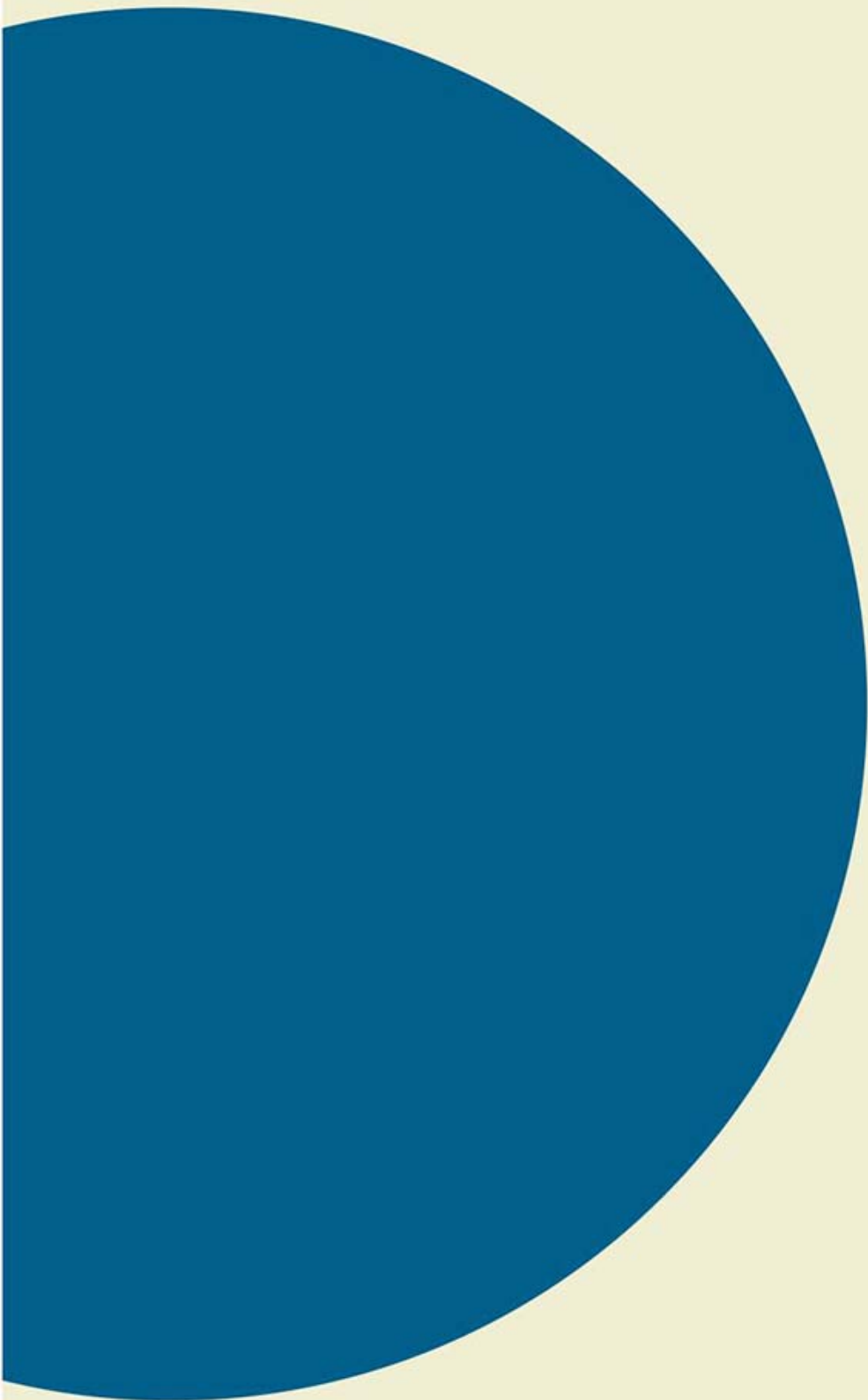


Optimering af DK-model for Københavns Energi

Troldborg, L. & Henriksen, H. J. (eds)



DANMARKS OG GRØNLANDS GEOLOGISKE UNDERSØGELSE
MILJØMINISTERIET



G E U S

Optimering af DK-model for Københavns Energi

Troldborg, L. & Henriksen, H. J. (eds)

INDHOLDSFORTEGNELSE

1.	FORORD	7
2.	SAMMENFATNING	11
3.	INTRODUKTION	14
3.1	Formål	15
3.2	Modelbenyttelse	16
3.3	Arbejdsgruppemøder: remote sensing, habitatmodeller og eksamensprojekt i oplandet til Slangerup vandværk.....	17
4.	HYDROGEOLOGISK TOLKNINGSMODEL	18
4.1	Grundvandssystemet (antagelser om reservoirforhold)	18
4.2	Hydrologiske afgrænsninger (randbetingelser)	22
4.2.1	Modeloverflade, dræn og vandløb	22
4.2.2	Vandudveksling mellem grundvand og vandløb (indre randbetingelser).....	23
4.2.3	Modelrand og impermeabel bund (ydre randbetingelser).....	23
4.2.4	Vurdering af nettonedbør og grundvandsdannelse	24
4.3	Begrænsninger	27
4.4	Effekt på model.....	28
5.	MODELOPSTILLING	29
5.1	Vandløbs opsætning.....	31
5.2	Indvindinger	32
6.	KALIBRERING	34
6.1	Parameter fastsættelse.....	34
6.2	Fastlæggelse af nøjagtighedskriterier	35
6.3	Performance sammenstilling	37
7.	SIMULERINGER	40
7.1	Metodik	40
7.2	Grundvandsdannelser	42
7.3	Vandløbsafstrømninger	42
7.4	Afsænkninger af trykniveauet under kalkoverfladen	42
7.5	Indikator beregninger.....	42
7.5.1	Valg af reference scenarie for simuleringskørsler	44
7.5.2	Definition af udnyttelig grundvandsressource	44
7.5.3	Metodik for opgørelse af udnyttelig ressource i relation til grundvandsdannelse (Indikator 1 og 2).....	45
7.5.4	Metodik for opgørelse af udnyttelig ressource i relation til vandløbspåvirkning (Indikator 3 og 4).....	46
7.6	Fraktil beregninger.....	48
7.7	Beregninger af afsænkninger	49

8.	RESULTATER	50
9.	HAVELSE – DELOMRÅDE 1	57
9.1	Område præsentation	57
9.1.1	Indvindinger	57
9.1.2	Vandløbssystem	58
9.1.3	Overordnet vandbalance	60
9.1.4	Geologisk konceptualisering	61
9.2	Model performance	63
9.3	Indikator mål og ressource opgørelse	65
9.4	Baggrundstal	67
9.4.1	Grundvandsdannelse og middel afstrømning	67
9.4.2	Sommervandføring	67
9.4.3	Afsækning i forhold til kalkoverfladen	68
9.4.4	Varighedskurver for vandføringsstationer	68
10.	VÆREBRO - DELOMRÅDE 2	73
10.1	Område præsentation	73
10.1.1	Indvindinger	73
10.1.2	Vandløbssystem	75
10.1.3	Overordnet vandbalance	76
10.1.4	Geologisk konceptualisering	78
10.2	Model performance	80
10.3	Indikator mål og ressource opgørelse	81
10.4	Baggrundstal	83
10.4.1	Grundvandsdannelse og middel afstrømning	83
10.4.2	Sommervandføring	83
10.4.3	Afsækning i forhold til kalkoverfladen	84
10.4.4	Varighedskurver for vandføringsstationer	84
11.	ISLEVBRO – DELOMRÅDE 3	89
11.1	Område præsentation	89
11.1.1	Indvindinger	89
11.1.2	Vandløbssystem	91
11.1.3	Overordnet vandbalance	92
11.1.4	Geologisk konceptualisering	94
11.2	Model performance	96
11.3	Indikator mål og ressource opgørelse	98
11.4	Baggrundstal	99
11.4.1	Grundvandsdannelse og middel afstrømning	99
11.4.2	Sommervandføring	100
11.4.3	Afsækning i forhold til kalkoverfladen	100
11.4.4	Varighedskurver for vandføringsstationer	101
12.	THORSBRO – DELOMRÅDE 4	105
12.1	Område præsentation	105

12.1.1	Indvindinger	105
12.1.2	Vandløbssystem	106
12.1.3	Overordnet vandbalance	108
12.1.4	Geologisk konceptualisering.....	109
12.2	Model performance	112
12.3	Indikator mål og ressource opgørelse	113
12.4	Baggrundstal	115
12.4.1	Grundvandsdannelse og middel afstrømning	115
12.4.2	Sommervandføring	116
12.4.3	Afsænkning i forhold til kalkoverfladen	116
12.4.4	Varighedskurver for vandføringsstationer	117
13.	LEJRE – DELOMRÅDE 5	121
13.1	Område præsentation	121
13.1.1	Indvindinger	121
13.1.2	Vandløbssystem	122
13.1.3	Overordnet vandbalance	124
13.1.4	Geologisk konceptualisering.....	126
13.2	Model performance	128
13.3	Indikator mål og ressource opgørelse	131
13.4	Baggrundstal	133
13.4.1	Grundvandsdannelse og middel afstrømning	133
13.4.2	Sommervandføring	134
13.4.3	Afsænkning i forhold til kalkoverfladen	135
13.4.4	Varighedskurver for vandføringsstationer	135
14.	REGNEMARK – DELOMRÅDE 6	143
14.1	Område præsentation	143
14.1.1	Indvindinger	143
14.1.2	Vandløbssystem	144
14.1.3	Overordnet vandbalance	146
14.1.4	Geologisk konceptualisering.....	147
14.2	Model performance	150
14.3	Indikator mål og ressource opgørelse	152
14.4	Baggrundstal	154
14.4.1	Grundvandsdannelse og middel afstrømning	154
14.4.2	Sommervandføring	155
14.4.3	Afsænkning i forhold til kalkoverfladen	156
14.4.4	Varighedskurver for vandføringsstationer	156
15.	PERSPEKTIVERING	163
15.1	Environmental flow og habitatmodeller (Bente Clausen).....	163
15.2	Input fra remote sensing (Eva Bøgh)	166
15.3	Eksamensprojekt (Maria Ondracek).....	168
16.	REFERENCER	170

1. FORORD

Nærværende rapport er udarbejdet for og finansieret af Københavns Energi (KE) og omfatter:

- Tilpasning af DK-modellerne Sjælland Nord, Syd og Vest til DK-model Sjælland KE
- Simulering af ferskvandets kredsløb for udvalgte scenarier (vandindvinding)
- Ekspert gruppe workshop med henblik på mulig integration af data og modeller for hydrologi og habitater

Begrebet integration, som kommer fra det latinske udtryk *integrare* 'gøre hel', er den proces der består i at forene adskilte enheder for at skabe en større helhed. I integreret vandressourceforvaltning skal integrationen af forvaltningen af ferskvandets kredsløb ske således at overfladevand og grundvand tænkes som en del af den samme helhed. Det vil sige, at hvis man pumper grundvand op vil det også have nogle konsekvenser i overfladevandssystemet, og hvis klimaet ændres, så vil det også modsvares af en ændret grundvandsdannelse og minimumsafstrømning som planlægningen skal tage højde for.

Integreret vandressourceforvaltning omfatter mere end blot det at grundvand og overfladevand skal forvaltes som en helhed. Med integration menes samtidig at forvaltningen skal tage hensyn til de samlede konsekvenser i forhold til f.eks. planlægning af byudvikling, arealanvendelse, regionplanlægning og vandindvinding. I praksis skal denne integration ske ved implementeringen af EU's Vandrammedirektiv, hvor såvel økologiske, hydrologiske, økonomiske og sociale konsekvenser skal inddrages i forbindelse med opstilling af miljømål, design af vandplaner og gennemførelse af disse. Efterfølgende skal der ske en evaluering af implementeringen med henblik på vurdering af yderligere tiltag til næste planlægningscyklus (f.eks. en vurdering af størrelsen af rammerne for nye indvindingstilladelser). Samtidig skal der også på en anden måde ske en integration, idet såvel interessenter som borgere i forskellig grad skal involveres i planlægnings- og beslutningsprocessen.

Vandrammedirektivet foreskriver at vandindvindingen skal ses i et mere overordnet økonomisk og miljømæssigt perspektiv. Et eksempel på en sådan perspektivering kunne være en vurdering af de økonomiske og miljømæssige konsekvenser af flytning af vandindvindingen fra nuværende kildepladsers placeringer til nye områder f.eks. i stor afstand fra København. For det første kan dette først komme på tale, hvis der foreligger ekstra grundvandsressourcer, der endnu ikke er fuldt udnyttede, og hvis det i øvrigt er en økonomisk realiserbar og fornuftig løsning. Hertil kommer den "nye" miljøpåvirkning af omgivelserne af den nye kildepladsplacering. Der er desuden andre overvejelser som også skal tages i betragtning, f.eks. aktuelle og fremtidige vandbehov og forsyningssikkerheden i Hovedstadsregionen.

Beregninger foretaget med DK-modellen i forbindelse med rapporten "Ferskvandets Kredsløb" (Henriksen og Sonnenborg, 2003) pegede på, at det ikke var muligt at flytte en væsentlig del af indvindingen til andre områder af Sjælland (se figur 1). I forbindelse med Ferskvandets Kredsløb og simuleringerne med DK-modellen blev beregningerne foretaget på grundlag af den nuværende vandindvindingsstruktur (år 2000 indvindinger), og der forelå kun i meget begrænset omfang en vurdering af udnyttelig ressource ved alternative kildepladsplaceringer. Den udnyttelige ressource ved ændret indvinding (f.eks. neddrøsling af

de mest problematiske indvindinger og opjustering af de kildepladser, hvor der fortsat er en "ressource" i forhold til vandløbspåvirkning af kvalitetsmæssig bæredygtig ressource udtrykt ved grundvandsdannelsen til de primære magasiner f.eks. i Nordsjælland), er også kun belyst i begrænset omfang i rapporten.

Ferskvandets Kredsløb havde til formål at *forklare* den udnyttelige vandressources størrelse på landsplan og dens fordeling i forskellige regioner. Denne opgave blev i Ferskvandets Kredsløb løst ved at der først blev defineret en referencesituation, der blev brugt som udgangspunkt ligesom en række forudsætninger blev defineret, hvorved den udnyttelige ressource kunne 'opgøres'. Disse forudsætninger, der havde baggrund i tilstødende videnskaber og fra administrationen, var i vid udstrækning knyttet til en anden kontekst, f.eks. vandløbsmålsætninger udviklet i forhold til kvalitative mål for habitater blev brugt som forudsætning for målsætninger til vandføringer. Det var med Ferskvandets kredsløb for første gang gjort et forsøg på at integrere disse i en fælles referenceramme (DK-modellen) til et mål for hvor meget det hydrologiske kredsløb vil kunne påvirkes, uden skadevirkning på dyr, planter og vandkvalitet. Opgørelsen med DK-modellen var dog ikke på nogen måde baseret på nogen nærmere habitatbaserede eller stoftransportbaserede vurderinger, men blev alene foretaget med 4 udvalgte indikatorer (2 defineret ud fra dybere grundvandsdannelse og 2 defineret ud fra afstrømning i vandløb).

Dermed er grundlaget i Ferskvandets Kredsløb en forenklet betragtning som imidlertid er tilstrækkelig god, så længe opgaven gælder en ensartet vurdering af den udnyttelige vandressource og hvor meget grundvand der kan indvindes på bæredygtig vis på nationalt plan. Herved fremkom tal for udnyttelig ressource for 11 delområder (typisk ca. 3.000-5.000 km²) og 50 underområder (typisk ca. 500-2.500 km²). Den udnyttelige grundvandsressource udgjorde på disse forudsætninger i alt ca. 1 mia. m³/år, og vurderes på landsplan at være forbundet på en usikkerhed på +/- 10 %. For delområder og underområder er usikkerheden noget større. Ferskvandets Kredsløb gav dermed et billede, som giver mening på den nationale skala og i forhold til de forudsætninger som indikatorerne i Ferskvandets Kredsløb var konstrueret ud fra. Men opgørelsen er på den anden side ikke direkte brugbar til den praktiske forvaltning af vandressourcen på mindre skala.

Forklaringen på dette tilsyneladende paradoks er, at DK-modellen som et værktøj til belysning af ændringer i vandets kredsløb er et brugbart værktøj både på national skala og som rammebetingelse for vurderinger på mindre skala, hvorimod resultaterne af de fire indikatorer, ikke umiddelbart er brugbare på den mindre skala, idet indikatorerne er skalaafhængige. Denne erkendelse var faktisk først en realitet et langt stykke tid inde i processen, og efter afholdelse af et par af de workshops som var et væsentligt bidrag til optimeringen af DK modellen for Københavns Energi, og efter test af indikatorerne på nogen noget mindre oplande.

I disse workshops deltog vandressourceforskere fra GEUS, habitatspecialister fra DMU og Københavns Kommune, en remote sensing forsker fra RUC og vandressourceforvaltere fra Københavns Energi. Samtidig var der tilknyttet et specialeprojekt der sideløbende kiggede på problemstillingen for et mindre opland med en modelopstilling på mindre skala og således fungerede som værksted og illustration af mulighederne for at koble remote sensing, habitatmodeller og hydrologiske modeller samme til en helhed (Ondracek, 2005).

Ved opstart på opgaven med optimering af DK model for Københavns Energi var det GEUS' forventning at opgaven kunne bestå i at foretage simuleringer af den udnyttelige

ressource ved brug af de fire indikatorer, blot tilpasset en mindre skala, svarende til f.eks. kildepladsoplande til KE's kildepladser. GEUS havde derudover forventninger om at kunne integrere og koble den hydrologiske model med habitatmodeller. På en række områder lykkes det at skabe bedre integration. For det første lykkedes det at integrere tre delmodeller for Sjælland i en model, som gav en afgørende forbedret simulering af forholdene specielt i de tre tidligere modellers 'grænseområder' (hhv. DK model Nord, Vest og Syd).

Med hensyn til integrationen af den hydrologiske model og habitatmodeller viste det sig imidlertid, at der her er tale om to helt forskellige verdener som ikke umiddelbart kan kobles. Det lykkedes dog at integrere de forskellige forståelser fra habitatmodel- og grundvandsmodelsider i et forslag om integration i nogen 'koblingspunkter'. Det vil sige, at der blev etableret et nyt koncept i DK modellen for KE bestående af et udpeget net af vandløbspunkter, som var særligt interessante monitoringspunkter til at "tage pulsen på vandløbspåvirkningen". Monitoringspunkter kan bruges til at vurdere om reduktionen i vandføring og dermed vanddybde, hastighed mv. var acceptabel ud fra krav til sådanne parametre til f.eks. ørreder. Den integration i koblingspunkter betød samtidig at i stedet for som tidligere at bestemme ændringer i vandføringer f.eks. ved minimum, så blev det mere nærliggende at anskue problemstillingen i forhold til 'det fulde afstrømningsregime' Med andre ord det fulde afstrømningsregime udtrykt ved ændrede vandføringer for en vifte af fraktilværdier (5, 10, 25, 50, 75, 90 og 95 % fraktiler) eller ændret 'varighedskurve' for de valgte vandindvindingsscenarier der blev foretaget modelsimuleringer for. Samtidig søgte vi ud fra eksisterende kravværdier til disse monitoringspunkter med udgangspunkt i amternes databaser, at belyse hvorvidt disse kunne overholdes ved de forskellige scenarier, og i hvilket omfang kravværdier og umiddelbart kunne relateres til den hydrologiske model.

For at kunne integrere hydrologi og habitater, var vi paradoksalt nok nødt til at 'fragmentere' den integrerede model til en analyse i bl.a. 'koblingspunkter'. Vi søgte primært, ikke at *forklare* hvor stor den bæredygtige ressource var, men derimod at *illustrere* og *forstå*, hvilke ændringer i det hydrologiske kredsløb, der ville indtræde ved disse 'vandløbsmonitoringspunkter' under de opstillede alternative scenarier. Man kan sige, at vi omdefinerede opgaven til ikke at sige noget om bæredygtighed, men i stedet et mere ydmygt mål, nemlig at *illustrere* hvordan variable i det hydrologiske kredsløb f.eks. grundvandsdannelse, grundvandsstand og vandføringen blev påvirkede i de enkelte scenarier. Samtidig viste det sig hensigtsmæssigt at foretage en grundig beskrivelse af hele grundlaget for simuleringerne, ved at udarbejde en ret detaljeret grafisk illustration for hvert 'interesseområde' (hver af de afgrænsede kildepladsoplande). Sidstnævnte indeholder, ikke blot resultater for vandbalancen men også baggrundsmateriale i form af kort over koblingspunkter, geologisk tolkning, afvigelser mellem simuleret og målt vandføring osv. som så kunne indgå i den videre dialog omkring rapporten i forhold til myndigheder og øvrige interessenter.

En anden vigtig konklusion på disse lidt aktionsforskningsprægede workshops vi afholdte var, at der ikke længere var en fuldstændig stringent adskillelse mellem subjekt og objekt, forsker og genstandsfelt, idet vandressourceforvaltere og forskere i fællesskab i en 'fokuseret dialog' nu søgte at integrere og forstå problemstillingen i fællesskab. Dette gav nye måder at anskue problemstillingen på, som også påvirker den endelige rapport's substans. I Ferskvandets Kredsløb var genstandsfeltet (ontologien) den udnyttelige ressource på stor skala (f.eks. national, region eller underområde), baseret på en positivistisk/kritisk rationalistisk videnskabelig tilgang med dataindsamling og modellering jf. principper for opstilling, kalibrering og validering som benyttes i DK-modellen (Henriksen og Sonnenborg, 2003;

Refsgaard og Henriksen, 2004). Men samtidig var Ferskvandets Kredsløb positivistisk i den forstand, at der jo blev anvendt indikatorer for bæredygtighed baseret på induktion ud fra observationsdata (hvor er der konstateret forurening på Sjælland ved hvilken udnyttelsesgrad eller sund fornuft betragtninger om hvor stor en vandføringsreduktion der er acceptabel ved forskellige vandløbsmålsætninger hhv., 5, 10, 15, 25 og 50 % - Henriksen og Sonnenborg, 2003). Gyldighedskriteriet for indikatorerne havde imidlertid kun gyldighed på den skala de var opstillet i, og var derfor ikke umiddelbart anvendelige, til at zoome ind på et kildepladsopland, eller til at udfylde intentionerne med de 'økologiske mål', forståelse af habitatene osv. der ligger i Vandrammedirektivet. I diskussionerne ved workshops, havde vi snarere til opgave at forstå det nye genstandsfelt på den mindre skala, via en gensidig kommunikation i workshops ud fra problemstillinger som forskere og forvaltere delte med hinanden (eller var uenige om), men i begge tilfælde berigende for dialogen og en øjenåbner for hidtil ukendte eller utænkte problemstillinger (f.eks. problemer med oversvømmelser, vanskeligheder ved at koble forskellige modeller i praksis, en fremvoksende flertydighed som skulle afklares osv.).

Optimering af DK-modellen for Københavns Energi er derfor på den ene side en traditionel naturvidenskabelig forskningsopgave med det formål at forklare hvordan vandets kredsløb påvirkes ved en række alternative indvindings-scenarier, med en epistemologi baseret på en hydrologisk modellering på basis af geologiske og hydrologiske data. Derudover var der i processen i workshops nogen samfundsvidenskabelige tilgange (Fuglsang og Olsen, 2005). Skiftet i skala fra underområde til kildepladsopland og i fokus på habitatpåvirkning og problemstilling, og frem for alt involveringen af vandressourceforvalteren i undersøgelsen af genstandsfeltet, introducerer samlet set et mere komplekst genstandsfelt, hvor der udover den objektive verden, også er sociale og subjektive faktorer i spil i undersøgelsen. Integreret vandressourceforvaltning er en bred tilgang der forudsætter såvel naturvidenskabelig som samfundsvidenskabelig videnskabelighed. Både i hydrologi, økologi og samfundsvidenskab er der imidlertid det til fælles, at man ikke kan forstå delen, hvis man ikke forstår helheden, og man kan ikke forstå helheden, hvis man ikke kan forstå delen (den hermeneutiske cirkel). Dette kommer til udtryk både omkring koblingen af hydrologisk model og habitatmodel, og i den fokuserede dialog i workshoppen, omfattende både subjekt (forskere) og objekt (hydrologi og vandressourceforvaltere) i et gensidigt og sammenhængende hele. Endelig udtrykker cirklen en tidslig struktur (fortid, nutid og fremtid), altså at ændringer i vandkredsløb har et væsentligt tidsperspektiv, og at man kun kan forstå effekter og foretage forandringer med dette for øje.

