nitratudvaskning.

Med hensyn til Vandrammedirektivet skal overvågningsforløbet udvikles, så det kommer til at hænge bedre sammen set i en vandkredsløbssammenhæng og så det fokuserer mere på større oplande (VOD). Overvågning af vandbalance og grundvandsdannelse kan ske

ved en kombineret anvendelse af monitorering og modellering. En måde er at fastholde DK-modellen som en referenceramme.

I NOVA 2003 sker der en overvågning af de enkelte elementer i vandbalancen (GRUMO, LOOP, vandværksboringer mv.). Disse delprogrammer er imidlertid kun til en vis grad integrerede. Vandværksboringer og en del af boringerne i GRUMO har fokuseret på det dybe grundvand, der ofte er for gammelt til at registrere ændringer i forureningsbelastningen fra terrænoverfladen de sidste 15 år. I GRUMO og LOOP søges der med NOVANA en højere grad af fokusering på det unge grundvand, for at sikre viden om effekterne af de sidste 15 års handlingsplaner til at nedbringe grundvandsforureningen.

Det er i NOVANA programmet målsat at styrke kvantitetsaspektet, med en udvidelse af overvågningen af ferskvandets kredsløb og grundvandsdannelsen.

NOVANA programmet består af en række delprogrammer for overvågning af atmosfæren, punktkilder, landovervågning, grundvand, vandløb, søer, marine områder, arter og terrestriske naturtyper. Programmet skal overordnet dokumentere effekten af nationale miljø- og naturhandlingsplaner.

En række data skal anvendes på tværs af programmet. Det drejer sig om f.eks. klimatiske data, data om arealudnyttelsen, data om husdyrhold i forskellige oplande m.v. Disse data må tilvejebringes på tværs af programmet.

Overvågningen af vandbalance og grundvandsdannelse skal ske ved en kombineret anvendelse af målinger og modellering. Ved at integrere overvågning og modellering nationalt såvel som regionalt af grundvand og overfladevand kan der sikres en konsistent og koordineret overvågning og opgørelse af vandbalancen på landsplan.