Dermed er epistemologien også en anden i optimering af DK model Københavns Energi, end den var det i Ferskvandets Kredsløb, idet det efter nogle indledende overvejelser blev klart, at det handlede mere om forståelse, fortolkning og udlægning, end det kunne handle om forklaring af den bæredygtige ressource. Metoden gik kort sagt ud på, ved kombination af modellering og workshops, at opnå indsigt i meningen, hvor gyldighedskriteriet altså var nogen modelscenarier, der kan testes for rationalitet i en dialog. Teknikken i workshops var at deltagerne skulle udvise åbenhed og evne til at stille spørgsmål og sætte fordomme på spil, parallelt med at der var en fokuseret dialog omkring modelsimuleringer, kobling til habitater og andre problemstillinger. I den forstand er optimeringen af DK-modellen (KE-modellen) et bud på integreret vandressourceforvaltning der går langt videre end blot en forståelse af integration som 'værktøjsintegration' (af forskellige modeldomæner f.eks. hydrologi, habitater osv.), idet der udover integration af det objektive, altså også er tale om integration af forståelsesrammerne for de parter der deltog i opgaven.

2. SAMMENFATNING

Der er foretaget en fusionering af DK model Sjælland. Herved er de tre modeller for Nord, Vest og Syd integreret til en model der dække hele Sjælland. I den forbindelse er der indbygget et forbedret datagrundlag for oppumpninger fra Københavns Energi's kildepladser. En testkørsel har dokumenteret at den fusionerede model kan opfylde de krav til performance, der er opstillet i forbindelse med DK modellen. Ved fusioneringen er et erkendt problem med randbetingelser på Midtsjælland (i Lejre området) blevet løst, ligesom at testkørslen har vist at vandbalancen også er svagt forbedret (Fbal). Geologi og vandløbsopsætning er uændret. Der er foretaget enkelte opdateringer af målsætninger for vandløb jf. Regionplan 2005. Der er foretaget en samlet, ajourført rapportering af modelopsætningen.

Der er med den testede model foretaget nye simuleringer af vandbalancen og påvirkninger af grundvandsdannelse, afstrømning og afsenkning under kalkoverfladen, samt beregninger af udnyttelsesgrader baseret på Ferskvandets kredsløbs fire indikatorer, idet der er zoomet ind på de kildepladsoplande som Københavns Energi anvender i forvaltningen af vandressourcen i Hovedstadsområdet. Herved er afgrænset ressource oplande for 6 eksisterende vandværker: Havelse, Søndersø, Marbjerg-Islevbro, Thorsbro, Lejre og Regnemærk samt to potentielle oplande udenfor de eksisterende indvindingsoplande: Esrum og Holbæk-vest. Ved zoom ind på en mindre skala end benyttet i Ferskvandets kredsløb, opstår der imidlertid en særlig skalaproblematik, idet de pct.-værdier der benyttes er afhængige af hvilken skala man anskuer ressourceudnyttelsen i forhold til. For en enkelte indikator (indikator 4 – der vurderer udnyttelig ressource i forhold til sommerafstrømningen) er skalaproblemet særligt udtalt, og der er derfor opstillet i variant af indikator 4: indikator 4', der opgør udnyttelsesgraden ved en vægtning i forhold til grundvandstilstrømning til recipientmålsætnings-kategorier, i stedet for at basere opgørelsen på den mest kritiske kategori.

Der er foretaget simuleringer for 4 alternative scenarier: Nuværende indvinding, skalering af indvinding (0, 50, 80, 100, 120, 150 % hvor nul-indvinding udgør ref. scenario), KE-nul indvinding (KE_0) og et scenario 1 (SC_1), hvor indvinding i Slangerup og Søndersø forøges, samtidig med at Lejre og Regnemærk, drosles ned. Resultater er præsenteret på oversigtsform for grundvandsdannelse, middelfafstrømning, sommerafstrømning og udnyttelig ressource (indikator 1-4).

For hvert af de 6 eksisterende delområder er der udarbejdet en datapræsentation der omfatter en beskrivelse af vandindvindinger medtaget i modellen og placering af 'indvindingslinier' for KE's kildepladser (inkl. oppumpede vandmængder svarende til scenarier). Der for hvert opland udarbejdet en nærmere præsentation af vandløbssystem, vandløbsmålsætninger og vandføringsstationer. Overordnet vandbalance for deloplandet, geologisk profil-snit/konceptualisering, og opnået modelperformance er beskrevet, inkl. grafisk plot af fraktilværdier. Resultater for de fire indikatorer fra Ferskvandets kredsløb er beskrevet i detaljer, inkl. betydning af tør og våd klimainput for indikator 1-3, ligesom baggrundstal for grundvandsdannelse og afstrømning til vandløb for hvert år i perioden 1991-2000, giver mulighed for at analysere klimavariationens betydning for vandbalancetallene. Afsenkning af trykniveau under kalkoverfladen er beskrevet for de forskellige gennemregnede scenarier. Der er udarbejdet varighedskurver for de vandføringsstationer der er særligt udvalgte til belysning af vandføringspåvirkning ved simuleringerne.

Resultaterne er søgt perspektiveret med særlig fokus på påvirkning af afstrømningsregimet som følge af ændret vandindvinding (både små og store vandføringer). Vandrammedirektivet sætter nye bindende krav til overholdelse af opstillede målsætninger og det er derfor relevant at overveje hvordan sådanne forhold kan forvaltes og om der foreligger et modelværktøj der vil kunne bidrage hertil, som kobler grundvands- og hydrologiske modeller med habitatmodeller og praktisk tilgængelige og relevante data for vandløb. Denne problemstilling er behandlet gennem en møderække med deltagelse af Københavns Energi, Københavns Kommunes Miljøkontrol, GEUS og to eksperter: Bente Clausen, DMU (Habitatmodeller) og Eva Bøgh, RUC (Remote sensing). Endelig blev der parallelt med projektet gennemført et eksamensprojekt hvor der for Havelse oplandet blev opstillet en detaljeret grundvands- overfladevandsmodel (MIKE SHE/MIKE 11), og simuleringer af ændret vandindvinding og konsekvenser for afstrømning og oversvømmelsesrisiko (Maria Ondracek, DTU), som indgik som et praktisk tema i diskussionerne i arbejdsgruppen.

Formålet med arbejdsgruppe møderne var at diskutere mulige praktiske løsninger på de udfordringer som Vandrammedirektivet stiller til udnyttelse af grundvandsressourcen og vurdering af påvirkninger af vandløb fra bl.a. grundvandsindvinding. Umiddelbart kunne generaliserede habitatmodeller koblet til hydrologiske modeller være en mulig fremgangsmåde. Diskussionerne har vist, at:

En kombination af kvantitative modelsimuleringer med den hydrologiske model; habitatsimuleringer for udvalgte vandløbspunkter og kvalitative vurderinger af betydning af fysiske forhold (slyngninger, fragmentering, dybde, strømningsbredde og hastighed), betydning af bundsubstrat og sedimenttransport, betydning af spildevand og vandkvalitet (bl.a. organisk stof, ilt, temperatur, pH og ammonium, miljøfremmede stoffer mv.) er vigtige parametre for en samlet vurdering af de økologiske forhold i habitatene; Dette vil kræve noget dialogværktøj som kan føre til en nuancering af problemstillingen omkring vandindvinding, idet forskellige tiltag i princippet vil kunne føre til samme målopfyldelse: f.eks. kunne en indsats i forhold til vedligeholdelse og restaurering af vandløb, eller indsats overfor spildevandsudledning give ligeså stor effekt som en reduceret oppumpning fra grundvandet, og måske samtidig kunne gennemføres for væsentligt færre omkostninger; Evt. kunne man tænke sig kravværdier for en række af ovenstående parametre i udvalgte vandløbspunkter;

Der er åbenlys mangel på erfaringer med habitatmodeller for danske forhold. Der foreligger ingen brugbare feltdata og der er et stort behov for at indsamle data, der kan understøtte brugen af habitatmodeller specielt omkring de målestationer der kunne tænkes at indgå i et fremtidigt 'moniteringsnet'. Først når der foreligger en større brugbar datamængde vil der kunne eksperimenteres med generalisering af input til habitatmodeller til brug for nærmere vurdering af ressourcen på landsplan (f.eks. Sjælland). Habitatmodeller vil ikke kunne stå alene, der er behov for yderligere at overveje koblinger mellem habitatmodeller, grundvandsmodeller og ekspertvurderinger (f.eks. betydning af forurening osv.).

Den hydrologiske model for Sjælland kan give input til vandføring ved et net af vandløbspunkter hvorved f.eks. 5, 10, 50, 90 og 95 % fraktilværdier vil kunne simuleres for udvalgte scenarier. Ønskes belysning af mere nøjagtige ekstremværdier, f.eks. min eller max afstrømning, er der behov for en mere detaljeret hydrologisk model (nettonedbør, ådalsgeologi, vandløbsopsætning osv.). Det er i praksis muligt at opstille en forbedret model - om end ressourcekrævende.

Vurdering af udnyttelig ressource er væsentlig både i relation til Vandrammedirektivet og grundvandsdirektivet. Der er behov for metoder der kan opstilles på mindre skala og som mere direkte kan tilvejebringe sammenhænge mellem oppumpning og vandkvalitet på den ene side og oppumpning og økologiske forhold på den anden side. En kombination af hydrologiske modeller og brug af monitoringsdata, ekspertudsagn og interessentinvolvering vurderes påkrævet såfremt der skal kunne opnås en slags kommunikativ konsensus.

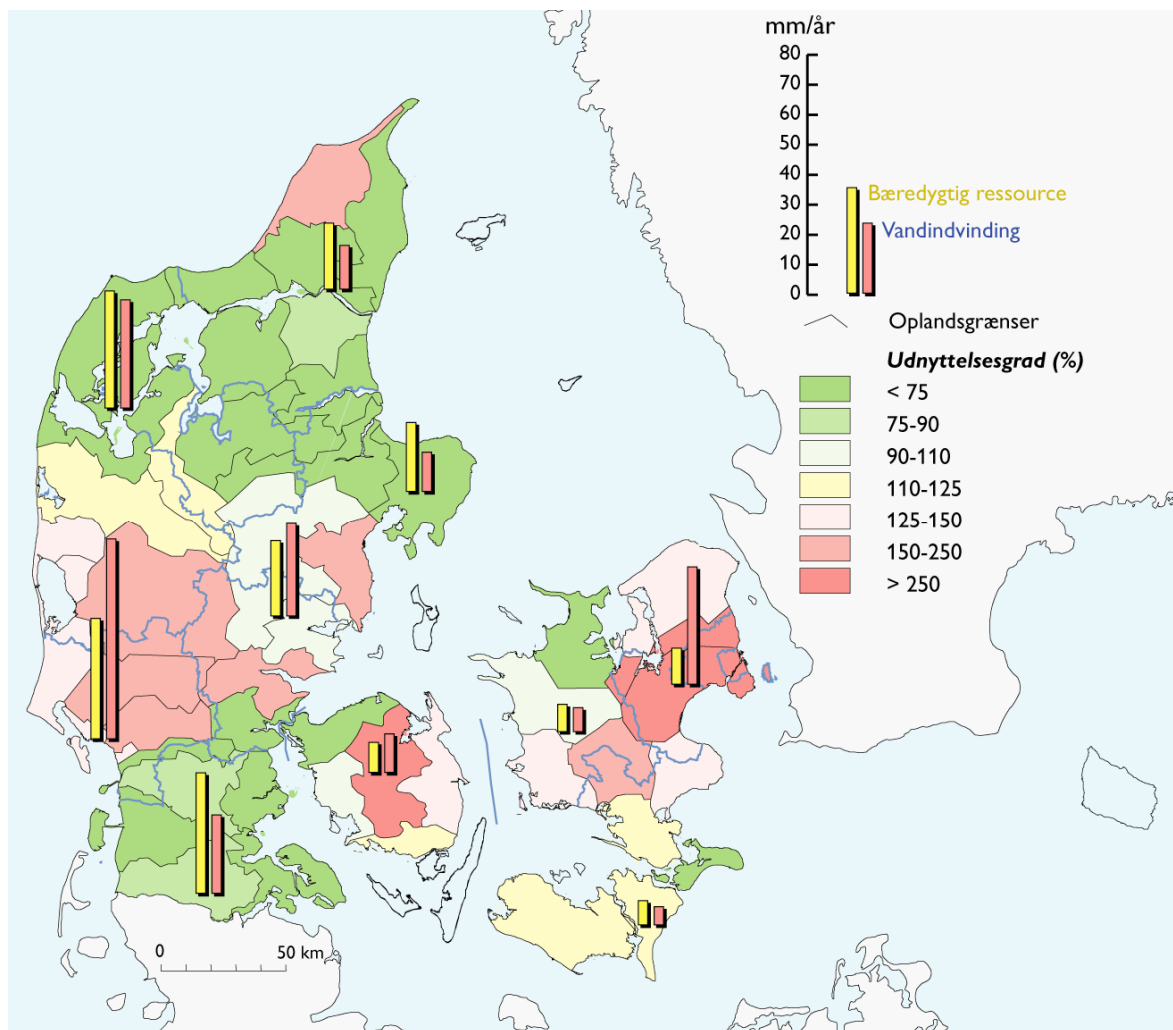
3. INTRODUKTION

I Hovedstadsområdet er vandindvindingen mange steder placeret i områder med følsom natur eller i områder, hvor en for massiv indvinding medfører risiko for en forringet grundvandskvalitet eller formindskelse af vandløbenes vandføring. Specielt det sidste er et springende punkt i forholdet mellem grundvandsindvinding og de målsætninger, vandløbene på Sjælland får i de vandområdeplaner der skal udarbejdes for de enkelte vandområde distrikter senest i 2009 jf. Vandrammedirektivet. Derudover skal der i forbindelse med grundvandsdirektivet fastsættes mål for grundvandskvaliteten og den kvantitative udnyttelse af ressourcen.

Valget af referencesituationen for vandløb, søer mv. og den efterfølgende miljømæssige målsætning for disse er afgørende for de beslutninger, der tages omkring beliggenheden af kildepladser til indvinding af grundvand for den regionale vandforsyning. Hvis der eksempelvis vælges en referencesituation, hvor der ikke må ske nogen vandløbspåvirkning af betydning, vil dette kunne betyde en flytning eller en væsentlig neddrøsling af stort set alle Københavns Energis kildepladser, der typisk ligger i ådale i Hovedstadsregionen (og i Vestsjællands Amt).

Vandrammedirektivet foreskriver imidlertid, at vandindvindingen skal ses i et mere overordnet økonomisk og miljømæssigt perspektiv, og at en flytning af vandindvindingen fra nuværende kildepladsers placeringer til nye områder f.eks. i stor afstand fra København, kun kan komme på tale, hvis der foreligger ekstra grundvandsressourcer, der endnu ikke er fuldt udnyttede, og hvis det i øvrigt er en økonomisk realiserbar og fornuftig løsning. Der er desuden andre overvejelser som også skal tages i betragtning, f.eks. forsyningssikkerhed i Hovedstadsregionen.

Beregninger foretaget med DK-modellen pegede på, at det ikke er muligt at flytte en væsentlig del af indvindingen til andre områder af Sjælland (Figur 1). Der blev dog udelukkende foretaget beregninger på grundlag af den nuværende vandindvindingsstrategi (altså år 2000 indvindinger), og ikke af ændrede fremtidige pumpeydeler på forskellige større kildepladser. Der foreligger derfor kun i begrænset omfang en vurdering af udnyttelig ressource ved alternative kildepladsplaceringer i regionen. Det er heller ikke muligt at adskille påvirkningen fra Københavns Energi's kildepladser i forhold til øvrige vandindvindinger.



Figur 1 Udnyttelig ressource på basis af DK-model. Søjler viser 10 deloplande. For underområderne er vist udnyttelsesgrader i % (indvundet i 2000 i forhold til udnyttelig ressource)

3.1 Formål

- Fusion af DK-model Sjælland Nord, Vest og Syd til "DK-model Sjælland KE" dækkende hele Sjælland, udnyttelse af datagrundlaget for KE's kildepladser, recipientmålsætninger fra Regionplan 2005 og test af fusioneret model
- Simulering af udnyttelig ressource jf. indikatorer anvendt i Ferskvandets Kredsløb (Henriksen og Sonnenborg, 2003) for KE's kildepladsoplande og simulering af grundvandsdannelse og vandløbsafstrømning for udvalgte indvindingsscenarier med henblik på tilvejebringelse af et gennemskueligt diskussionsoplæg til belysning af ressourceudnyttelsen
- Perspektivering af muligheder for fremtidig integration af hydrologisk model, habitatmodel og remote sensing data til forbedret vurdering af bæredygtig ressource, oversvømmelsesrisici og habitatpåvirkning på baggrund af en serie arbejdsgruppemøder. Som empiri for arbejdsgruppens møder har indgået erfaringer fra en mo-

dellering af Slangerup kildeplads området i Nordsjælland udført parallelt i forbindelse med et eksamensprojekt (udsnit af DK model KE i 100 x 100 m)

3.2 Modelbenyttelse

Det var målet med den nationale vandressourcemodel (DK-modellen) at kunne simulere det hydrologiske kredsløb med særlig vægt på grundvandssystemet og grundvandsressurens størrelse under forskellige forudsætninger vedrørende klimaforhold, arealanvendelse, krav til maksimal påvirkning af vandløb/vådområder og begrænsninger i den udnyttelige vandressource som følge af områder med dårlig vandkvalitet og/eller dårlige indvindingsforhold.

- Siden den oprindelige DK model blev opstillet er mulighederne for modellering ændret, og ønskerne i relation til Københavns Energi's behov præciseret:
- Tidligere DK-model Sjælland bestod af tre delmodeller, som tidligere har være brugt til ressource opgørelse den bæredygtige vandressource
- Udviklingen i computerkraft har gjort det muligt at samle de tre delmodeller til en enkelt model, som dækker hele Sjælland
- Delmodel rande skar tværs igennem store indvindingsoplande på Sjælland, hvilket i nogen grad har kunnet aflæses i model beregninger af trykniveau i grundvandet f.eks. i Regnemark området og omkring Elverdams å
- KE ønskede for deres part at modellens indvindingsstruktur i højere grad afspejlede de faktiske forhold på KE's kildepladser
- Gentagelse af Temarapportens ressource opgørelsen, men zoomet ind på oplandene til KE's kildepladser
- Behov for ressource opgørelse under større hensyntagen til lokal-specifikke forhold f.eks. konkret påvirkning af vandløbsafstrømning i udvalgte vandløbspunkter
- Behov for et antal scenario kørsler der skal belyse KE's påvirkning og udviklingsmuligheder indenfor regionen

Input til simuleringerne i den fusionerede DK model KE udgøres af:

- klimadata (døgnværdier for nedbør, temperatur og potentiel fordampning)
- arealanvendelsesdata (skov/åbent land/byområder/vådområder)
- vandindvindingsdata (årlig oppumpning i forbindelse med almene vandværker, erhvervsvanding og industri)

Output fra simuleringerne udgøres bl.a. af:

- grundvandspotentialer/afsænkninger (differens/potentialekort)

- vandbalancedata (nettonedbør, infiltration, overfladisk afstrømning, drænvandsafstrømning, grundvandsdannelse til sekundære og primære grundvandsmagasiner, grundvandsafstrømning til vandløb/vådområder og hav)

Det er fortsat anvendt samme geologi og horisontale diskretisering i et 1 x 1 km beregningsnet i DK model KE. Den valgte diskretisering udgør en øvre grænse for, hvor groft de fysiske forhold kan repræsenteres, idet brug af et beregningsnet på f.eks. 2 x 2 km giver for store usikkerheder i repræsentationen af topografiske og geologiske variationer, ligesom den decentrale vandindvindingsstruktur med relativt små vandværker sætter grænser for, hvor groft et beregningsnet der giver mening og kan anvendes.

Samspeilet mellem klima, vegetation og jordbund har stor indflydelse på fordampningen og dermed på nedsivningen til grundvandet. På grund af den valgte skala med et beregningsgrid på 1x1 km vil DK-model KE repræsentere en relativ grov forenkling af en række forhold bl.a. topografi, repræsentation af den geologiske variabilitet, repræsentation af dræn- og vandløbssystemer etc. Det er derfor fortsat valgt at basere beskrivelsen af fordampning (og dermed nedsivning fra rodzonen) på et relativt simpelt vandbalancemodul for rodzonen, og samtidig at se bort fra de enkelte processer i den umættede zone. Denne forenkling betyder i øvrigt, at et evt. feed back fra f.eks. afsenkning af grundvandspejlet som måtte påvirke fordampningen ikke kan håndteres umiddelbart på den måde modellen er benyttet. Det antages dog at det er en god tilnærmelse at se bort fra ændring i fordampningen som følge af ændret trykniveau.

3.3 Arbejdsgruppemøder: remote sensing, habitatmodeller og eksamensprojekt i oplandet til Slangstrup vandværk

Arbejdsgruppen havde til opgave at vurdere muligheder for en fremtidig kobling af habitatmodeller og data fra remote sensing (satellitbilleder) med den hydrologiske model, og dermed tilvejebringe et forbedret beslutningsgrundlag til forvaltningen af vandressourcen i Hovedstadsområdet. Samtidig var opgaven at forholde sig til skalaproblemet, altså overveje, hvordan modellering på mindre skala kan indgå i forhold til den overordnede DK model KE for Sjælland. I arbejdsgruppen deltog GEUS, KE, Miljøkontrollen, og eksperterne Eva Bøgh, RUC (remote sensing) og Bente Clausen, DMU (habitatmodeller). For at arbejde så konkret som muligt med disse problemstillinger blev mulighederne for brug af remote sensing og habitatmodeller diskuteret i forhold til et eksamensprojekt der blev afviklet parallelt med hovedopgaven. I eksamensprojektet blev der for oplandet til Slangstrup vandværk i Nordsjælland på baggrund af DK modellens geologi og konceptuelle opstillet en lokal MIKE SHE/MIKE 11 model med en maskevidde på 100 x 100 m. Eksamensprojektet blev udført af Maria Ondracek under vejledning af GEUS og Dan Rosbjerg, DTU. Herved var der mulighed for dels at afprøve klimainput baseret på satellitdata / Daisy GIS leveret af Eva Bøgh, og samtidig forholde sig konkret til muligheder for opstilling af habitatmodeller koblet til hydrologiske modeller. Eksamensprojektet fokuserede både på påvirkning af vandløbsafstrømning som følge af ændret vandindvinding (neddrosling/flytning af kildepladser til større afstand fra vandløb) og påvirkning af grundvandsspejl og risiko for oversvømmelser ved sådanne ændringer i vandindvindingsstrukturen.

4. HYDROGEOLOGISK TOLKNINGSMODEL

Opstilling af en hydrogeologisk tolkningsmodel er i princippet en vurdering af de væsentligste strømningskarakteristika for grundvandssystemet for den skala i hvilken modellen arbejder. En numerisk grundvandsmodel forudsætter en opdeling på beregningslag og -kasser, uanset at forholdene i visse områder er meget komplekse f.eks. i randmoræne områder. En hydrogeologisk tolkningsmodel skal belyse de antagelser og den viden der ligger til grund for fastlæggelsen af de 'hydrostratigrafiske enheder', som grundvandssystemet opdeles i. Hydrostratigrafiske enheder repræsenterer en eller adskillige geologiske enheder slået sammen til et lag med samme hydrauliske egenskaber, men kan også være en underopdeling af et givet hydrogeologisk lag i flere enheder/beregningslag.

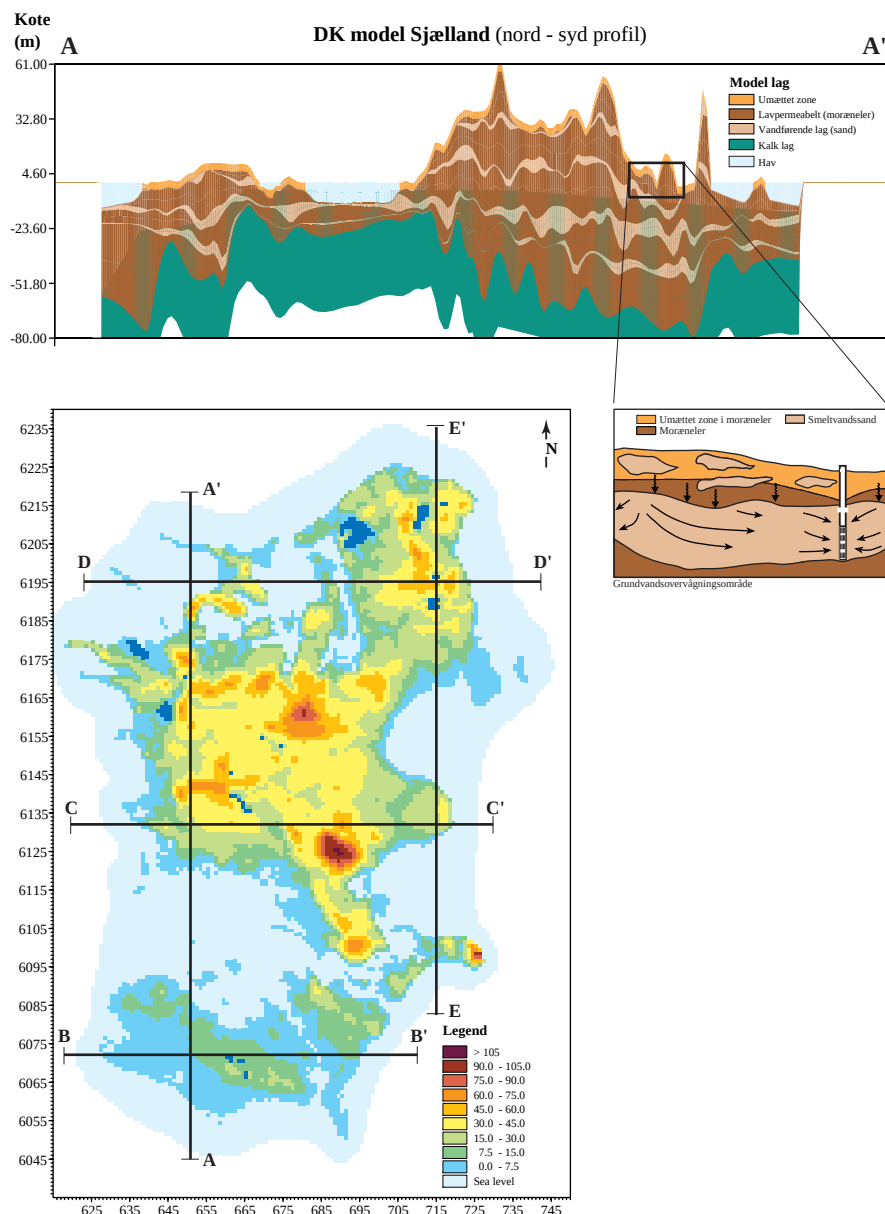
4.1 Grundvandssystemet (antagelser om reservoirforhold)

Sjælland er dækket af kvartære aflejringer fra mindst fire istider med en total tykkelse varierende fra nogle få til godt 100 meters tykkelse. Størstedelen af den kvartære lagserie udgøres af moræneler med linser og lag af smeltevandssand og -grus i adskillige stratigrafiske niveauer. Reservoirerne er overvejende artesiske. De vandførende prækvartære aflejringer består hovedsageligt af marine kalkaflejringer fra Kridt, Danien og Paleocæn og udgør i mange områder det primære reservoir for vandindvindingen. Modellen for Sjælland indeholder følgende 11 hydrostratigrafiske enheder:

1. I landområder er modellens øverste lag 3.5 meter tykt og udgør den umættede zone samt den øverste del af den mættede zone. Laget regnes for opsprækket og relativt vandførende. I havområder udgør modellens øverste lag havet og har derfor en tykkelse som vanddybden. Laget antages at have meget høj hydraulisk ledningsevne, hvilket fører til, at trykniveauet fastholdes på havniveau.
2. Et forholdsvis lavpermabelt lag bestående hovedsageligt af moræneler og evt. lidt sen- og postglaciale lerede aflejringer. Laget er det øverste lerlag og findes især i områder med topografi over ca. 50 meter.
3. Et vandførende lag eller snarere linser af smeltevandssand og grus, som udgør sekundære lokale magasiner. Laget, som er det øverste sandlag, ligger omkring kote 30 til 50 meter og har begrænset udstrækning. Laget findes således kun udbredt i de højtliggende områder på Sjælland. Lagtykkelser over 2 meter findes især i Syd-, Midt- og i Nord-sjælland.
4. Et lavpermabelt lerlag bestående hovedsageligt af moræneler evt. også smeltevandsler og -silt. Laget er dæklag til de primære smeltevandssandsmagasiner.
5. Et vandførende lag af smeltevandssand og -grus. Laget er det regionale primære øvre magasin og har en relativ stor udstrækning med lagtykkelser over 10 meter i mange områder, især i Midt- og Nordsjælland. Laget findes ofte omkring kote 0 til -15 meter.
6. Et lavpermabelt lerlag bestående hovedsageligt af moræneler evt. også smeltevandsler og -silt. Laget adskiller de regionale primære øvre smeltevandssandsmagasiner fra dybere liggende magasiner.
7. Et vandførende lag af smeltevandssand og -grus, som udgør et regionalt nedre primært magasin. Laget har relativ stor udstrækning og har tykkelser over 10 meter i mange om-

råder, især i Nord- og Vestsjælland samt på Lolland. Laget mangler dog, hvor de prækvartære aflejringer ligger højt som på Østsjælland og på Møn. Laget findes ofte omkring kote -20 til -35 meter.

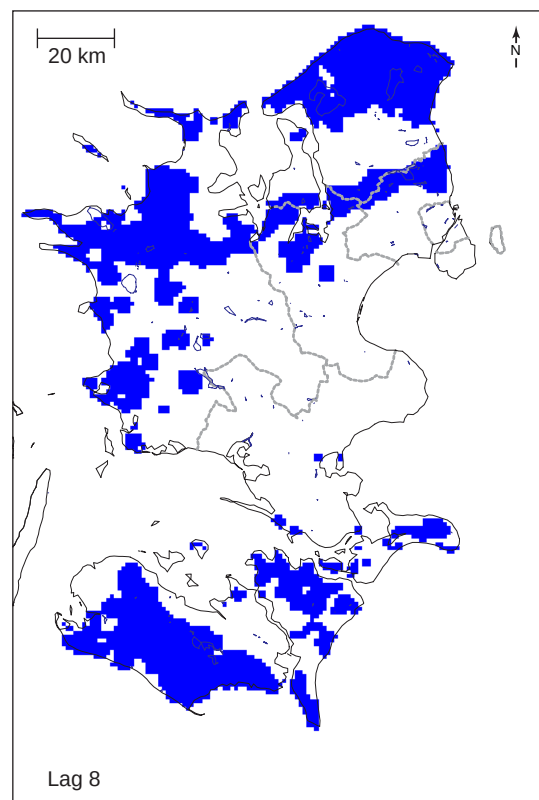
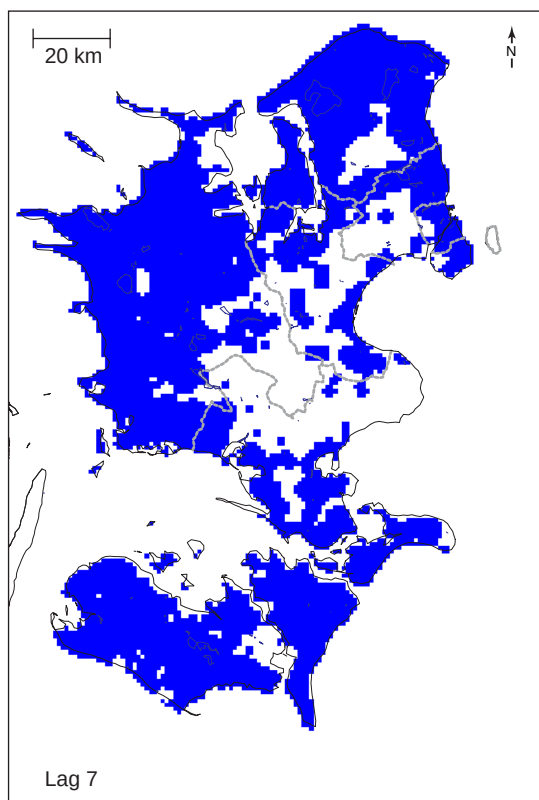
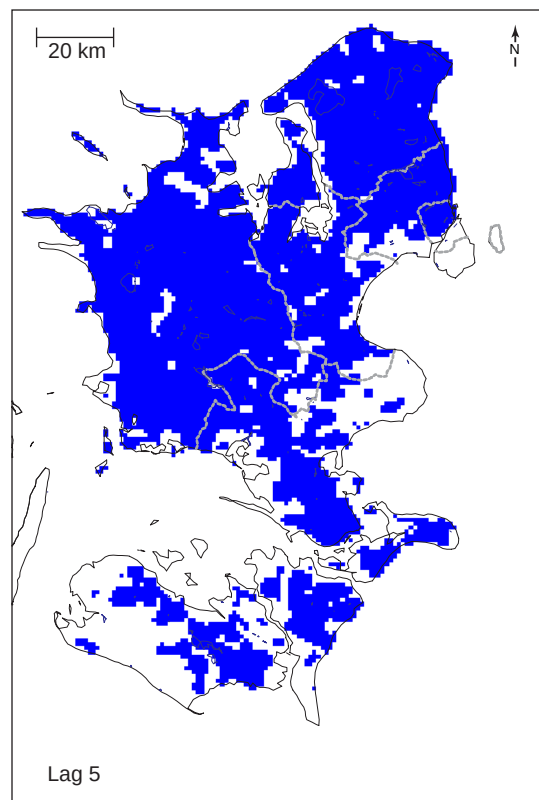
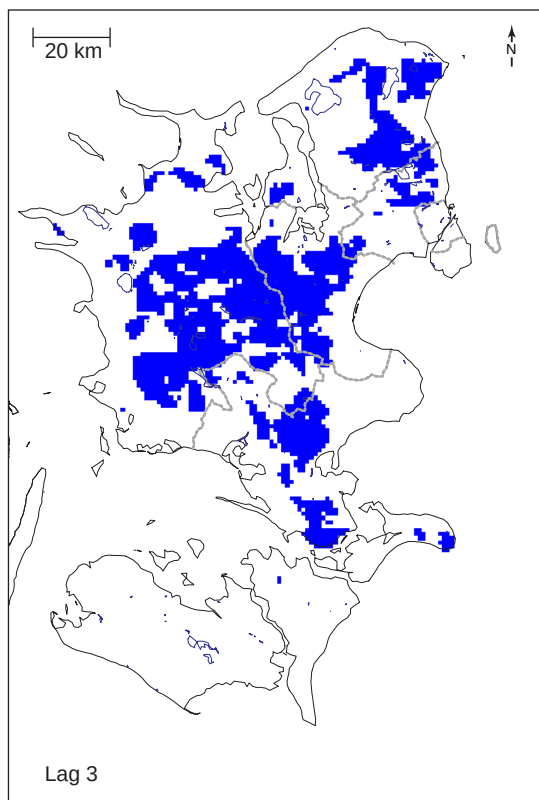
8. Et lavpermabelt lerlag bestående hovedsageligt af moræneler evt. også smeltevandsler og -silt. Laget adskiller de regionale primære øvre smeltevandssandsmagasiner fra et dybt liggende magasin. Laget mangler i nogle områder (Nordsjælland), hvor der derfor er hydraulisk kontakt mellem de kvartære sandmagasiner.
9. Et vandførende lag af smeltevandssand og grus, som et dybtliggende nedre primært magasin, der især findes i dybe sænkninger i den prækvartære overflade som i Nordsjælland og på Lolland samt i mindre udstrækning i Vestsjælland. Laget findes ofte dybere end kote -45 meter.
10. Et lavpermabelt lerlag bestående hovedsageligt af Kvartær ler og silt samt prækvartære lerede aflejringer (Palæocæn og Eocæn ler). Laget adskiller de kvartære smeltevandssandsmagasiner fra de prækvartære magasiner. I en del områder findes laget ikke og der er derfor hydraulisk kontakt mellem det overliggende kvartære sand og de prækvartære vandførende aflejringer.
11. Vandførende prækvartære kalkaflejringer fra Danien og Kridt samt Danien grønsandsaflejringer.



Figur 2 Tolkning af lavpermeable og vandførende lag for Sjælland

Figur 2 viser hydrogeologien for et tværsnit gennem Sjælland. Lerlagene i de lavpermeable hydrostratigrafiske enheder (1, 2, 4, 6, 8 og 10), består overvejende af moræner. I visse områder indgår desuden interglacialt, senglacialt og postglacialt ferskvandsler, samt interglacialt saltvandsler i disse enheder og for lag 10 desuden Lillebæltsler, Røsnæsler, paleocænt ler og mergel.

Modellernes sandlag (lag 3, 5, 7 og 9) består overvejende af smeltevandssand og grus. Den hydrauliske ledningsevne for enhederne antages at være konstant. Denne kraftige simplificering medfører, at variationen i transmissiviteten udelukkende afhænger af tykkelsen af det vandførende lag. De vandførende enheder falder typisk sammen med grundvandsmagasiner kortlagt af amterne på Sjælland og kan i disse områder have en betydelig tykkelse på 15-30 meter. Udbredelsen af de vandførende lag er vist i nedenfor (Figur 3). I områder, hvor der ikke er truffet lokale magasiner antages en beregningsmæssig tykkelse af de vandførende magasiner på 0.1 m, jvf. at beregningsmodellen forudsætter en 'lagkage-geologi'.



Figur 3 Udbredelsen af vandførende lag (områder med vandførende lag tykkere end 1 m vist med mørkt)

For kridt/danienkalk/grønsandskalk antages det, at den beregningsmæssige tykkelse af den vandførende del er på 50 meter. Transmissiviteten for dette lag, modsat alle andre hydrostratigrafiske enheder, er distribueret. Transmissivitetsfordelingen er interpoleret (krigging) ud fra estimeret semivariogram, som er baseret på udvalgte observationer af hydrauliske ledningsevner, som igen er baseret på observationer af specifik ydelse.

4.2 Hydrologiske afgrænsninger (randbetingelser)

Et centralt element i opstillingen af en numerisk grundvandsmodel er definitionen af randbetingelserne. Da hovedformålet med modellerne for Sjælland er at styrke mulighederne for vandressourcebetragtninger er der ved modelopstillingen lagt særlig vægt på en god beskrivelse af de randbetingelser, der styrer nedsivningen til grundvandet.

4.2.1 Modeloverflade, dræn og vandløb

Randbetingelsen for modellernes øverste lag er defineret af grundvandsdannelsens størrelse, som beregnes med et simpelt rodzonemodul på daglig basis ud fra nedbør og fordampling og regnskab med vandindholdet i rodzonen. Nedsivning fra rodzonen genereres fortrinsvis i situationer, hvor vandindholdet overstiger markkapaciteten, idet der ved et vandindhold mellem 70-100 % af markkapaciteten kun antages en mere begrænset nedsivning. Ved et vandindhold under 70% af markkapaciteten antages ingen nedsivning fra rodzonen. Der ses bort fra en evt. forsinkelse og magasinering i umættet zone.

Afhængigt af nedsivningens størrelse, potentialet i det øverste lag og de hydrauliske parametre for grundvandsmodellerne, kan der genereres overfladisk afstrømning (afstrømning på terræn mod vandløb) eller drænvandsafstrømning (afstrømning gennem de øverste jordlag til dræn eller vandløb). Den anvendte topografi er baseret på Kort & Matrikelstyrelsens digitale 50 m grid. Dette datagrundlag er behæftet med nogen usikkerhed som følge af de anvendte interpolationsrutiner og selve datagrundlaget.

Ved repræsentation af vandløb er benyttet samtlige digitale vandløbspunkter i ZETA (1:500.000) svarende til højere ordens vandløb (typisk amtsvandløb). Det vil sige at lavere ordens vandløb ofte ikke er repræsenteret (bl.a. en del kommunevandløb og mindre private vandløb, drængrøfter/systemer o.s.v.).

Drænvandsafstrømning, som den er repræsenteret i modellerne, dækker såvel kunstig afdræning som naturlig afdræning. Et detaljeret kendskab til drænsystemer for større dele af Danmark findes ikke på let tilgængelig elektronisk form. Det er derfor nødvendigt at indføre betydelige simplificeringer i beskrivelsen af drænafstrømningen. Det er vurderet, at de afløbsløse dræn, som ifølge modeltopografien og det benyttede vandløbssystem er introduceret i modelopsætningen, enten i praksis afdrænes til vandløb (på grund af intensivt jordbrug) eller skal tilskrives usikkerheder på interpolationen af topografien. Afløbsløse dræn er derfor, hvor der ikke foreligger dokumentation for, at der er tale om et vådområde som ikke afdrænes, søgt elimineret i forbindelse med modelopstillingen.

Drænafstrømning beskrives i modellerne ved et niveau for drændybden og en tidskonstant for routningen af vand ud af elementet. Der anvendes for hovedparten af modellen en drændybde på 0.5 meter under terræn. I områder med terræn meget tæt på havniveau er

drændybden reduceret til 0.1 meter. Tidskonstanten for drænen er typisk i størrelsesordenen $1e^{-6}$ til $1e^{-8} \text{ s}^{-1}$ og afhænger bl.a. af modelskalaen.

4.2.2 Vandudveksling mellem grundvand og vandløb (indre randbetingelser)

Erfaringerne viser (Dahl et al., 1998) at det er væsentligt at have en god distribueret beskrivelse af de parametre der styrer vandudvekslingen mellem grundvand og vandløb for de enkelte delstrækninger af vandløbene.

På grundlag af analyser med DK-modellen for Fyn blev det konkluderet, at beskrivelsen af udvekslingen mellem grundvand og overfladevand forbedres væsentligt ved indførslen af distribuerede lækagekoefficienter under vandløb. I undersøgelserne for Fyn blev distribueringen af lækagekoefficienten baseret på medianminimumafstrømningen, der under danske forhold er et godt mål for grundvandsafstrømningen til vandløb (baseflow).

Sjælland er imidlertid i langt højere grad end Fyn påvirket af grundvandsindvinding og medianminimumafstrømningen er derfor på dele af Sjælland en mindre god indikator for den naturlige mængde baseflow og dermed kontakten mellem grundvandsmagasiner og de enkelte vandløbsstrækninger.

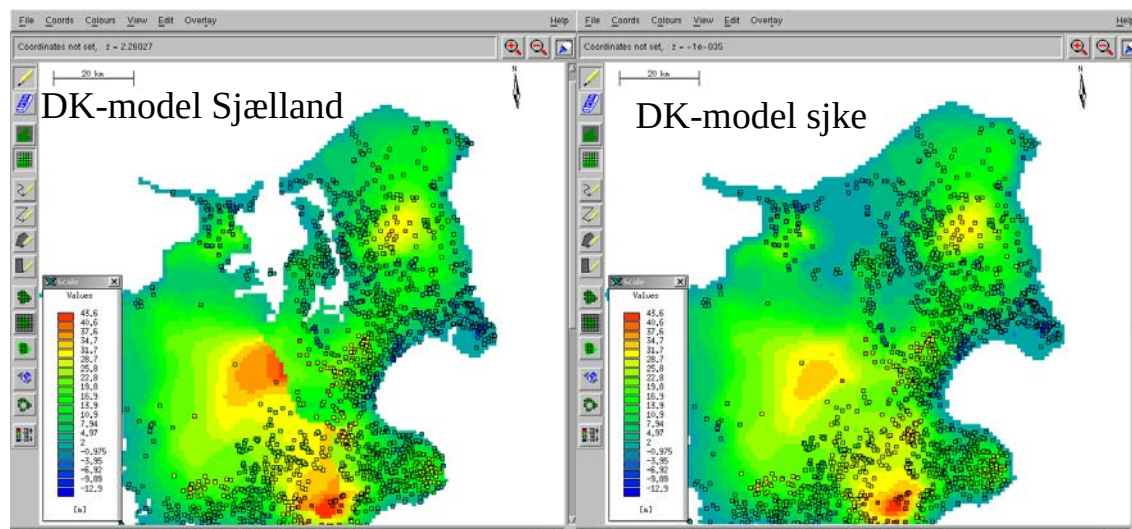
For modellerne for Sjælland er distribueringen af ålækagekoefficienten derfor baseret på et andet princip, i hvilket det antages at udstrømningen af grundvand til vandløb afhænger af hvorvidt et regionalt vandførende lag (i de fleste områder lag 3 eller 5, men enkelte steder lag 7 eller 9) står i direkte kontakt med vandløb, hvilket vil sige at tykkelsen af øvrige lav-permeable jordlag er minimal.

Der blev anvendt en anden metode hvor tykkelsen af jordlag over toppen af det øverst beliggende vandførende lag (lag 3, 5, 7 eller 9) blev vurderet, under forudsætning af at det pågældende vandførende lag havde en tykkelse på mindst 1 meter. Det vil sige, at der først blev foretaget en analyse af hvilket lag (lag 3, 4, 7 eller 9) som skulle regnes at være det primære lag med hensyn til vandudvekslingen mellem grundvand og overflade vand, og at det efterfølgende blev vurderet om dette lag havde direkte kontakt til vandløb. Hvor dette var tilfældet blev der anvendt en ålækagekoefficient på $1e^{-7} \text{ s}^{-1}$, hvorimod der for vandløbsstrækninger med mellemliggende lerlag (evt. tynde sandlag) blev anvendt en ålækagekoefficient på $5e^{-10} \text{ s}^{-1}$.

4.2.3 Modelrand og impermeabel bund (ydre randbetingelser)

For de ydre randbetingelser er anvendt fastholdt trykniveau svarende til havniveau. Tidligere var modellen opdelt i tre undermodeller, som havde fælles randbetingelser der bl.a. løb gennem indvindingsoplandet til Regnemark værket. Disse randbetingelser og betydningen heraf er anskueliggjort i en endnu ikke trykt delrapport " *Simulering af nuværende og historiske strømnings- og potentialeforhold i kalkmagasinerne i Nordøstsjælland*" (Trolborg in press) i en undersøgelse angående " *Saltvandsgrænsen i kalkmagasinerne i Nordøstsjælland*" delvist finansieret af KE. I rapporten er det påvist at der i et bælte langs de indre rande ville være problemer med at bestemme eksakte randbetingelser for dybere liggende lag. Dette vanskeliggøres yderligere hvis der er mange og store indvindinger i nærheden af

randen. I det konkrete tilfælde påvirkede Regnemark kildepladser med en indvinding på godt 14 Mm³/år i betydelig grad afsænkningerne i den sydlige del af DK-model Sjælland Nord, som følge af placeringen tæt på randen mellem Nord og Vest modellen. Det i denne rapport anvendte model setup er ikke påvirket af denne type problemer, idet de tre under modeller er slået sammen til en enkelt model, hvorved problemerne langs de indre rande elimineres. Figur 4 illustrerer de simulerede forskelle i trykniveau med daværende - og nye modelsetup.



Figur 4 Simulerede trykniveauer for kalkmagasinet omkring København

Modelbunden, der er beliggende 50 meter under toppen af kalken, antages impermeabel for alle modellerne.

I MIKE SHE skal vandløb af modeltekniske årsager afsluttes udenfor modelranden. Alle vandløb føres derfor gennem havet i de modeller, hvori havet indgår. Hvor vandløb er ført gennem havet er lækagefaktoren fra kysten til udløbet udenfor modelområdet sat lig 0. Med denne ydre randbetingelse vil vandudvekslingen mellem grundvand og hav i praksis blive beskrevet så den afhænger af forekomst og tykkelse af lavpermeable dæklag mellem hav og vandførende lag med udstrækning under havbunden.

4.2.4 Vurdering af nettonedbør og grundvandsdannelse

DK-modellens rodzonemodul opstiller en simpel vandbalance for rodzonen ud fra en empirisk relation mellem aktuel og potentiel fordampning som funktion af vandindholdet i rodzonen. Modulet fordeler nedbøren mellem nedsivning og aktuel fordampning. Den styrende parameter i beregningen udgøres af markkapaciteten som afhænger af vegetationstype samt jordart. I DK-modellen anvendes 3 forskellige værdier for markkapaciteten: 150 mm for skovarealer, 70 mm for sandjorde og 140 mm for lerjorde. Der antages en nedbørsdistribution, så højtliggende områder modtager mere nedbør end lavtliggende områder. Skovområder antages at have en større potentiel fordampning end landbrugsområder, og i vådområder antages at ske en potentiel fordampning året rundt uanset nedbør.

Afhængig af arealanvendelse, jordart og terrænkote opnås der således forskellige netto-nedbørsserier. Der skelnes mellem skov, vådbundsområde, højt- og lavtliggende åbent land med enten sand- eller lerjord. I Jylland hvor der i forbindelse med landbrugsjorde er et stort vandingsbehov medregnes markvanding som et ekstra tilskud til nedbøren/oppumpning fra grundvandet. Ved nedsivning fra overfladen til den mættede zone ses der i DK-modellen bort fra forsinkelse og magasinering i den umættede zone. Beregninger af vandindhold i rodzonen, aktuel fordampning og nedsivning fra rodzonen foregår i form af daglige beregninger, med månedlige korrektionsfaktorer jf. standardværdier for korrigeret nedbør, moderat læ (Allerup et al., 1998) og udfra modificeret Penmann, dvs. input i form af daglig nedbør, potentiel fordampning og temperatur udfra DMI's landsdækkende 40x40 km grid (Henriksen et al., 1998).

4.2.4.1 Metodik

Snesmeltning håndteres ved en graddagsfaktor metode. Når temperaturen er under 0°C bidrager nedbøren til sne-magasinet, hvorfra det frigives når temperaturen overstiger 0°C. Snesmeltningen, P_s [LT^{-1}], beregnes vha. en graddags faktor metode:

$$P_s = C_{snow} T \quad \text{for } T > 0^\circ C \quad (1a)$$

$$P_s = 0 \quad \text{for } T \leq 0^\circ C \quad (1b)$$

hvor C_{snow} [$LT^{-1}\Phi^{-1}$] er graddagskoefficienten (der anvendes 3 mm sne/day/ $^\circ C$) og T er den daglige middeltemperatur (Celsius). Baseret på korrigeret nedbør, P og beregnet vandfrigivelse fra sne-magasinet, P_s , beregnes det totale input P_t [LT^{-1}] som input til DK-modellens rodzonemodul udfra:

$$P_t = P + C_{snow} T \quad \text{for } C_{snow} T \Delta t < S_{snow} \quad (2a)$$

$$P_t = P + S_{snow} \quad \text{for } C_{snow} T \Delta t \geq S_{snow} \quad (2b)$$

hvor S_{snow} [L] er sne-magasineringen og Δt er tidsskridtet, som anvendes i beregningen (daglige beregninger).

Bortset fra vådområderne, beregnes nedsivningen fra rodzonen udfra:

$$\theta(t + \Delta t) = \theta(t) + (P_t - E_A - R) \Delta t \quad (3)$$

hvor θ er vandindholdet i rodzonen [L], P_t er det totale vandinput beregnet ved (2), E_A er den aktuelle evapotranspiration [LT^{-1}], R er perkolationen ud af rodzonen [LT^{-1}], t er tiden [T] og Δt er time step [T].

$$E_A = E_p \quad \text{if } \theta(t) > 0.7\theta_{FC} \quad (4a)$$

Aktuel evapotranspiration E_A beregnes ud fra (Kinzelbach, 1986):

hvor E_p er potentiel fordampning [LT^{-1}] og θ_{FC} er markkapaciteten for rodzonen [L]. For skov antages det at $E_p = 1,1 E_{p,reference}$ hvorimod det for øvrige vegetationstyper (landbrug og vådområder) antages at $E_p = 1,0 E_{p,reference}$

Hvis $P_t - E_A > 0$, beregnes perkolationen R i tidsskridtet Δt ud fra en stykvis lineær funktion

$$E_A = E_p \left[0.188 + 2.0 \frac{\theta(t)}{\theta_{FC}} + 1.2 \left(\frac{\theta(t)}{\theta_{FC}} \right)^2 \right] \quad \text{if } \theta(t) < 0.7 \theta_{FC} \quad (4b)$$

afhængig af vandindholdet i rodzonen.

Hvis $P_t - E_A$ er negativ, genereres der ingen perkolation dvs. $R = 0$.

En separat rutine anvendes til beregning af nedsivningen i vådområder. På grund af kapilar stigning antages aktuel fordampning lig med potentiel fordampning året rundt dvs. $E_A = 1,0$

$$R = 0 \quad \text{if } \theta(t) + (P_t - E_A) \Delta t < 0.7 \theta_{FC} \quad (5b)$$

$$R = 0.1(P - E_A) \quad \text{if } 0.7 \theta_{FC} \leq \theta(t) + (P_t - E_A) \Delta t < \theta_{FC} \quad (5a)$$

$$R = \theta(t) + (P - E_A) \Delta t - \theta_{FC} \quad \text{if } \theta(t) + (P_t - E_A) \Delta t \geq \theta_{FC} \quad (5c)$$

$E_{p,reference}$:

$$R = P_t - E_A \quad (6)$$

Aktuel fordampning E_A kan overstige nedbøren P_t for vådområder. I dette tilfælde beregnes en negativ perkolation. MIKE SHE modellen tillader specifikation af negativ perkolation. I dette tilfælde, specificeres en maksimumsdybde under terrænoverfladen, som antages tilgængelig for evapotranspiration fra vådområder. Den umættede zone er ikke inkluderet i modellen og derfor kan overfladisk afstrømning ikke genereres i tilfælde hvor infiltrationskapaciteten overskrides, og grundvandspejlet samtidig er beliggende under terrænoverfladen. Derfor antages det i DK-modellen at en brøkdel af perkolationen rutes til overfladisk afstrømning, uden at indgå i grundvandsdannelsen. Denne brøkdel, α_{of} beregnes som funktion af den topografiske variation (indenfor 1x1 km gridcellerne i modellen), andelen af befæstede arealer/byområder og brøkdelen af lerede jordarter. Beregningen af α_{of} (1x1 km grid) er baseret på GIS data på baggrund af arealanvendelse, topografi og jordartskort. Bidraget som tilføres grundvandsmodellen i form af grundvandsdannelse beregnes ud fra:

$$R_N = R(1 - \alpha_{of}) \quad (10)$$

hvor R er den daglige nedsivning fra rodzonen (nettonedbør) ud fra (5) og α_{of} er den grid specifikke andel af nettonedbøren der rutes til overfladisk afstrømning (overland flow). Den vandmængde der ikke antages at bidrage til grundvandsdannelsen, $\alpha_{of} R$, routes direkte til den overfladiske afstrømningskomponent i MIKE SHE.

Test af DK-modellens rodzonemodul

DK-modellens rodzonemodul er testet for sandjord i forhold til Daisy beregninger (Christensen et al., 2000) for Karup og Vårby å oplandene (Thorsen, 2000). For perioden 1987-96 blev det vurderet at DK-modellens rodzonemodul gav lidt større nettonedbør end Daisy (ca. 5 %) for disse to oplande. Den styrende parameter i rodzonemodulet er markkapaciteten og sammenlignes med markkapaciteten anvendt i Daisy ses rodzonemodulets markkapacitet at være sat en anelse lavt. Antages en roddybde på 0.5 m fås markkapaciteter af størrelsesordenen 50-150 mm i Daisy. En større markkapacitet i rodzonemodulet vil resultere i mindre nedsivning. Anvendes en markkapacitet på 100 mm i stedet for de nuværende 70 mm for sandjorde i rodzonemodulet reduceres den gennemsnitlige forskel for perioden 1987-96 således til 1-2 % for Karup og Vårby sandjorden.

Rodzonemodulet har ligeledes været testet for lerjord i forhold til Als modellen, ARMv3 (Jeppesen, 2001), som er en "boksmode", der har en del lighedspunkter med DK-modellens rodzonemodul. Her viste en sammenligning, at de to modeller gav stort set identiske nedsivninger for lerjord (< 1 %'s afvigelse på årsbasis). I den samme undersøgelse blev ARMv3 sammenlignet med Evacrop. Denne sammenligning viste at Evacrop på årsbasis simulerede ca. 3 % mere nedsivning end ARMv3. DK-modellen giver dermed lidt mindre nedsivning i forhold til Evacrop for Als lerjorden.

4.3 Begrænsninger

DK-modellen har til formål at simulere grundvandssystemet og vandudvekslinger mellem grundvand og overfladevand, som har betydning for vurderinger af grundvandsressourcens størrelse, regionale fordeling og tidslige variationer. Den hydrogeologiske tolkningsmodel for Sjælland antager, at de hydrostratigrafiske lag veksler mellem vandførende lag og lav-permeable enheder og at disse enheder kan antages at have hydrauliske egenskaber som kan tilnærmes med ensformige (konstante) hydrauliske ledningsevner. Variation i transmissivitet for de kvartære aflejringer vedkommende over modelområdet afhænger derfor primært af de enkelte enheders tykkelse. Det er udelukkende for vandførende lag i kalken, at der antages en transmissivitetsfordeling, baseret på interpolation mellem observationer. I kalken har tilstedeværelsen af bl.a. forkastninger stor betydning for permeabiliteten.

Disse antagelser er gjort for dels at forenkle hydrogeologien dels fordi enkeltobservationer af f.eks. hydraulisk ledningsevne (udfra f.eks. specifik ydelse) ikke er repræsentative for en modelskala på 1x1 km. Anvendelse af modellen til vurderinger af stoftransport hvor heterogeniteten i en mindre skala ofte vil have afgørende betydning kan derfor ikke umiddelbart foretages med den opstillede DK-model. Sådanne vurderinger i konkrete områder vil forudsætte en yderligere detaljering af såvel den hydrogeologiske tolkningsmodel som den numeriske grundvandsmodel (geologiske lag og linser dvs. en zonerig indenfor de enkelte lag).

Anvendelse af modellen til vurderinger af grundvandsressourcens beskyttelse hvor sprækker og sandvinduer lokalt kan være afgørende for beskyttelsen af forskellige reservoirer kan ligeledes ikke umiddelbart foretages for konkrete områder. Modellen kan dog give skøn for landet som helhed eller mellem forskellige regioner af typiske hydrogeologiske forhold. Desuden kan modellen være et godt udgangspunkt for mere detaljerede modelopstillinger (randbetingelser, input til hydrogeologisk tolkningsmodel osv.).

4.4 Effekt på model

På trods af de gjorde antagelser og forenklinger vurderes DK-modellen at være et pålideligt værktøj til vurdering af overordnede vandressourceforhold på landsplan, og til vurderinger af den regionale fordeling. Modellen er i stand til at simulere den tidslige udvikling i grundvandsstand og afstrømning i vandløb. Resultaterne har størst gyldighed ved regionale betragtninger og modelskalaen (1x1 km) bevirker at sammenligninger af simuleret og observeret vandspejl f.eks. i en pejleboring kan have betydelige systematiske afvigelser, som følge af, at der ikke tages hensyn til heterogeniteten indenfor det enkelte beregningsgrid (geologi) og som følge af, at det antages, at vandløb er placeret langs randen af det enkelte grid (med vandløbsknudepunkter i hjørnepunkterne). Vandløbene kan som følge heraf, være repræsenteret med en beliggenhed som er op til 500 meter forkert i forhold til virkeligheden. Fluktuationerne i vandspejl vil kunne vurderes med modellen og systematiske fejl kan vurderes på baggrund af placeringen af den enkelte pejleboring indenfor griddet samt de nærmere geologiske forhold.

De gjorde antagelser bevirker, at simuleringer af vandløbsafstrømningen i de enkelte tilløb og mindre vandløb kan være afvigende i forhold til observationer. Imidlertid vil påvirkningen af vandføring som følge af ændringer i vandindvindingen kunne simuleres rimeligt pålideligt når det gælder de større vandløb eller vandløbssystemer. Ændringer i vandbalanceforhold som følge af ændrede klimaforhold (nedbør og fordampning) kan vurderes rimeligt sikkert med modellen. Ændringer i arealanvendelsen og konsekvenser heraf vil dog antageligt forudsætte en udbygning af DK-modellen med UZ, selvom rodzone-modulet giver mulighed for en grov vurdering mellem skov, by, ånære områder og åbent land.

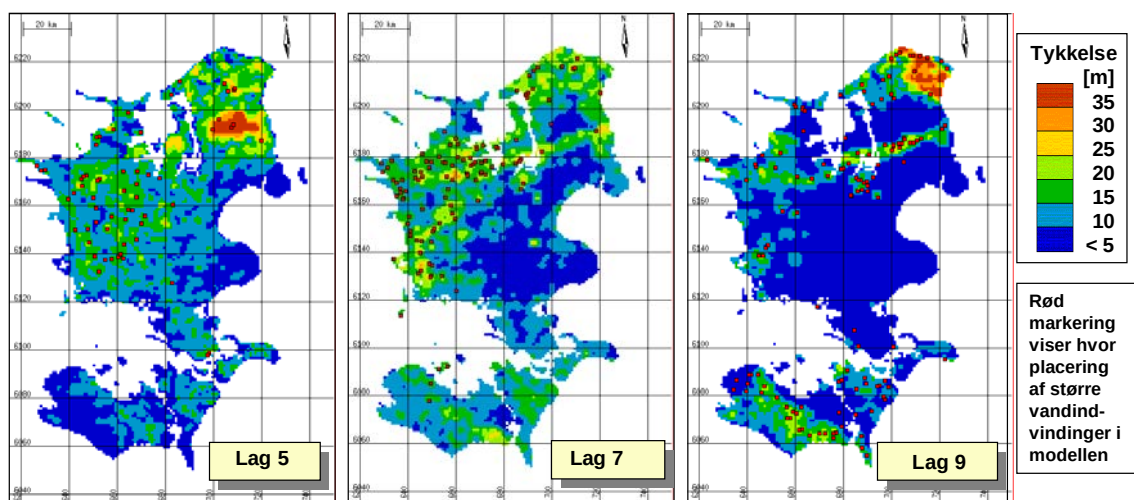
5. MODELOPSTILLING

I forbindelse med den geologiske tolkning er de enkelte magasiner kun truffet i et delområde af det samlede modelområde. Således har de enkelte magasiner en udstrækning jf. nedenstående

Lag 3 har en maksimal tykkelse på 19.2 meter og er defineret i	2488 grids
Lag 5 har en maksimal tykkelse på 38.3 meter og er defineret i	8111 grids
Lag 7 har en maksimal tykkelse på 24.2 meter og er defineret i	14835 grids
Lag 9 har en maksimal tykkelse på 36.9 meter og er defineret i	16572 grids

Som det er antydnet (Figur 2) eksisterer alle lag for hele modelområdet. Dette skyldes, at MIKE SHE kun kan operere med modellag der dækker hele modelområdet. Der er derfor anvendt en lagtykkelse på 10 cm, hvor lag ikke er identificeret ved den geologiske tolkning.

Bunden af det øverste lag i modellen er i landområder fastsat til en dybde på 3.5 m under modeltop. I havområder er tykkelsen af det øverste lag fastlagt ved vanddybden (Figur 2). Ved interpolation og beregning af koter er anvendt den bi-lineære interpolation som er en del af MIKE SHE's faciliteter.



Figur 5 Tykkelse af vandførende lag (lag 5, 7 og 9)

Inddata til den geologiske model består af tolket topkote og tykkelse for de 4 smeltevandssandlag (lag 3, 5, 7 og 9) i den hydrostratigrafiske model. Desuden indgår topkoter for den vandførende del af kalken (lag 11) samt kalkens tykkelse, som er sat til 50 meter. Tykkelsen af de mest vandførende lag (lag 5, 7 og 9) er vist ovenfor (Figur 5) sammen med oplysninger om placering af større vandindvindinger.

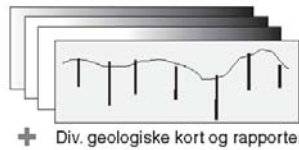
På baggrund af oplysninger i borearkivet er de enkelte geologiske lag analyseret i forhold til indholdet af sand eller ler i de enkelte borer. Figur 6 viser en skitse over hvorledes den konceptuelle model, den geologiske tolkningen og modelopsætningen er sammenstykket.

Øernes model (håndtolkning)

Modelområde

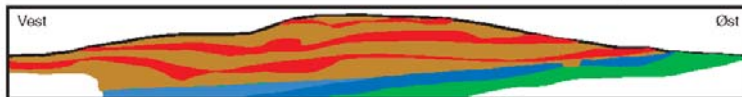


Profiler



For det udvalgte modelområde udtegnes der først geologiske profiler og ud fra disse sammenholdt med, hvad der ellers findes af geologiske informationer, opstilles en konceptuel hydrogeologisk model. Modellen skal opfylde kravene til den matematiske strømningsmodel (MikeShe) og har derfor samme antal gennemgående lag i hele modelområdet. For Fyn er der således anvendt 3 sandlag (smeltevand) og på Sjælland 4 sandlag.

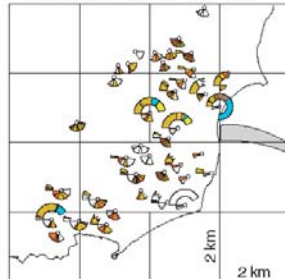
Konceptuel model



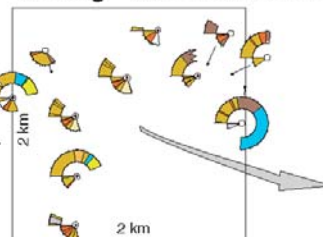
- Lag 1 - Moræneler
- Lag 2 - Smeltevandssand
- Lag 3 - Moræneler
- Lag 4 - Smeltevandssand
- Lag 5 - Moræneler
- Lag 6 - Smeltevandssand
- Lag 7 - Moræneler
- Lag 8 - Palæocæn/Eocænler
- Lag 9 - Kalk

Tolkningen af geologien er foretaget på de trykte basisdatakort i 1:50.000 - evt. på nyere s/h-plots. Kortene er inddelt i 2 x 2 km. celler, og ud fra borerne placeret i cellen er der tolket en "virtuel boring" i centrum af cellen. Hvis der ingen borer er, anvendes oplysninger fra de omgivende celler.

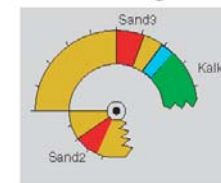
Basisdatakort 1:50.000



Tolkning



Virtuel boring



Tolkningen er skrevet ind i en datafil, hvor sandlagenes topkote og tykkelse er angivet. Lagenes kote og tykkelse er tolket med hele meterangivelser. Hvor sandlagene ikke er beskrevet i borerne, er tykkelsen angivet som et decimaltal. Dette princip anvendes pga. kravet om gennemgående lag. Decimalangivelsen er anvendt for at vise, hvilke lag der er skønnet og er ikke et udtryk for præcision.

Datafil

X-utm	Y-utm	Sand1		Sand2		Sand3		præ-Q		Kalk	
		K2	T2	K4	T4	K6	T6	K8	Bjæ	K9	Bjæ
567000	6135000	45	15	15	0,1	-25	0,1				
571000	6135000	45	4,1	8	19	-20	0,1				
573000	6135000	50	5,1	15	10	-15	0,1				
575000	6135000	50	15	12	10	-10	0,1	-12	r	-82	bk
577000	6135000	55	10	5	15	-10	8				
579000	6135000			15	12	-20	20	-40	pl	-62	bk
583000	6135000			5	5	-22	14	-36	pl		
587000	6135000			5	2	-20	15	-36	pl	-57	zk
589000	6135000			20	15	-5	5	-40	pl	-47	bk

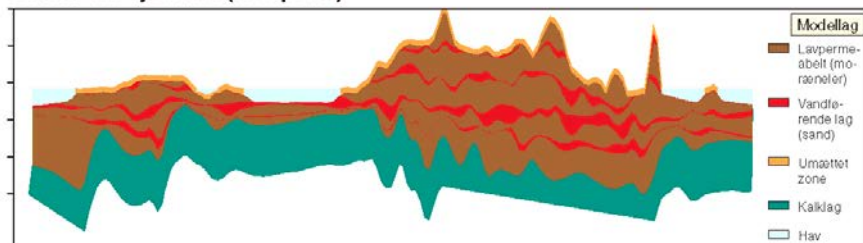
K = Lag-topkote, T = Tykkelse

præ-Q = Prækvartær overflade
pl = Palæocæn ler
r = Skifer
bk = Bryozokalk
zk = Daniell-kalk

- Lag 2 (Sand 1 - smeltevandssand) mangler - over terræn.
- Lag 6 (Sand 3 - smeltevandssand) mangler i boring og tykkelsen af laget er sat til 10 cm.
- Lag 2 (Sand 1 - smeltevandssand). Laget er ikke beskrevet/fundet i borerne, men er lagt ind i den virtuelle boring.

Sand1 svarer i strømningsmodellen til lag2, det der antages at være et lerlag - primært moræneler over og under sandlaget. Datafilen med oplysninger om lagkoter og tykkelser omformes og importeres til MikeShe-strømningsmodellen, hvor der så interpoleres mellem punkterne (de "virtuelle borer"), og den hydrologiske tolkning omdannes til celler med forskellig tykkelse afhængigt af geologien. Herved fremkommer der en hydrologisk opbygning som vist i N-S-profilen for Sjælland. Øverst er indsat en fast umættet zone på 10 meter. På Sjælland er der tolket 4 sandlag, hvor det øverste kun ses i de højtliggende områder, medens sandlag mangler, hvor kalken er højtliggende.

DK-model Sjælland (N-S-profil)

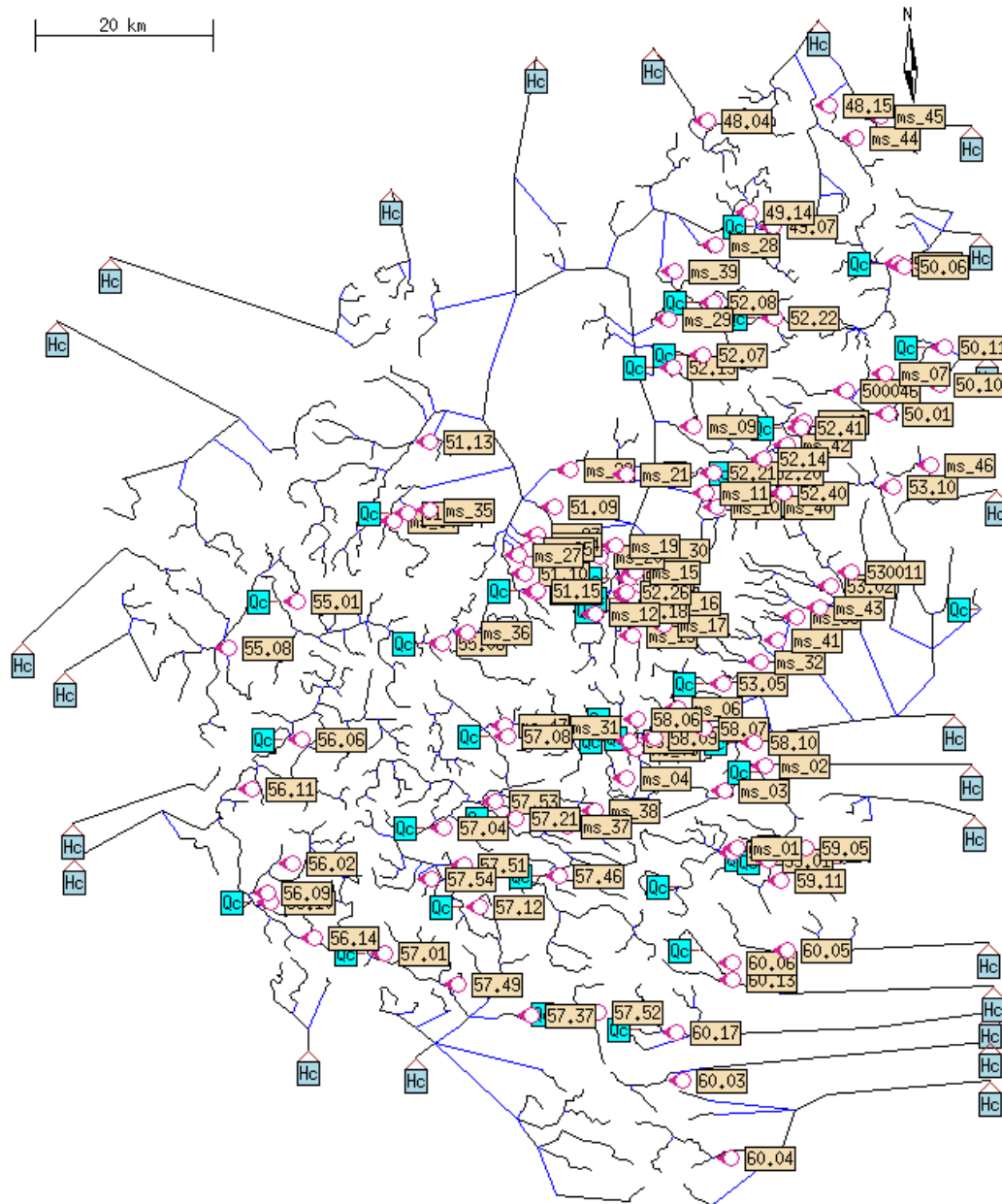


(Grafik: Per Nyegaard)

Figur 6 Tolkningsmodel for DK-model Sjælland (fra GeologiskNyt 5/03)

5.1 Vandløbs opsætning

Figur 7 viser de implementerede vandløbssetup, placering af spildevands bidrag, randbetinger og vandføringsmålestationer. Der er i den oprindelige opsætning af modellerne ikke genereret ét samlet vandløbssetup, men derimod 3 separate setup. Disse er nu samlet til et fælles vandløbssetup, der dækker hele Sjælland minus Lolland, Falster og Møn



Figur 7 Vandløbssetup

Der er benyttet 6 forskellige forenklede trapezformede vandløbstværsnit. Placeringen af de forenklede tværsnit er fastlagt med udgangspunkt i medianminimumsafstrømningen (Tabel 1), en analyse af opmålte profiler og en sammenligning med tilhørende medianminimumsafstrømninger. Mellem tværprofiler i setup'et interpolerer MIKE SHE tværprofiler for øvrige knudepunkter.

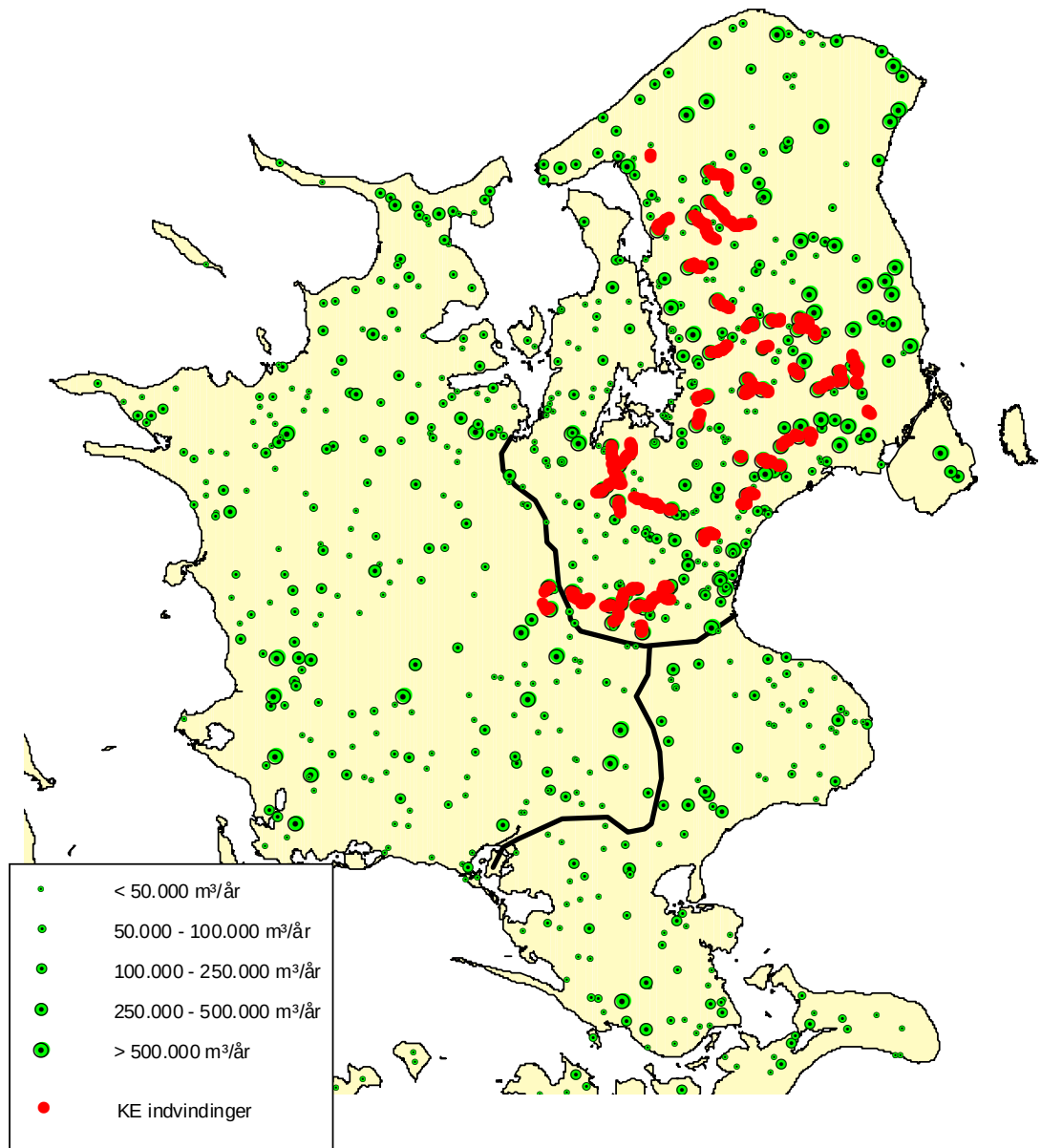
Tværsprofil	Med.min. afstrømning	Bundbrede [m]	Bredde ved krone [m]	Dybde [m]	Manningtal
1	5	2.1	4.5	1.0	20
2	25	2.4	5.4	1.0	20
3	100	4.0	8.0	1.5	20
4	250	5.2	11.4	1.5	20
5	1000	10.0	18.0	2.0	20
6	fra udløb til rand	18.0	20.0	2.0	30

Tabel 1 Anvendte forenklede tværprofiler samt tilhørende fysiske parametre

I modellen er inkluderet en række større spildevandsudledninger. Disse er på vandløbsse-tup figuren angivet som Q_c (Figur 7). Spildevandstilledninger simuleres med konstant bi-drag.

5.2 Indvindinger

Som en del af opgaven med at samle de tre delmodeller til én model for Sjælland er KE's kildepladser blevet fordelt efter indvindingsmønstret på de enkelte kildepladser. Der var flere grunde til at forsøge at forfine modellen på netop dette område. Dels er indvindingerne i den Nationale vandressource Model, modelmæssigt og som hovedregel, placeret med en enkelt indvinding pr kildeplads. Flere af kildepladserne har en indvindingsstruktur der strækker sig over 2-3 km. Dels er hovedparten af KE's kildepladser er placeret langs vand-løb eller i ådale inden for området. Figur 8 viser den daværende indvindings fordeling med grønt, og placeringen af produktions borer tilknyttet KE's kildepladser med rødt.



Figur 8 Placering og størrelse af indvindinger, med rødt er angivet placeringen af KE's kildepladser

I modellen er kildeplads indvindingerne blevet linie fordelt alt efter placeringen af KE's produktions borer. Linie fordelingen betyder samtidigt at der ikke er foretaget en vurdering af de enkelte boringers andel, men at den samlede indvinding er blevet fordelt ligeligt langs linien.

6. KALIBRERING

6.1 Parameter fastsættelse

Valget af en maskevidde på 1 km var baseret på et slags kompromis. Brugen af et 1 km net er en grov approksimation men må betragtes som rimelig i relation til formålet med modellen. Den valgte gridstørrelse på 1 km gør det imidlertid nødvendigt at simplificere en række forhold som er vigtige for grundvandsdannelsen og genereringen af afstrømning såsom topografi og geologisk heterogenitet, drænsystem og vandløb (Henriksen et al., 1998; Dahl et al., 1998).

I princippet kan rumligt distribuerede modeller regne på parameterverdier for hvert grid element eller beregningsknudepunkt. I praksis, på grund af heterogenitet i parameterverdier, forskelle mellem observationsskala og model grid skala, og eksperimentelle begrænsninger, så er specifikationen af parameterverdier vanskelig (Rosso, 1994). Derfor blev det som et vejledende princip besluttet at konstruere en model som bestod af så få frie parametre som muligt. Dvs., der blev så vidt muligt antaget ensformige parameterverdier over hele modelområdet for de geologiske lag bestående af moræner og sand så vel som for de fleste overfladekomponent parametre.

De hydrauliske parametre kan underinddeles i 3 grupper:

- parametre der styrer fordelingen af nedbør mellem evapotranspiration, grundvandsdannelse og overfladisk afstrømning fra bl.a. befæstede arealer (rodzonemodul)
- parametre der styrer grundvandsstrømning, drænastrømning og udveksling mellem grundvand og vandløb (mættet zone model), og
- parametre der styrer overfladisk afstrømning og kanalstrømning (overland og kanalstrømningsmodel)

DK-model sjeke er i princippet ikke om-kalibreret, idet der er anvendt parameter-sæt fra de tidligere kalibrerede modeller DK-model Sjælland Nord, Syd og Vest. Som nævnt tidligere er DK-model sjeke opstået ved at samle de tre tidligere modeller på nær øerne Lolland, Falster og Møn. For kalibrerings metodik og kalibrerings resultater henvises til to rapporter dels GEUS rapport 1998/10 omhandlende modelopstilling og kalibrering af DK-model Sjælland (Henriksen et al 1998) og dels NOVA 2003 Temarapport omhandlende den nationale vandressource opgørelse (Henriksen og Sonnenborg 2003).

For at tjekke modellens evne til at simulere grundvands trykniveauer og vandløbs afstrømninger er der gennemført en dynamisk kørsel, hvor modellens resultater er sammenlignet med observations data for perioden 1991-1996. Denne periode er identisk med den tilsvarende valideringsperiode anvendt som performance tjek for de enkelte delmodeller (DK-model Sjælland Nord, Syd og Vest [Henriksen et al 1998]). Modellens simulerings evne er desuden blevet sammenholdt med de tidligere modelresultater. I det følgende er der en kort beskrivelse af de anvendte performance kriterier og opnåede resultater.

6.2 Fastlæggelse af nøjagtighedskriterier

Performance kriterier blev udvalgt så de afspejler formålene med modelleringen, som er simulering af udnyttelig ressource, der afhænger af påvirkninger af trykniveau og vandløbsafstrømning ved et antal lokaliteter. De fire kalibreringskriterier var:

(1) Et mål for afvigelse mellem simuleret og observeret trykniveau:

$$R M S = \frac{1}{N} \sqrt{\sum_j^N \left((H_{s,j} - H_{o,j})^2 \right)} \quad , \quad \in [0; \infty[$$

(2) Et mål for modellens evne til at simulere gennemsnitlig afstrømning for en bestemt vandføringsstation:

$$F_{Bal} = 100 \frac{\overline{Q_o} - \overline{Q_s}}{\overline{Q_o}} \quad , \quad (\%)$$

(3) Et mål for evnen til at simulere variation i afstrømningshydrografen for en bestemt vandføringsstation (Nash and Sutcliffe, 1970):

$$R^2 = \frac{\sum_i (Q_{o,i} - \overline{Q_o})^2 - \sum_i (Q_{s,i} - Q_{o,i})^2}{\sum_i (Q_{o,i} - \overline{Q_o})^2} = 1 - \frac{\sum_i (Q_{s,i} - Q_{o,i})^2}{\sum_i (Q_{o,i} - \overline{Q_o})^2} \quad , \quad \in]-\infty; 1]$$

(4) Et mål for evnen til at simulere minimumsafstrømningsforhold ved en bestemt vandføringsstation (Wood, 1974):

$$FL = \sum_i \left[\frac{(Q_{o,i} - Q_{s,i}) \overline{Q_o}}{Q_{o,i}^2} \right]^2 \quad ,$$

hvor

$H_{s,j}$: simuleret trykniveau for boring j (m)

$H_{o,j}$: observeret trykniveau for boring j (m)

$Q_{s,i}$: simuleret daglig vandføring for dag i (l/s)

$Q_{o,i}$: observeret daglig vandføring for dag i (l/s)

$\overline{Q_o}$: gennemsnitlig observeret afstrømning i test perioden (l/s)

$\overline{Q_s}$: gennemsnitlig simuleret afstrømning i test perioden (l/s)

Minimumsafstrømningsindikatoren FL er meget følsom overfor observeret afstrømning tæt på nul og forudsætter omhyggelig udvælgelse af vandføringsstationer til kalibrering og validering. For at minimere støj bliver FL normaliseret i forhold til en valgt referencekørsel:

$$FL_{normalised} = \frac{FL}{FL_{reference-run}}$$

Modellens nøjagtighed i valideringskørsler blev vurderet svarende til det angivne nøjagtighedskriterium i Tabel 2. Det skal bemærkes, at kriteriet ikke er af typen ja/nej, men at performance vurderes i fem kategorier fra udmærket (excellent) til meget dårlig (very poor). Rationalet bag performance kriteriet er i NOVA 2003 Temarapporten beskrevet:

RMS værdien for trykniveau skal sammenlignes med usikkerheden på observeret trykniveau. Kilderne til usikkerhed og den opgjorte værdi er fastlagt som følger (Sonnenborg, 2001):

- målefejl: 0.1 m
- fejl på målepunktskoten: for mange boringer er kotefastsættelsen sket på basis af topografiske kort: 1.5 m
- skalafejl idet boringen er tilfældigt placeret indenfor et 1 km² modelgrid. Denne fejl kan vurderes som en typisk hydraulisk gradient multipliceret med halvdelen af gridstørrelsen: 1.5 m
- skalafejl som svarer til heterogenitet indenfor et modelgrid. Ifølge Gelhar (1996) kan denne fejl vurderes som autokorrelationslængden skalaen for log K (logaritmen for hydraulisk ledningsevne) multipliceret med standardafvigelsen af log K og den gennemsnitlige hydrauliske gradient: 2.1 m
- fejl som skyldes ikke stationaritet. Observationer stammer fra forskellige årstider. Fejlen kan estimeres som halvdelen af den typiske årlige fluktuation: 0.5 m
- andre effekter som følge af vertikal skalafejl og variationer i topografi: 0.5 m

Dette kan opgøres til en samlet fejl på 3.1 m, og svarer dermed til en RMS værdi på 6.2 m ved en 95 %'s konfidensgrænse. Sammenlignet med tabellen svarer dette til den midterste performance kategori (god).

Performance indikator	Fremragende (5 points)	Meget god (4 points)	God (3 points)	Ringe (2 points)	Meget ringe (1 point)
RMS (m)	< 4	4–6	6–8	8–10	> 10
R^2	> 0.85	0.65–0.85	0.50–0.65	0.20–0.50	< 0.20
F_{bal}	< 5%	5–10%	10–20%	20–40%	> 40%
Aggregeret score	☆☆☆☆☆	☆☆☆☆	☆☆☆	☆☆	☆

Tabel 2 Opstillede performance kriterium for DK modellen

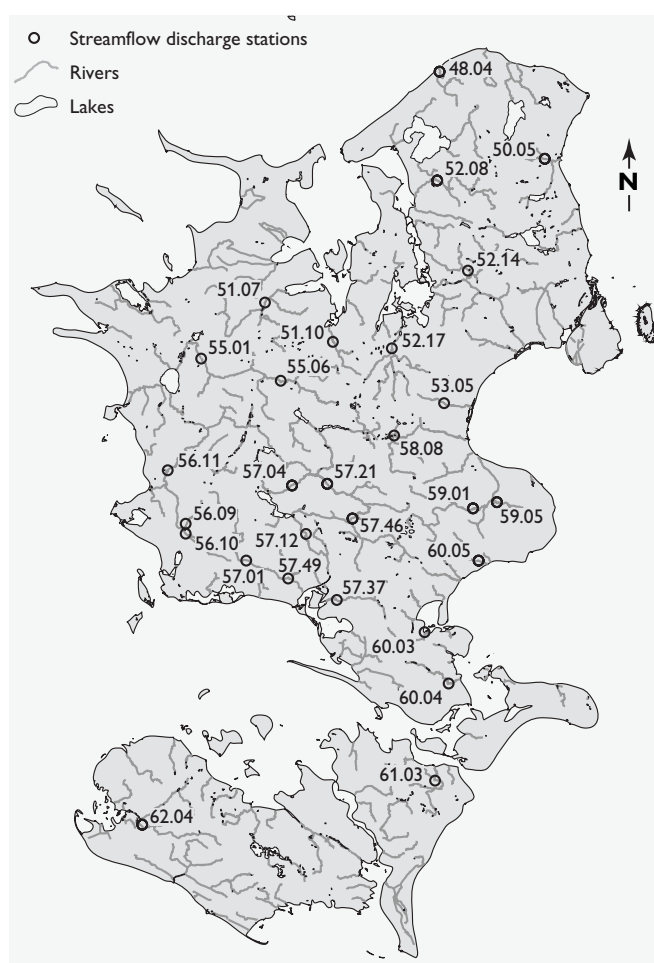
- Erfaringer med R^2 værdier for nedbør-afstrømningsmodeller (Nielsen og Hansen, 1973; Refsgaard, 1997) og for internationale vandløb (Harlen, 1991; Lidén, 2000 og Andersen et al., 2001) foreslår R^2 værdier mellem 0.50 og 0.95.
- F_{bal} for vandbalancen skal være så tæt på nul som muligt. Performance klasserne i tabellen er identiske med dem i Andersen et al. (2001).
- Der findes ikke nogen specifikke værdier for FL-værdien for minimumsafstrømning, men denne værdi skal være så lille som mulig.
- RMS værdier beregnes for hvert beregningslag, hvorimod R^2 værdien og F_{bal} beregnes for de udvalgte vandføringsstationer.

6.3 Performance sammenstilling

Observeret trykniveau fra GEUS's boringsdatabase fra 1970-96 blev anvendt. Dvs. der blev anvendt trykniveaudata fra 4439 borer (en observation pr. boring), med filtre fordelt over 9 beregningslag, som blev anvendt som et mål for den observerede "stationære" trykniveau. Daglig afstrømning fra 28 vandføringsstationer for perioden 1988-96 (Figur 9) blev anvendt til valideringstests.

Beregningslag	Hydrostratigrafisk enhed	Antal observationer	Udvalgte observationer	Procentvis fordeling (%)
1 (geolog 1+2+3)	Sprækket moræner og lokale sandlag	163	106	2.4
2 (geolog 4)	Moræner	113	113	2.5
3 (geolog 5)	Øvre regionale sandmagasin	379	376	8.5
4 (geolog 6)	Moræner	317	304	6.8
5 (geolog 7)	Mellemste regionale sandmagasin	319	318	7.2
6 (geolog 8)	Moræner	171	170	3.8
7 (geolog 9)	Nedre regionale sandmagasin	147	142	3.2
8 (geolog 10)	Moræner	89	89	2.0
9 (geolog 11)	Kalk	6898	2821	63.6
Total antal trykniveauobservationer		8596	4439	100.0

Tabel 3 Kalibreringsmål for trykniveau for Sjælland



Figur 9 Udvalgte 28 vandføringstationer på Sjælland

Model valideringen for den nye samlede model DK-model SJKE bestod af følgende meto-
dik:

- simulering for hele Sjælland for perioden 1991-96 med samme parametre som be-
stemt for de tre andre delmodeller. Denne valideringstest kan klassificeres som en
proxy-basin test (Klemes, 1986), og angiver modellens evne til simulering for andre
dele af landet uden egentlig kalibrering

Resultaterne af proxy-basin valideringstesten i forhold til målt afstrømning og trykobservati-
oner er sammenfattet for Sjælland i Tabel 5 og Tabel 4. I beskrivelsen af underområderne
findes simulerede og observerede afstrømnings hydrografer.

**Tabel 4 R², F_bal og F_low sammenstilling, valideringstest for SJKE Gennemsnittet
for F_low svarer til den gennemsnitlige afvigelse fra de oprindelige resultater (jo'
lavere des bedre)**

station	dk-model	R ²		F_bal		F_low	
		dk	sjke	dk	sjke	dk	sjke
Q53.05	sjn	0.83	0.83	3%	4%	10153	8938
Q52.17	sjn	0.87	0.81	6%	21%	16	8
Q52.14	sjn	0.56	0.59	-19%	-12%	2163	1521
Q52.08	sjn	0.81	0.80	14%	17%	60	37
Q48.04	sjn	0.80	0.80	-9%	-8%	1757	1593
Q50.05	sjn	0.80	0.79	3%	6%	11969	4748
Q51.10	sjn	0.68	0.61	0%	12%	159976	95349
Q58.08	sjn	0.82	0.88	-13%	-2%	116201	70243
Q60.04	sjs	0.87	0.88	-8%	4%	94	181
Q60.03	sjs	0.68	0.68	34%	37%	1.8E+06	2.8E+05
Q57.37	sjs	0.80	0.78	11%	-21%	39	21
Q60.05	sjs	0.56	0.64	-44%	-28%	135269	99441
Q59.01	sjs	0.78	0.81	17%	6%	1789	1003
Q59.05	sjs	-0.04	0.20	-55%	-44%	805	473
Q57.01	sjv	0.77	0.77	-26%	-26%	15312	6885
Q57.49	sjv	0.86	0.86	-4%	-5%	7.0E+24	9.0E+24
Q56.10	sjv	0.66	0.77	-43%	-21%	28	16
Q56.09	sjv	0.89	0.90	-7%	-7%	230	129
Q51.07	sjv	0.91	0.90	6%	7%	1.9E+09	8.4E+08
Q55.06	sjv	0.90	0.91	-9%	-4%	28	15
Q55.01	sjv	0.91	0.91	-4%	-2%	152	106
Q57.46	sjv	0.86	0.85	-11%	-13%	53	33
Q57.21	sjv	0.91	0.91	3%	8%	18	5
Q57.04	sjv	0.94	0.91	9%	-6%	4	2
Q57.12	sjv	0.93	0.82	4%	3%	1	2
Q56.11	sjv	0.90	0.90	-2%	-1%	64941	43876
Gennemsnit		0.78	0.79	-5.5%	-2.9%	100%	68%

Tabel 5 RMS sammenstilling, valideringstest resultat for SJKE

RMS	sjn	sjv	sjs	sjke
Lag 1	1.98	12.15	14.65	5.53
Lag 2	5.13	13.13	16.78	8.70
Lag 3	4.87	7.95	5.80	5.26
Lag 4	5.96	10.08	7.07	7.50
Lag 5	4.49	7.81	6.23	5.51
Lag 6	4.34	8.76	4.36	6.31
Lag 7	3.56	9.39	5.97	4.99
Lag 8	6.82	7.25	5.24	7.12
Lag 9	7.00	6.93	7.27	7.17
Vægtet RMS	6.19	7.73	7.28	6.82

Den aggregerede score vist i Tabel 6 giver et letforståeligt overblik af modellens performance, i forhold til de 3 del modeller og de 3 benyttede kriterier. Den nye samlede model har på alle måder en performance som er bedre eller lige så god som de tre del modelversioner.

Tabel 6 Aggregeret score for DK-model Sjælland (SJKE) sammenlignet med de tre delmodeller DK-model Sjælland Nord, Syd og Vest

Model	RMS	R²	Fbal
<i>DK-model Sjælland Nord</i>	***	****	****
<i>DK-model Sjælland Vest</i>	***	*****	****
<i>DK-model Sjælland Syd</i>	**	****	***
<i>Ny model (DK-model sjke)</i>	***	****	*****

7. SIMULERINGER

7.1 Metodik

Vurdering af bæredygtig ressource ('safe yield' og 'sustainable yield') var i Ferskvandets Kredsløb baseret på 4 indikatorer, der dels beskrev vandindvinding i relation til grundvandsdannelse, og dels beskrev vandløbspåvirkning i relation til vandløbsafstrømning (middel og minimum). Opgaven i forbindelse med DK-model KE er ikke at foretage en ny vurdering af bæredygtig ressource, men derimod at tilvejebringe et bedre beslutningsgrundlag (i form af et diskussionsoplæg) der beskriver hvordan vandbalancen under nuværende vandindvindingsforhold og for et par alternative scenarier, ser ud indenfor KE's vandværksoplande, Figur 10:

- Slangerup (område 1)
- Sønderø (område 2)
- Marbjerg-Islevbro (område 3)
- Thorsbro (område 4)
- Lejre (område 5)
- Regnemark (område 6)

Tabel 7 Scenarieoversigt

Navn	Vandindvinding
Reference indvinding	Nuværende indvinding i perioden 1990-1999
0 %, 50 %, 80 %, 100 %, 120 % og 150 %	Skaleret vandindvinding (både KE og øvrige) - 0 % indvinding er valgt som nul reference scenarie
KE_0 scenarie	Ingen vandindvinding på KE kildepladser, øvrige indvindinger som for reference indvinding
SC_1 scenarie	Forøget indvinding i Slangerup og Sønderø, reduceret indvinding for Lejre og Regnemark

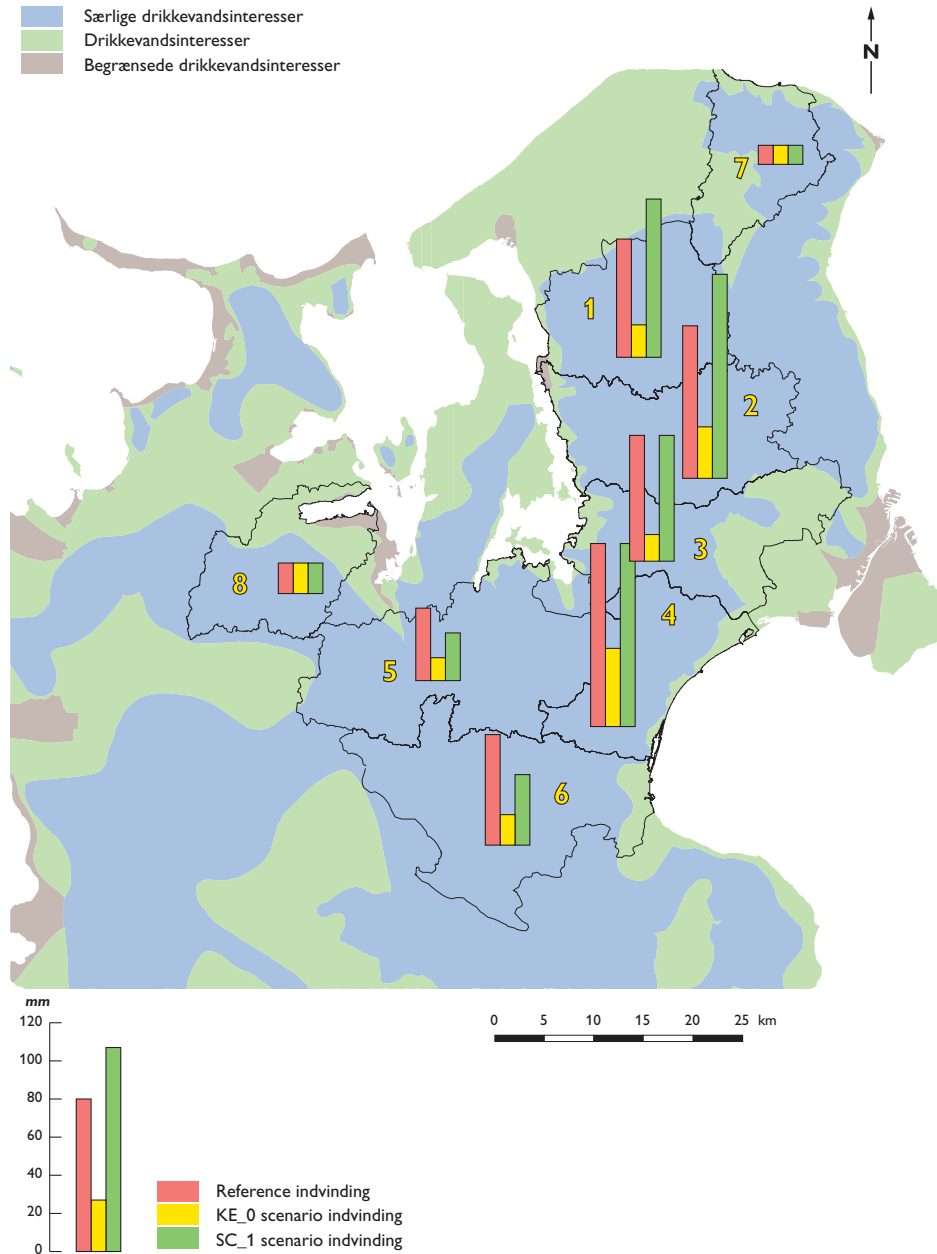
Udover opgørelser af vandbalancen for disse områder, så er der også aggregeret resultater for hele det opland KE indvinder fra, samt det samlede OSD område indenfor dette opland. Endelig er der aggregeret vandbalancer for et par områder som KE har vurderet interessante for en evt. fremtidig indvinding: dels Esum området i Nordsjælland (område 7) og dels et område vest for Holbæk (område 8). De primære resultater af nærværende undersøgelser er følgende (for de alternative scenarier):

På oplandsniveau (for ovenstående områder):

- Grundvandsdannelser (midlede tal og temakort for dybere grundvandsdannelse til beregningslag 3)
- Vandløbsafstrømninger (midlede tal og distribuerede tal på recipientmålsætningskategorier)
- Afsænkninger af grundvandsspejlet under kote 0 og under kalkoverfladen
- Indikatorberegninger med indikatorer fra Ferskvandets Kredsløb (1-4) samt en modificeret indikator 4*, der er mindre skala-afhængig

Opgjort for udvalgte vandløbspunkter:

- Min vandføring, 5-, 10-, 25-, 50-, 75-, 90-, 95-% fraktiler og max. vandføring for perioden 1991-1996



Figur 10 Underområder, OSD område og vandindvinding ved tre scenarier

I det følgende gives først en kort præsentation af metodik hvorefter resultater præsenteres i afsnit 6.2.

7.2 Grundvandsdannelser

Grundvandsdannelsen til beregningslag 3 (de dybere regionale magasiner typisk i 20-30 meters dybde) udtrækkes ud fra resultater for 1x1 km grid og aggregeres med tal for normalt år, tørt år og vådt år for områder. Der foreligger tal for en række pumpeintensiteter hhv. 0, 50, 80, 100, 120 og 150 % (ud fra stationær model) for hvert scenarie. Tal præsenteres i enheden mm/år. Tal vises på kort og i tabel for normal, tørt og vådt klima for de forskellige alternative scenarier.

7.3 Vandløbsafstrømninger

Middelafstrømningen udtrækkes ud fra modellen og aggregeres med tal for normalt år, tørt år og vådt år for områder. Der foreligger tal for en række pumpeintensiteter hhv. 0, 50, 80, 100, 120 og 150 % (ud fra stationær model) for hvert scenarie. Tal præsenteres i enheden mm/år. Tal vises på kort og i tabel for normal, tørt og vådt klima for de forskellige alternative scenarier.

Minimumsafstrømningen udtrækkes ud fra modellen og aggregeres på recipientkategorier A, B1, B2, B3 og C-E for områder med tal for normalt år. Der foreligger tal for en række pumpeintensiteter 0 %, 100 % og 150 %. Tal vises på kort og i tabel for normalt klima.

7.4 Afsænkninger af trykniveauet under kalkoverfladen

Simuleret trykniveau for beregningslag 9 udtrækkes fra simuleringer i lighed med grundvandsdannelser og på baggrund af nul indvinding kan afsænkning af grundvandsspejlet under kalken beregnes i m. Det undersøges hvor stor en del af modelområdet der befinder sig indenfor forskellige kategorier afsænkning under kalkoverfladen ved de alternative scenarier. Resultater vises på kort- og tabelform.

7.5 Indikator beregninger

I beregningerne af grundvandsdannelse, afstrømning og indikator værdier for oplandet der dækker KE's kildepladser er den samlede DK-model for Sjælland (DK-model SJKE) benyttet. Indikator værdierne er udregnet efter principperne i NOVA temarapporten "Ferskvandets kredsløb". Det giver os et modelbaseret grundlag for at sammenligne opgørelser af den udnyttelige ressource med fokus på indvindinger indenfor oplandet til KE's kildepladser med den landsdækkende opgørelse fra Ferskvandets kredsløb.

I de nye beregninger zoom'es ind på områder, der i den landsdækkende opgørelse er beskrevet som ret kraftigt udnyttede. Dermed bliver resultatet af beregningerne baseret på de landsdækkende indikatorer en tydelig overudnyttelse af ressourcen i området (flere steder med ca. 3 gange). Det skal imidlertid understreges, at formålet med de nye simuleringer ikke er at vurdere den udnyttelige ressource for KE's kildepladsoplande, men derimod at fokusere på hvordan oppumpning, grundvandsdannelse, vandløbsafstrømning, trykniveau osv. påvirkes ved udvalgte scenarier. Det vil sige at formålet i højere grad er at illustrere

hvordan udnyttelsesgraden ændres ved de opstillede scenarier, som grundlag for en diskussion af den fremtidige vandindvinding i området.

Resultaterne for de 4 indikatorer må ikke opfattes som et gyldigt udtryk for den udnyttelige ressources størrelse, idet skalaen er en anden end benyttet for den landsdækkende DK model. Man kan ikke umiddelbart overføre forudsætningerne for de fire indikatorer til en mindre skala, det vil kræve en revision af hvilken procentdel af grundvandsdannelsen der kan udnyttes, eller hvilken reduktion i vandløbsafstrømning der er acceptabel. Hvis man fx skulle opfylde et krav om at man kun måtte pumpe 1/3 af grundvandsdannelsen jf. indikator 1 eller 2 lige omkring boringen, så ville man i praksis ikke kunne indvinde vandmængder af betydning. Vurderinger på mindre skala ville derfor kræve en revurdering af hvor meget der kan pumpes uden at der opstår problemer med vandkvalitet eller recipienter. Det har ikke været muligt at kvantificere sådanne reviderede forudsætninger for de fire indikatorer.

Modellen arbejder ud fra daglige klima variationer og en detaljeret beskrivelse af strømmingen i undergrunden på baggrund af data fra flere hundrede tusinde borer. Geologien er tolket med 11 geologiske lag. Vandstrømningen i de øvre jordlag, i dræn og til vandløb beskrives relativt detaljeret. Modellen er for nærværende benyttet til stationære og dynamiske simuleringer af trykniveau / afsækning, grundvandsdannelse til magasiner i forskellige dybde og vandløbsafstrømning.

Ud fra de daglige data for nettonedbør er der tilvejebragt følgende datasæt:

- årlig nettonedbør og periodegennemsnittet 1991-2000 (input til stationære kørsler)
- daglig nettonedbør 1991-2000 hvorudfra der er midlet en serie med gennemsnitlig årstidsvariation (input til dynamiske simuleringer)
- oppumpning er midlet for perioden 1991-1999 med forhold for fraregning af uregelmæssige år

Herudfra er der genereret oppumpninger svarende til:

- 0, 100 og 150 % vandindvinding til brug for dynamiske simuleringer
- 0, 50, 80, 100, 120 og 150 % vandindvinding til brug for stationære simuleringer

Opgørelsen er foretaget med 4 indikatorer (2 defineret ud fra dybere grundvandsdannelse og 2 defineret ud fra afstrømning, alle defineret i NOVA 2003 Temarapporten). Dette giver tal for udnyttelig ressource for hele KE-kildeplads oplandet (ca. 1700 km²), OSD området indenfor KE-kildeplads oplandet (ca. 1500 km²) og 6-8 typisk 4-8 kildepladser (ca. 150 - 400 km²).

Ud fra de daglige data for nettonedbør er der tilvejebragt følgende datasæt:

- årlig nettonedbør og periodegennemsnittet 1991-2000 (input til stationære kørsler)
- daglig nettonedbør 1991-2000 hvorudfra der er midlet en serie med gennemsnitlig årstidsvariation (input til dynamiske simuleringer)
- oppumpning er midlet for perioden 1991-1999 med forhold for fraregning af uregelmæssige år

Herudfra er der genereret oppumpninger svarende til:

- 0, 100 og 150 % vandindvinding til brug for dynamiske simuleringer

- 0, 50, 80, 100, 120 og 150 % vandindvinding til brug for stationære simuleringer

Opgørelsen er foretaget med 4 indikatorer (2 defineret ud fra dybere grundvandsdannelse og 2 defineret ud fra afstrømning, alle defineret i NOVA 2003 Temarapporten). Dette giver tal for udnyttelig ressource for hele KE-kildeplads oplandet (ca. 1700 km²), OSD området indenfor KE-kildeplads oplandet (ca. 1500 km²) og 6-8 typisk 4-8 kildepladser (ca. 150 - 400 km²).

7.5.1 Valg af reference scenarie for simuleringskørsler

Følgende er valgt som "nul-reference situationen":

- ingen vandindvinding (det antages at alle oppumpninger er slået fra)
- nettonedbør svarende til 1991-2000 (hhv. stationært og dynamisk datasæt)
- arealanvendelse svarende til kalibreret og valideret model (skov, vådområde, åbent land og byområde)

Herved er det muligt at vurdere påvirkning af vandføring i %, i forhold til nul-reference scenariet, når ændret klima og vandindvinding antages, samt at vurdere ændret grundvandsdannelse (ligeledes i %), i forhold til situationen uden vandindvinding. Der har været delte meninger om hvilken referencesituation, der er den mest hensigtsmæssige. Situationen som vi har valgt med "ingen vandindvinding", er ret forskellig fra den nuværende situation, og det er derfor også noget "usikkert" hvor pålidelig modellen er til at beskrive denne nul-reference situation. Det er valgt at holde fast i denne nul-reference, således at det er muligt at sammenligne resultaterne med 'Ferskvandets kredsløb' og fordi vi herved kan fastholde en så ensartet metodik som muligt.

Det skal samtidigt erkendes at der er behov for mere viden om hvor god modellen er til at beskrive situationen før "urbanisering" og "uden oppumpning", evt. kombineret med en klimamodel, der kan give input til DK-modellen tilbage i tid, for en længere årrække (fx 1800-1900). De lidt sporadiske tests der er lavet (se NOVA 2003 Temarapport) for fx Havelse å's vandføring og afsænkninger af grundvandsspejlet i Hovedstadsregionen, viser indtil videre rimelig god overensstemmelse omkring modellens pålidelighed til simulering af nul-reference situationen.

7.5.2 Definition af udnyttelig grundvandsressource

Følgende er hentet fra NOVA 2003 Temarapport. *Vurdering af udnyttelig grundvandsressource ("safe yield") er den vandmængde, der med bibeholdelse af en god vandkvalitet og opretholdelse af recipient hensyn, maksimalt kan indvindes fra et grundvandsmagasin, og som gendannes naturligt uden uønskede følger som f.eks. (Miljøstyrelsen, 1995):*

- Fortsat afsænkning af grundvandsmagasinet
- Kvalitetsforringelser i magasinet som følge af overudnyttelse (sulfat, nikkel mv.)
- Ind- og opsvivning af saltvand
- U hensigtsmæssig påvirkning af eksisterende vandindvindinger (afsænkning)

- Uacceptabel reduktion af vandløbenes minimumsvandføring (indvinding) reducerer minimumsvandføring under kravværdi til f.eks. restvandføring, eller påvirkningsgraden overstiger det acceptable for den givne recipientmålsætning
- Uønsket påvirkning af vådområder (tørlægning)

Matematiske modeller understøttet af feltdata kan spille en afgørende rolle for opgørelse af den fremtidige opførsel af et grundvandssystem, i forhold til forskellige påvirkninger Das-Gupta og Onta (1997), og med henblik på identifikation af en "bæredygtig" udnyttelse og forvaltning af vandressourcen.

Begrebet udnyttelig grundvandsressource ("safe yield") har visse mangler og begrebet "bæredygtig udnyttelse" er en idé som anvendes i udbredt omfang, men som måske ikke er særligt godt forstået i det hele taget.

Generelt er det sådan, at en bæredygtig udnyttelighed af et magasin skal være betragteligt mindre end grundvandsdannelsen, hvis der skal være en tilstrækkelig vandmængde til rådighed til understøttelse af både kvantitative og kvalitative forhold for vandløb, kilder, vådområder, og grundvandsafhængige økosystemer (Sophocleous, 2000).

For at sikre bæredygtighed er det derfor afgørende nødvendigt, at begrænsninger i udnyttelsen etableres på basis af hydrologiske principper vedr. vandbalancen. Hydrologiske modeller vil kunne bidrage til at tilvejebringe sådanne relationer mellem udnyttelsesgrad og påvirkninger af trykniveau og afstrømning, fx med basis i en simulering af grundvandsdannelsen til dybere magasiner.

Diskussionen om opgørelser af udnyttelig grundvandsressource er på ingen måde færdig, og som det fremgår af ovenstående er det vanskeligt at komme med nogen universelle bud på en opgørelses metodik, der ikke tager hensyn til specifikke lokale forhold. Indikatorerne skal ses som ledetråde i denne sammenhæng, ikke som endegyldige bud på sandheden omkring den bæredygtige ressource.

7.5.3 Metodik for opgørelse af udnyttelig ressource i relation til grundvandsdannelse (Indikator 1 og 2)

På baggrund af kørsler uden oppumpning udtrækkes grundvandsdannelsen (perkolation) til beregningslag 3, som svarer til nydannelsen af dybere "rent grundvand", jvf. NOVA 2003 Temarapport

Ved beregning af Indikator 1 antages det, at 35 % af denne grundvandsdannelse er udnyttelig dvs:

Øerne:
$$\text{Indikator 1} = 0.35 * \text{GVD}_3 * A_{\text{nedadrettet } Q_z} / A_{\text{total}}$$

Hvor

GVD : arealmidlet grundvandsdannelse (kun grids med nedadrettet strømning)

$A_{\text{nedadrettet } Q_z}$: areal af område (eller antal grids) med nedadrettet strømning

A_{total} : total modelområde

Hvor Indikator 1 bygger på en filosofi om at kun en brøkdel af den naturgivne grundvandsdannelse, kan indvindes, så er princippet bag Indikator 2 derimod, at det er acceptabelt at indvinde max 30% af den aktuelle grundvandsdannelsen.

Der beregnes grundvandsdannelser med forskellige oppumpningsintensiteter fx 50, 80, 100, 120 og 150 % af år 2000 oppumpning, samt af en kørsel uden oppumpning (nulreference). Herefter undersøges det, hvilke grundvandsdannelser de givne oppumpningsintensiteter giver anledning til. Indikator 2 beregnes som den oppumpning der bevirker at den aktuelle indvinding svarer til 30% af grundvandsdannelsen til beregningslag 3.

7.5.4 Metodik for opgørelse af udnyttelig ressource i relation til vandløbspåvirkning (Indikator 3 og 4)

Påvirkning af middelvandføring (Indikator 3)

Det undersøges hvor meget vand der kan indvindes, før middelfløden reduceres med mere end 10 %. Indikator 3 bygger på en generel filosofi om at man ikke kan sige noget nærmere om hvorvidt det er minimum, middel eller vandføringer derimellem, hvis påvirkning som følge af vandindvinding, der er mest kritisk for dyr og planter. Et simpelt kriterium er derfor en beregning af hvor meget vand der kan oppumpes, før vandføringen fra det samlede opland i vandløb netop reduceres med 10 %, i forhold til referencesituationen uden oppumpning.

Påvirkning af minimumsvandføring (Indikator 4 og 4')

Der er i det følgende anvendt Indikator 4 for vurdering af acceptabel vandføringsreduktion i forhold til sommervandføringen (minimumsvandføringen). Den maksimale påvirkning af vandløbene sommervandføring er fastsættes herefter jf. Tabel 8.

Tabel 8 Målsætninger for vandløb og acceptable reduktioner af minimumsvandføringen

Målsætning	Målsætningskategori	Acceptabel påvirkning af minimumsvandføring (max. reduktion i % af vandføring uden pumpning)
Naturvidenskabelige Interesseområder	A	5 %
Gyde- og opvækstområde for laksefisk	B1	10 %
Laksefiskevand	B2	15 %
Karpefiskevand	B3	25 %
Afledning af vand, påvirkning af spildevand, vandindvinding og okker belastning	C-F	50 %

Vejledningen i vandforsyningsplanlægning fra 1979, som stadig er gældende, opfordrer til, at der foretages en konkret vurdering af, om der ud fra lokale forhold kan afviges fra de vejledende tal. I Miljøstyrelsens vejledning om recipientkvalitetsplanlægning fra 1983 er anført en række kvalitetskrav, som skal være opfyldt for, at givne vandløbsmålsætninger er opfyldt. Mest kendt blandt disse kvalitetskrav er kravet om forureningsgraden, som nu er afløst af et indeks kaldet Dansk Vandløbs Fauna Indeks, DVFI. Et af de andre kvalitetskrav vedrører vandløbets restvandføring. Der er dog ikke i recipientkvalitets-vejledningen angivet et konkret krav til rest-vandføringens størrelse.

Med DK-modellen er det muligt at foretage udtræk af påvirkninger af delstrækninger og efterfølgende gruppere disse resultater enten indenfor OSD områder eller at opgøre den akkumulerede påvirkning for konkrete vandløbsoplande. I denne opgørelse er det valgt at analysere påvirkningen af delstrækninger og ikke kigge på den akkumulerede påvirkning, fx summeret op for en vandføringsstation.

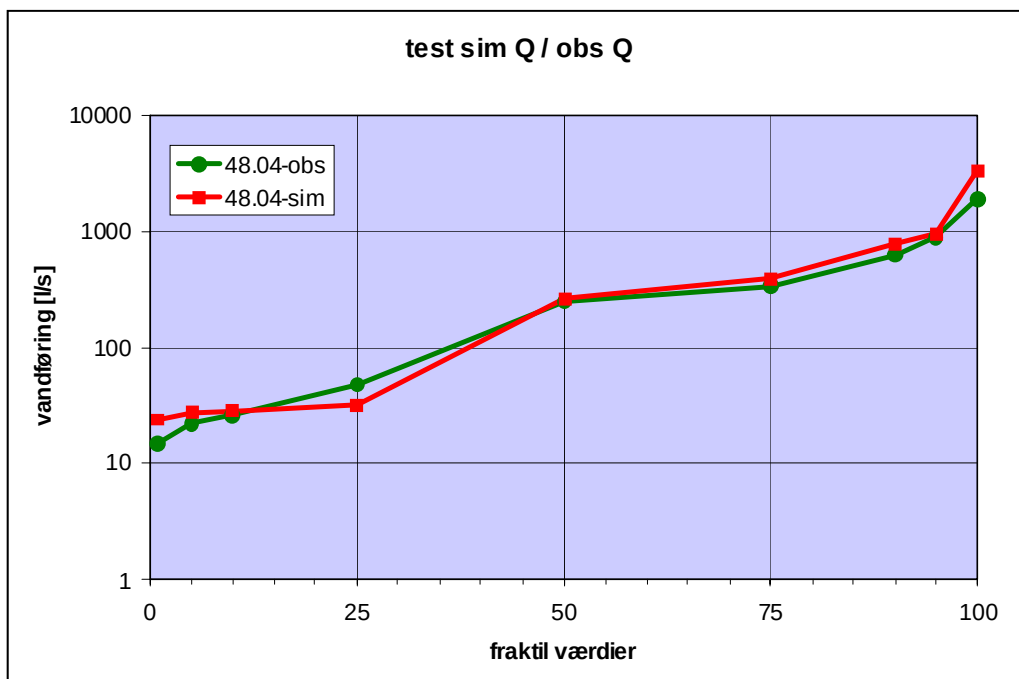
Der anvendes en "tærskelværdi", således at kun såfremt mindst 10 % af det samlede baseflow sker indenfor en given "kritisk kategori" fx A eller B1, indgår den pågældende målsætningskategori i beregningen. Ofte er baseflow indenfor et delområde eller underområde mindre end 10 % af det samlede baseflow til vandløb i området. I så fald udgår kategorien (typisk tilfældet for mange områder for A vandløb). I enkelte situationer kan det være påvirkningen af en lavere målsætningskategori der i praksis sætter grænse for udnytteligheden (fx B2 i stedet for B1). Underområder på ca. 50 km² anses for at være nedre grænse for på hvilken skala DK-modellen er troværdig.

Indikator 4 kan kun beregnes ved hjælp af en ikke stationær model (en dynamisk eller transient model). Der benyttes som tidligere nævnt en tidsserie for et enkelt år, som beskriver gennemsnittet fra 10-års perioden 1991-2000 for hver dag i året. Der er dermed indbygget en "normal" årstidsvariation med max og minimumsafstrømninger. Den dynamiske model skal bruge ca. 10 år til opstart / til at nå i en rimelig balance, når der køres med forskellige oppumpninger, så der køres for en sikkerheds skyld med tidsserier bestående af 20 års daglig nettonedbør (re-cykling af 1991-2000 "årstidsvariationsnormalen").

For at kunne operere med en mere robust indikator til vurdering af minimumsvandføringen er der opstillet en variant af indikator 4, i det følgende betegnet indikator 4'. Denne indikator beregner til forskel fra indikator 4, hvor den mest kritiske recipientkategori udvælges og benyttes, i stedet et vægtet gennemsnit af påvirkningsgraden for hver enkelt recipientkategori. Hermed accepteres det i princippet at en enkelt kategori ikke nødvendigvis opfylder kravet, men blot at det vægtede gennemsnit af samtlige recipientkategorier opfylder kravet. Vægtningen er foretaget i forhold til den relative andel af grundvandstilstrømningen i sommersituationen. Indikator 4' er dermed noget mere robust end indikator 4, specielt når der zoomes ind på mindre oplande. Generelt er det bemærkelsesværdigt, at denne variant, indikator 4' for det samlede KE opland giver en udnyttelig ressource (= 20 mm/år), der er meget tæt på resultatet for indikator 1, 2 og 3 (= 20, 19, 19 mm/år), hvor indikator 4 til sammenligning giver et afvigende og markant mindre resultat (= 13 mm/år).

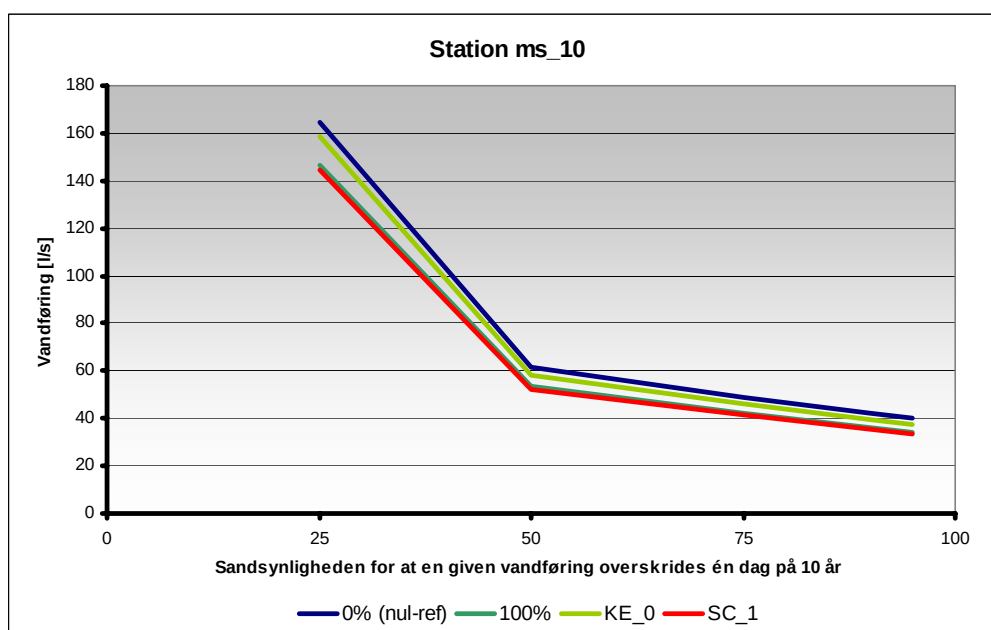
7.6 Fraktil beregninger

Som et supplement til beregninger af tilstrømninger for delstrækninger eller på catchment-niveau (som indikator 3 og 4) kan det være relevant at rette fokus på den akkumulerede afstrømning i udvalgte vandløbspunkter. I stedet for her at kigge på afstrømningshydrogra-fen (de daglige vandføringer for en tidsperiode), så er det her optimalt at kigge på udvalgte fraktilværdier baseret på en rangordning af de daglige vandføringer og beregning af f.eks. 5, 10, 25, 50, 75, 90 og 95 % fraktil værdier, Figur 11. Hermed er der samtidig mulighed for at få en vurdering af hvor god modellen er til at beskrive de valgte fraktilværdier i et ønsket vandløbspunkt.



Figur 11 Sammenligning af simulerede og observerede fraktilværdier for station 48.04 Højbro å baseret på National vandressource model for Sjælland og daglig vandføring 1991-1996

Ændringer i fraktilværdier for de valgte scenarier er beregnet for et antal udvalgte stationer indenfor de enkelte områder og rapporteret i detaljer under de enkelte delområder i form af varighedskurver, se eksempel i Figur 12



Figur 12 Eksempel på varighedskurver fra vandløbspunkt i område 3

7.7 Beregninger af afsænkninger

Det er valgt at beskrive afsænkningen af trykniveau under kalkoverfladen som et relevant input til vurdering af potentielle vandkvalitetsproblemer i de enkelte underområder.

Tabel 9 viser et eksempel på beregnede grundvandssænkninger i forhold til kalkoverfladen indenfor delområde 3. Areal opgørelserne, der er opsummeret i tabellen, antyder at selv begrænset indvinding i området (50% af reference indvindingen) vil give anledning til at 2-3 % af oplandets areal er påvirket af afsænkninger i forhold til kalkoverfladen. Der er på den skala modellen arbejder antydninger af at der vil være og/eller vil opstå overordnede problemer af denne type. Det skal bemærkes at modellen ikke er konstrueret til at forudsige lokale afsænkninger, og at beregning af lokale afsænkninger er behæftet med betydelig usikkerheder. Desuden er der ikke taget højde for sæsonmæssige variationer nettonedbør eller lokale fluktuationer i indvinding mønsteret.

Tabel 9 Afsænkninger i forhold til kalkoverfladen

Afsækning i procent		abs_150	abs_120	abs_100	abs_80	abs_50	abs_0	KE_0	SC_1
opl_3									
Afs_kalk	> 5 m	19.9	6.5	2.8	0.8	0.0	0.0	0.0	3.3
	2 - 5 m	13.4	4.9	4.5	3.7	0.8	0.0	0.0	4.5
	0.5 - 2 m	7.3	4.9	3.7	0.8	0.4	0.0	0.4	3.3
	0 - 0.5 m	0.4	2.4	0.0	1.2	1.6	0.0	0.4	0.4
	< 0 m	58.9	81.3	89.0	93.5	97.2	100.0	99.2	88.6

Vurderingen af afsænkninger er rapporteret under de enkelte underområder.

8. RESULTATER

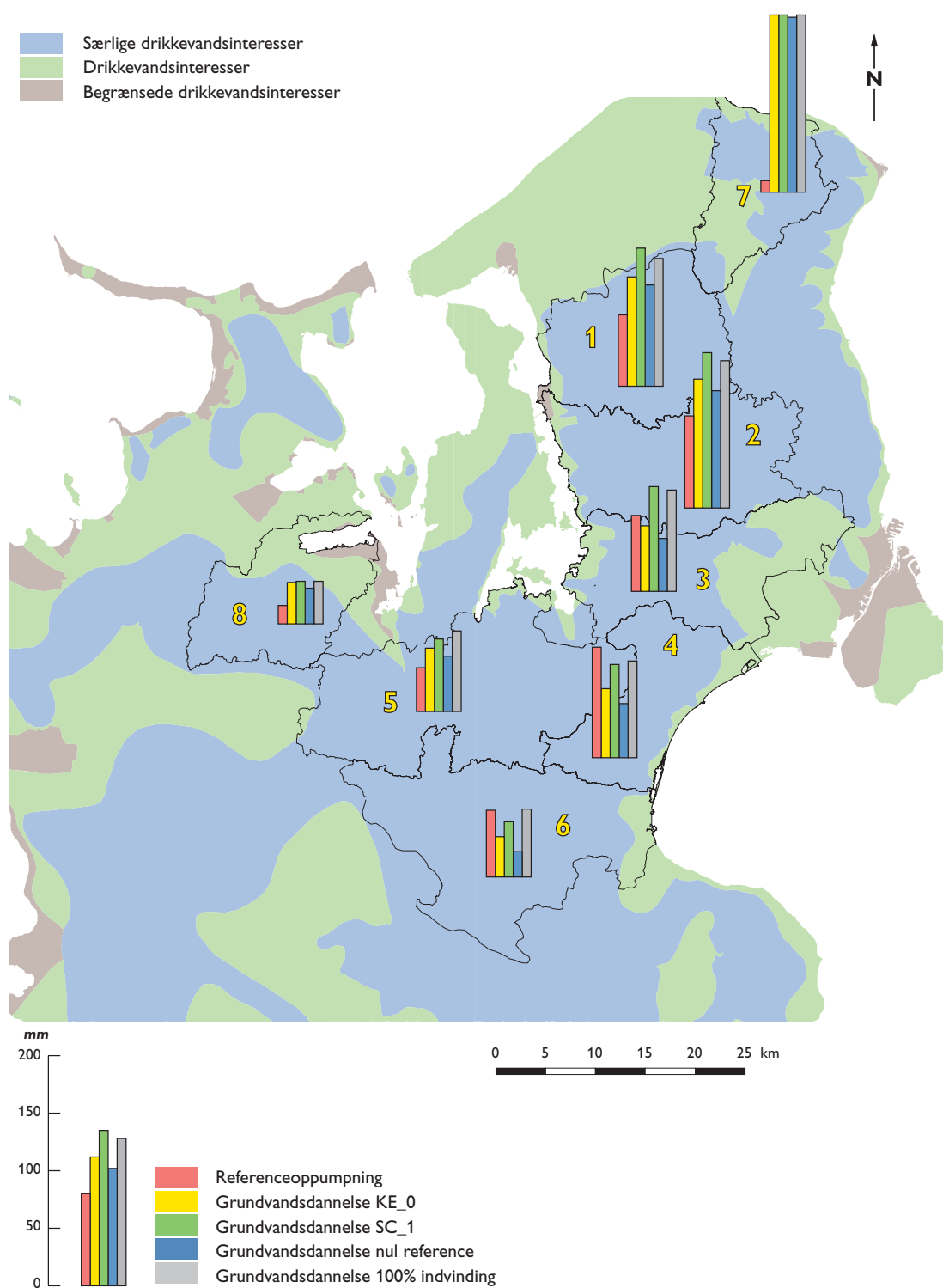
Resultaterne af beregningerne for de valgte scenarier fremgår af nedenstående figurer, tal findes i Tabel 10. I et senere afsnit præsenteres resultater på oplandsniveau (KE opland 1 – 8), hvor også varighedskurver, afsækningsberegninger og geologiske forhold beskrives.

Figur 13 viser tal for reference oppumpning og simuleret dybere grundvandsdannelse (svarende til grundvandsdannelsen til det øvre regionale magasin eller beregningslag 3) for scenarierne KE_0, SC_1, nul reference og 100 % indvinding. Det fremgår at KE opland 7 og 8 har meget lille oppumpning i forhold til den dybere grundvandsdannelse, mens opland 1, 2 og 5 alle har mindre oppumpning end den dybe grundvandsdannelse for samtlige scenarier. KE opland 3, 4 og 6 har alle en større oppumpning end grundvandsdannelsen i enten samtlige eller mindst et af de valgte scenarier. Alle KE's nuværende indvindingsoplande viser en betydelig variation i grundvandsdannelse fra scenarium til scenarium, med størst variation for område 6, 4 og 3 fx mellem 100 % indvinding og nul reference (ca. fordobling).

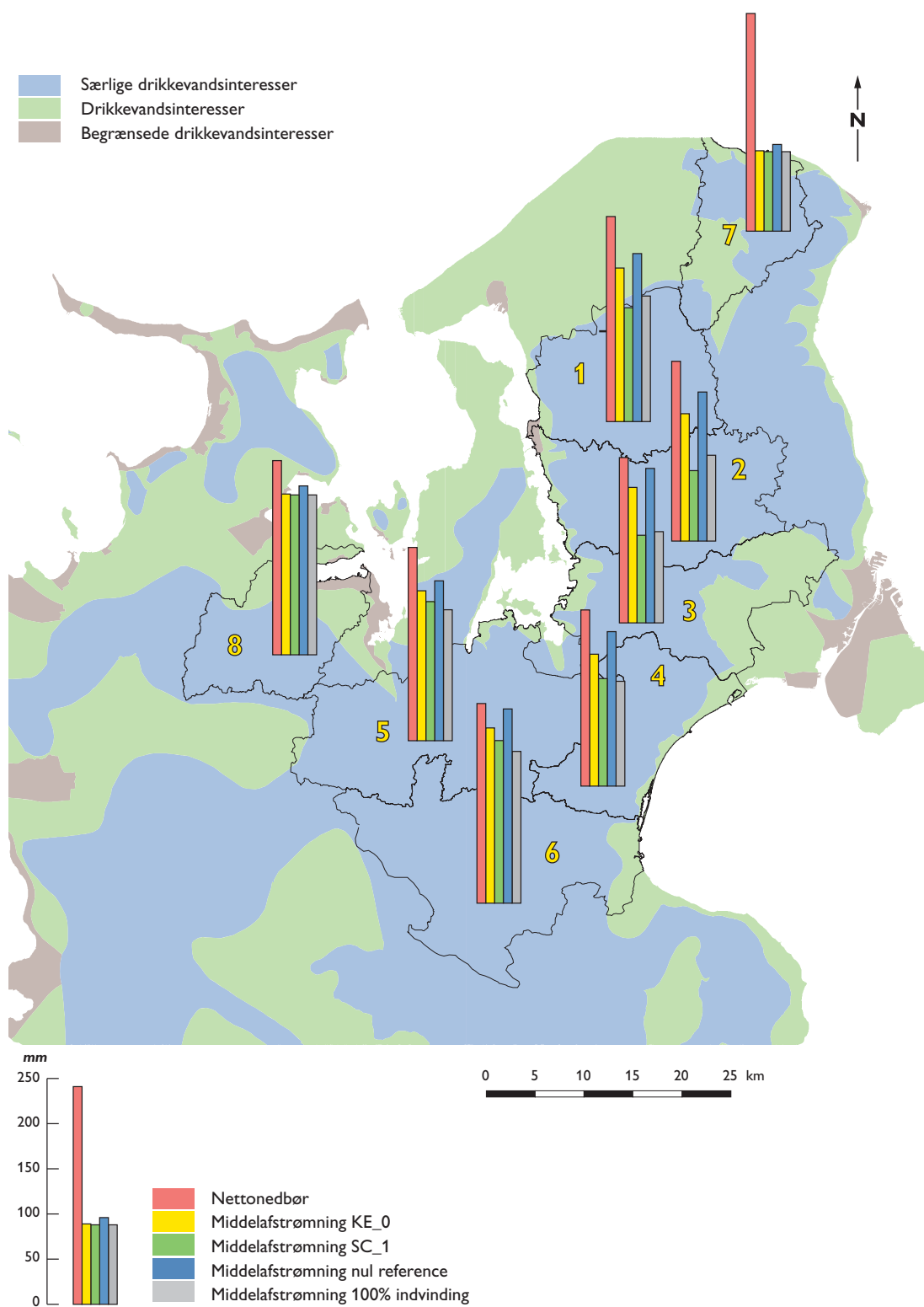
Figur 14 viser tal for nettonedbør og middelafløb ved udvalgte scenarier i mm/år. Figuren viser at nogen områder har væsentlig større nettonedbør end simuleret afstrømning (specielt gældende for område 7, hvor det skyldes at en væsentlig del af nettonedbøren afstrømmer som underjordisk afstrømning på tværs af det topografiske opland enten til havet eller til nabooplande). Område 3, 4 og 6 har i situationen uden vandindvinding næsten samme middelafløb som nettonedbøren. Øvrige oplande har middelafløbene der udgør ca. 80 % af nettonedbøren. Middelafløbet er væsentligt påvirket af vandindvinding i område 2 og 3, hvorimod område 1, 5 og 6 har moderate påvirkninger.

Figur 15 viser variationer i sommerafstrømning (mm/år) ved udvalgte scenarier. Det fremgår at områderne 2, 5, 1 og 7 fra naturens hånd og i situationen uden vandindvinding har størst sommerafstrømning (52-88 mm/år). Område 3, 6 og 8 har sommerafstrømninger i denne situation der er mere moderate (46-47 mm/år), mens område 4 har relativt begrænsede sommerafstrømninger i situationen uden vandindvinding (38 mm/år). Effekten af den nuværende vandindvinding er markant i forhold til sommerafstrømningen i samtlige oplande, lige bortset fra de områder der har forholdsvis begrænset indvinding fx område 7 og 8.

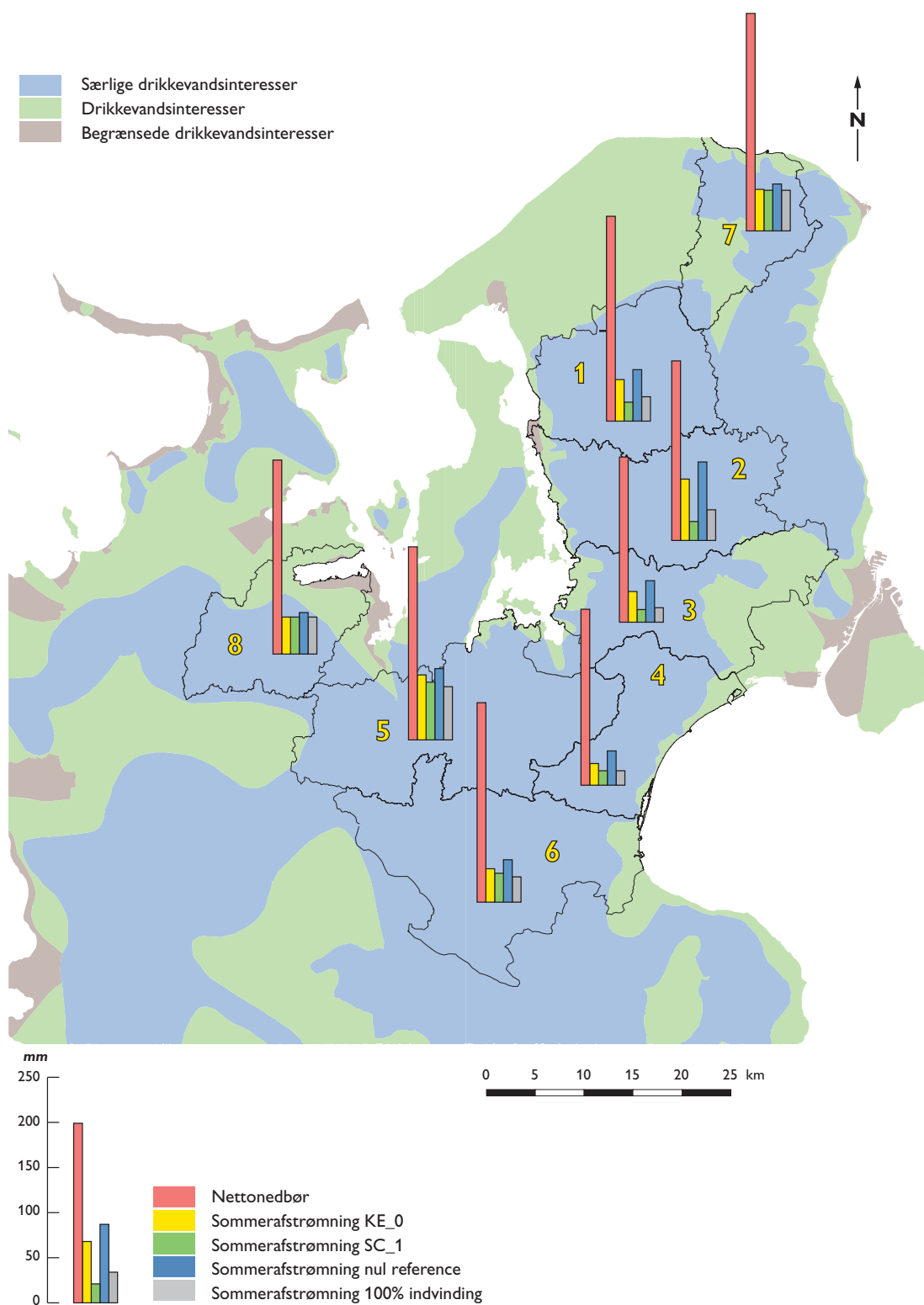
Figur 16 viser beregninger af udnyttelig ressource jf. de fire indikatorer fra Ferskvandets kredsløb. I figuren er vist indikator 4 der som nævnt ovenfor er meget lidt robust i forhold til zoom på KE model skala. Det fremgår af figuren at indikator 4 i nogle områder giver meget mindre ressource end f.eks. indikator 3 (fx område 7, 1, 2, 5, 6 og 8). I andre områder fx område 3 og 4, giver indikator 4 større ressource end indikator 3. De fleste KE oplande har resultater for indikator 1 og 2 som er i omtrent samme størrelsesorden, en undtagelse er dog område 7, hvor indikator 1 giver meget større ressourceskøn end indikator 2. Ser man bort fra indikator 4, og anvender man i stedet indikator 4', så er hovedresultatet at de fire indikatorer giver stort set samme ressourceskøn for det samlede KE opland (19-20 mm/år) og for det samlede OSD område inden for dette (20-21 mm/år). Indikator 3 og 4' er mest begrænsende for ressourcens størrelse for KE opland 1, 2 og 7 hvorimod indikator 1 og 2 begrænser ressourcens udnyttelse mest for KE opland 3, 4, 6 og 8. For opland 5 ses stort set samme resultat for samtlige indikatorer.



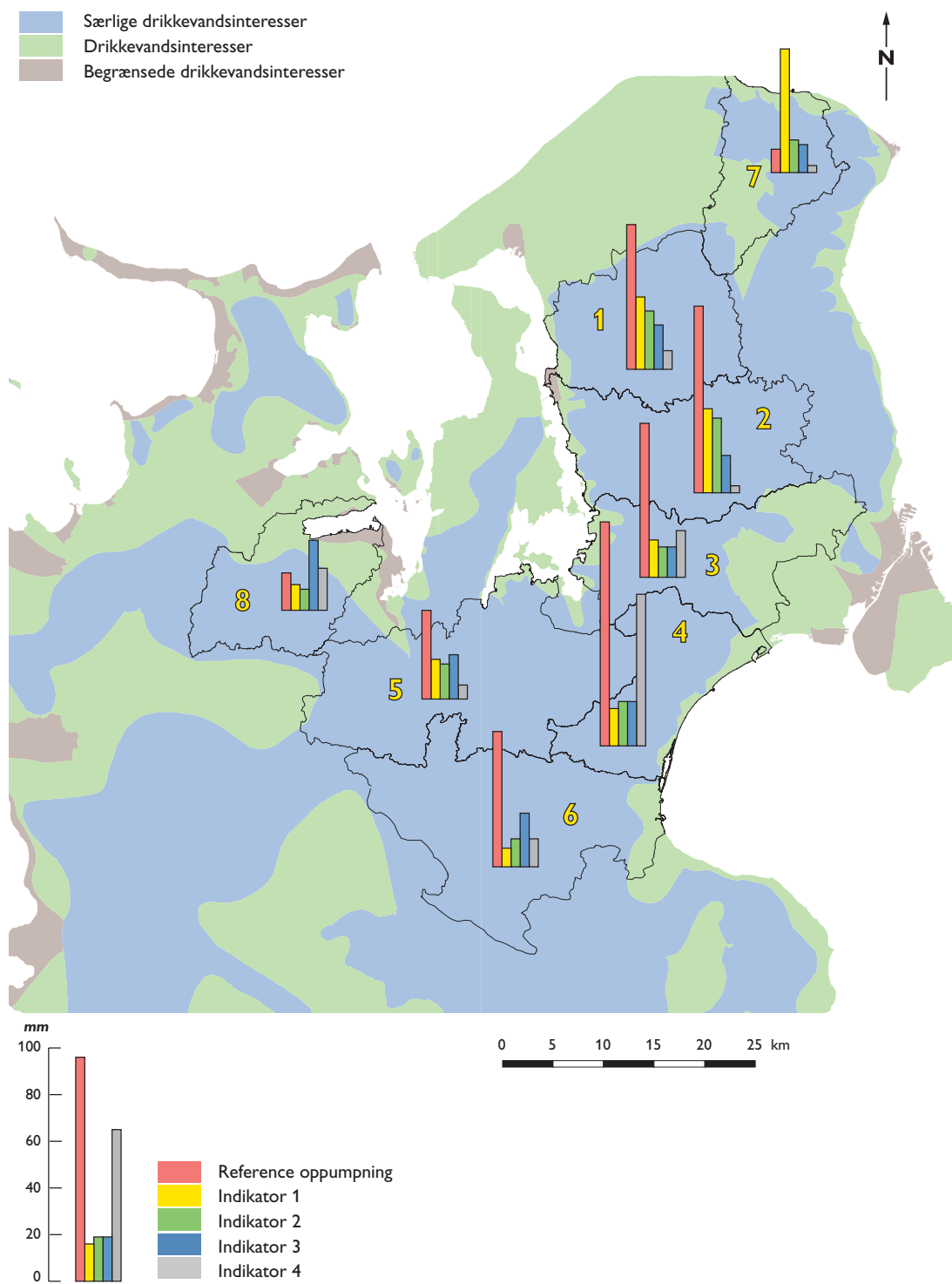
Figur 13 Reference oppumpning og grundvandsdannelse til dybere magasiner, mm/år



Figur 14 Nettonedbør og middelafstrømning, mm/år



Figur 15 Nettonedbør og sommerafstrømning, mm/år



Figur 16 Reference oppumpning og resultater for indikator 1-4, mm/år

Tabel 10 Resultater af simuleringer af grundvandsdannelse, middel afstrømning og sommer afstrømning, mm/år

Opgørelse indikatorer										
Område	sjke	OSD	Opl_1	Opl_2	Opl_3	Opl_4	Opl_5	Opl_6	Opl_7	Opl_8
Areal	1672	1491	236	270	246	186	375	359	167	185
ref-abs	63	65	62	80	66	96	38	58	10	16
KE0-abs	20	19	17	27	14	41	12	16	10	16
SC1-abs	63	65	83	107	66	96	25	37	10	16
Nedbør [mm]	208	212	227	199	183	195	214	221	241	215
%										
Indikator 1 (abs/gvd_uop<35%)	31%	32%	50%	45%	25%	17%	44%	13%	553%	69%
Indikator 2 (abs/gvd<30%)	30%	30%	40%	40%	20%	20%	40%	20%	150%	60%
Indikator 3 (middel.afst.)	30%	30%	30%	20%	20%	20%	50%	40%	130%	190%
Indikator 4 (minimums afstr)	20%	8%	13%	4%	30%	68%	15%	20%	36%	113%
Indikator 4' (vægtet min.afstr.)	31%	30%	27%	19%	30%	44%	47%	43%	55%	122%
Indikator 3_relativt til Nu	120%	120%	120%	110%	110%	110%	140%	140%	200%	310%
mm/år										
Indikator 1 (abs/gvd_uop<35%)	20	21	31	36	16	16	17	8	53	11
Indikator 2 (abs/gvd<30%)	19	20	25	32	13	19	15	12	14	9
Indikator 3 (middel.afst.)	19	20	19	16	13	19	19	23	12	30
Indikator 4 (minimums afstr)	13	5	8	3	20	65	6	12	3	18
Indikator 4' (vægtet min.afstr.)	20	20	17	15	20	43	18	25	5	19
Indikator 3_relativt til Nu	76	79	75	88	72	106	53	81	19	49
Grundvandsdannelse til øvre regionale magasin [mm/år]										
KE_0	66	70	95	112	57	60	55	35	154	36
SC_1	86	89	120	135	91	81	63	48	154	37
0% (nul-reference)	56	60	88	102	46	47	48	22	152	31
50%	70	74	98	114	64	64	58	39	153	34
80%	80	84	105	123	78	76	65	51	153	36
100%	87	91	111	128	88	84	70	59	154	37
120%	94	97	117	135	98	91	74	67	155	38
150%	103	105	125	144	111	100	81	77	156	40
Middel afstrømning til vandløb [mm/år]										
KE_0	164	160	170	141	150	146	166	194	89	178
SC_1	131	129	126	78	97	119	154	180	88	177
0% (nul-reference)	183	178	186	165	171	171	177	215	96	187
50%	157	152	162	131	135	141	161	191	92	182
80%	141	138	148	109	114	126	152	177	90	179
100%	131	128	139	95	101	116	145	168	88	177
120%	122	120	130	81	88	108	139	159	87	175
150%	109	109	118	61	74	98	129	148	84	173
Sommer afstrømning i vandløb [mm/år]										
KE_0	49	47	46	68	34	24	72	37	46	41
SC_1	31	31	21	21	14	16	64	32	45	41
0% (nul-reference)	61	58	57	87	46	38	79	47	52	46
50%	44	42	39	58	26	23	69	36	48	43
100%	33	32	27	34	16	16	59	28	45	41
150%	24	24	18	13	10	12	50	23	42	38

9. HAVELSE – DELOMRÅDE 1

9.1 Område præsentation

9.1.1 Indvindinger

Området det afgrænset så det dækker indvindinger til Slangerup vandværk, svarende til kildepladserne: *Attemose, Havelse, Hørup, Strø og Æbleholt*, herudover er der medtaget 22 kildepladser alle med en årlig indvinding på over 25.000 m³/år. Reference oppumpningen (abs_100%) svarer til en middel indvinding for perioden 1990-1999, hvor KE's kildepladser udgør ca. 10 mill. m³/år, svarende til ca. 75% af den årlige indvinding indenfor området.

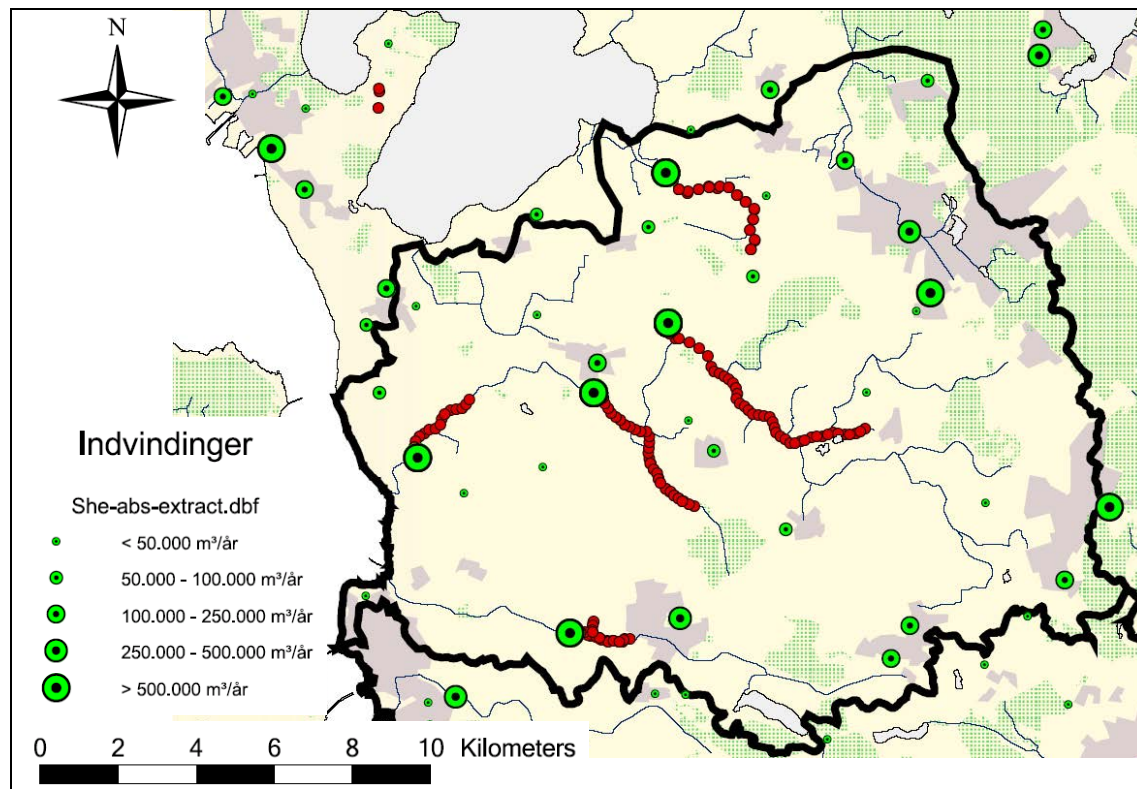
Tabel 11 Opgørelse over indvindinger medtaget i modellen indenfor delområde 1; Bemærk at alle indvindinger er angivet i 1000 m³/år

Kildeplads / vandværk	abs_100%	KE_0	SC_1
Slangerup /Attemose	3334	0	4823
Slangerup /Havelse	1383	0	2000
Slangerup /Hørup	2197	0	3178
Slangerup /Strø	2373	0	3432
Slangerup /Æbleholt	1475	0	2133
Hillerød VV, Frederiksgade	1629	1629	1629
Nyhuse VV	450	450	450
I/S Nybrovejens VV	423	423	423
Ullerød VV	234	234	234
Lynge Overdrev VV	180	180	180
Skævinge VV	172	172	172
Uggeløse VV	147	147	147
I/S Lynge VV	136	136	136
Sum af mindre VV (under 100.000 m ³ /år) (14 stk)	601	601	601

KE_0 svarer til den indvinding som er anvendt i KE_0 scenariet, dvs. det alternative nul-scenario hvor alle KE relaterede indvindinger er lukkede. SC_1 svarer til indvindingerne, der er anvendt under scenario 1, dvs. hvor indvindinger som ikke er relateret til KE er fastholdt på reference oppumpningen (abs_100%), men hvor KE's indvindinger i delområde 1 og 2 er forøget og KE's indvindinger i område 5 og 6 er formindsket.

Som en del af opgaven er indvindingerne fra KE's kildepladser blevet linie-fordelt efter placeringen af de enkelte borer på kildepladserne. Liniefordeling anvendes i modelsammenhæng når der ikke er de store forskelle på specifik indvinding fra de enkelte borer (eller usikre informationer), der indgår i linien, og så længe borerne er placeret langs en approksimativ line. Ved liniefordeling tilskrives alle model-celler langs linien en lige andel af kildepladsens totale indvinding, bestemt ud fra hvor mange celler der ligger langs linien.

De enkelte kildepladser reference oppumpning er angivet med en grøn cirkel på nedenstående figur, hvor også placeringen af KE's borer på de enkelte kildepladser er angivet med røde prikker. Reference oppumpningen for KE's kildepladser er fordelt langs linien som de røde prikker (KE-boringer) danner, selvom det af figuren kan se ud som om at indvindingen er koncentreret for enden af de respektive kildepladser.



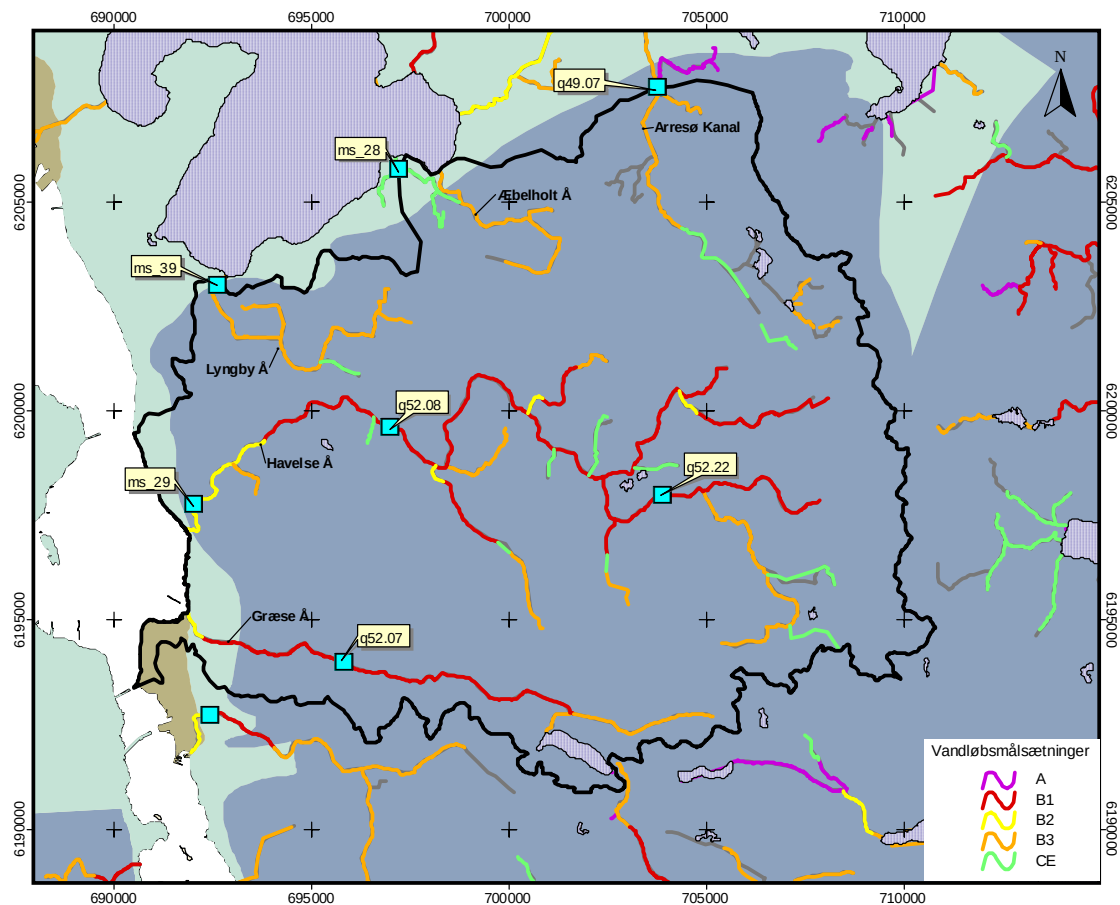
Figur 17 Afgrænsning af delolandet samt placering af størrelse af indvindinger

9.1.2 Vandløbssystem

Delolandet er afgrænset af det topografiske opland til hovedvandløbene Havelse å, Græse å, Aresø Kanal og to mindre vandløb, som løber til Aresø, Æbleholt å m.m. og Lyngby å. Det topografiske opland til disse vandløb er større end det approksimative indvindingsopland til KE's indvindinger indenfor området, men svarer samtidigt til det mindste fællesareal som vandløbsoplandene og indvindingsoplandene danner. Bestemmelse af det approksimative indvindingsopland er dels baseret på partikelbane beregninger med DK-model Sjælland og dels baseret på tidligere opgørelser (KE kort materiale). Der er valgt at tage hensyn til vandløbsoplandene af to årsager, dels for at anvende samme principper, som blev brugt under ressource opgørelsen i Ferskvandets kredsløb (Henriksen og Sonnenborg, 2003) og dels fordi der i opgaven fokuseres på indvindingens påvirkning af vandføringer i vandløbene.

Vandløbene Havelse og Græse å, der tilsammen dækker ca. 2/3 dele af hele oplandet er for store dele målsat med B1 målsætninger. De mindre vandløb, der løber ud i Aresø, er målsat med B3 eller lavere målsætninger. Kun mindre dele af vandløbssystemet er ikke målsat (grå delstrækninger på figuren). Indenfor oplandet er der ikke anvendt målsæt-

ningsklasse A. Af figuren fremgår det også at stort set hele oplandet administrativt er udpeget som "område med særlig drikkevandsinteresser" (mørkeblåt).



Figur 18 Vandløb, vandløbs målsætninger og vandføringsstationer indenfor oplandet

Tabel 12 giver et overblik over hvilke stationer, som er medtaget i ressource beregningerne, samt arealet af de tilknyttede topografiske oplande. For Havelse å er der medtaget flere end en enkelt vandføringsstation. Vandløbet er gennem placeringen af vandføringsstationerne opdelt i under-oplande, så det bliver muligt at bidrag og delbidrag fra både øvre og nedre dele af vandløbs netværket. Det er i dette opland, som i de øvrige oplande, forsøgt at finde balancen mellem en god opløsning af oplandets vandløbs netværk og en minimering af antallet af målestationer. Samtidigt er det tilstræbt at undgå under-oplande på mindre end 25 km², der forventes at udgøre den nedre grænse for modellens evne til at opløse vandbalancens del elementer, herunder vandløbsbidraget.

Stationer med Q betegnelse foran nummeret indgår i det nuværende måleprogram, dvs. at der eksisterer Q eller H data for hele eller dele af perioden 1989-2004. Stationerne med "ms_" betegnelse er enten stationer der indgår i fauna data programmet, men hvor der ikke eksisterer Q eller H data, eller stationer der kun optræder virtuelt, dvs. i den hydrologiske model.

Tabel 12 Oplandsstørrelser og vandføringsstationer

Netværk (størrelse)	Station
Arresø Kanal (32km ²)	Q49.07
Græse å (33 km ²)	Q52.07
Havelse å (103 km ²)	Q52.08
Havelse å (131 km ²)	ms_29
Havelse å (45 km ²)	Q52.22
Lyngby å (19 km ²)	ms_39
Æbleholt å m.m. (18 km ²)	ms_28

9.1.3 Overordnet vandbalance

Vandbalancen for deloplandet er beregnet med en middelnedbør for perioden 1991-2000 med en stationær model (sjke-stat) og som en gennemsnits vandbalance for perioden 1991-2001 med en dynamisk model (sjke-dyn). I tabellen betyder "GVD" den positive grundvandsdannelse til de enkelte beregningslag. Alle tal er opgjort i mm/år.

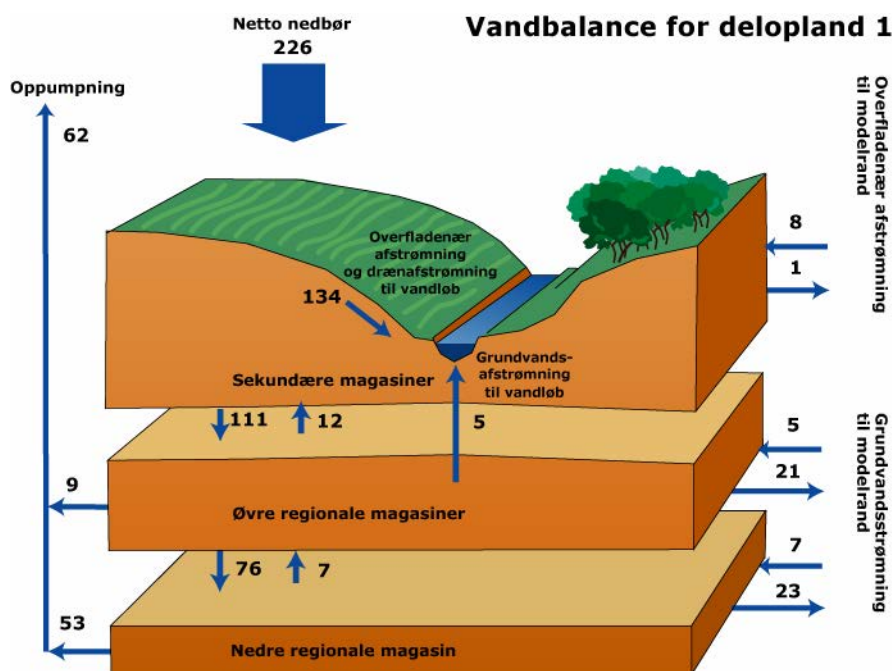
Tabel 13 Overordnet vandbalance for deloplandet

WBL	B.Lag	Netnedbør	Rand-ind	Rand-ud	Magasin	GVD	Oppump	Dræn	Baseflow	Fejl
sjke-dyn 1991 - 2001	1	-221.0	7.4	0.9	1.1	0.0	0.0	127.6	3.2	0.0
	2	0.0	0.0	0.1	1.3	108.7	0.0	0.0	0.4	0.0
	3	0.0	3.7	14.4	0.2	106.9	2.1	0.0	1.4	0.0
	4	0.0	0.0	0.2	0.0	81.6	0.0	0.0	0.0	0.0
	5	0.0	1.1	4.8	0.0	81.4	0.7	0.0	0.0	0.0
	6	0.0	0.0	0.0	0.0	76.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	7	0.0	0.2	0.8	0.0	76.0	6.2	0.0	0.0	0.0
	8	0.0	0.0	0.0	0.0	74.2	0.0	0.0	0.0	0.0
	9	0.0	7.1	22.6	0.0	74.2	52.7	0.0	0.0	0.0
sjke-stat 1991 - 2001	1	-226.6	8.3	1.0	0.0	0.0	0.0	134.4	2.5	0.0
	2	0.0	0.0	0.1	0.0	111.4	0.0	0.0	0.4	0.0
	3	0.0	4.0	15.3	0.0	110.9	2.1	0.0	1.6	0.0
	4	0.0	0.0	0.2	0.0	83.8	0.0	0.0	0.0	0.0
	5	0.0	1.2	5.0	0.0	83.5	0.7	0.0	0.0	0.0
	6	0.0	0.0	0.0	0.0	77.8	0.0	0.0	0.0	0.0
	7	0.0	0.2	0.8	0.0	77.8	6.2	0.0	0.0	0.0
	8	0.0	0.0	0.0	0.0	76.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	9	0.0	7.2	23.6	0.0	76.0	53.4	0.0	0.0	0.0

Det fremgår af vandbalancen, at der indvindes ca 1/8 af nettonedbøren indenfor området. Grundvandsdannelsen til de enkelte beregningslag (GVD) er tæt på at være konstant fra beregningslag 4 og ned, hvilket indikerer at der enten er ekstrem styring af grundvandsdannelsen som følge af indvinding eller at beregningslag 4-8 er forholdsvis flade og af ringe tykkelse. I dette tilfælde synes det formodentligt at være en kombination af begge, om end beregningslagene 5 til 8 er af ringe tykkelse, hvilket formodentligt er den væsentligste årsag til de enslydende grundvandsdannelser i dybden.

Det fremgår ligeledes af vandbalancen at delområdet afgrænsning ikke er overensstemmende med det hydrologiske opland, hvilket kan ses af 10-20% af vandbalancen strømmer

enten ind eller ud på tværs i dybden. Hoveddelen af ind og udstrømningen sker fra de to primære magasiner indenfor området (beregningsslag 3 og 9). Kun en begrænset del af udstrømningen kan forklares med underjordisk strømning til havet. Figur 19 viser de overordnede balance taget fra den stationære kørsel med reference oppumpningen.



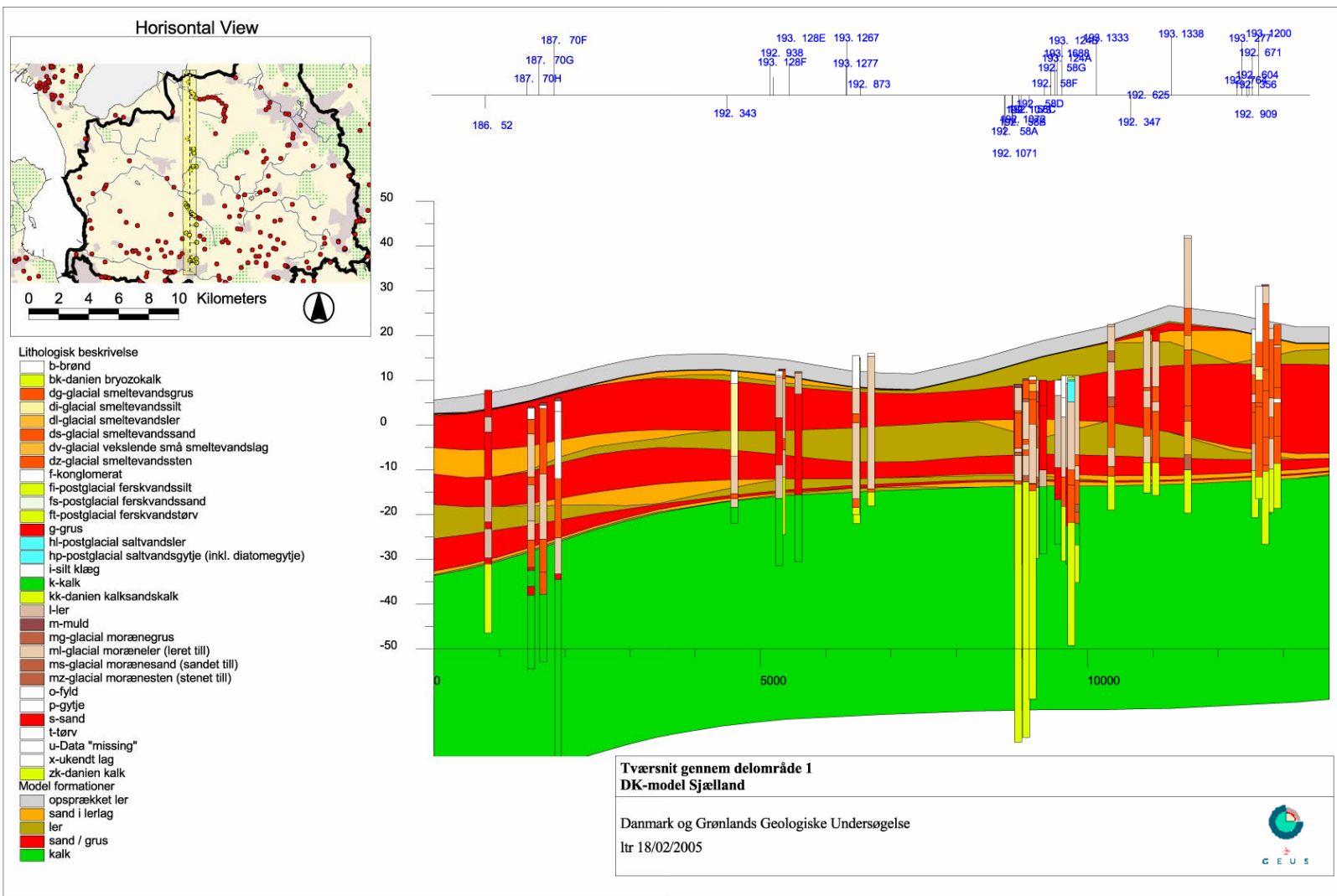
Figur 19 Vandbalance for delopland 1

9.1.4 Geologisk konceptualisering

Det prækvartære er det primære magasin indenfor deloplandet. Langt den overvejende del af indvindingerne er filtersat i det prækvartære magasin. En lille restgruppe af indvindinger er filtersat i sandmagasiner og i de tilfælde drejer det sig primært om det øvre sandmagasin, som i modellen svarer til beregningslag 3. På Figur 20 ses et Nord-Syd tværsnit gennem området med den i modellen anvendte geologiske tolkning.

Modellen er opstillet i 1x1 km² grid, hvorfor der kan være indtil flere boringer indenfor et enkelt grid. De enkelte boringers geologiske logs er ikke overholdt direkte i modellen, derimod er de generelle tendenser forsøgt gengivet i modellen. Figuren er dannet ved at projekte boreningsinformationer fra dybere boringer indenfor et 900 meter bælte langs et nord-syd gående transekt. Boringernes variation både topografisk og lithologisk i forhold til modellen kan ses som et udtryk for den generelle variabilitet, der ikke er repræsenteret som følge af den skala modellen dækker.

Figur 20 Geologisk tværsnit gennem deloplandet



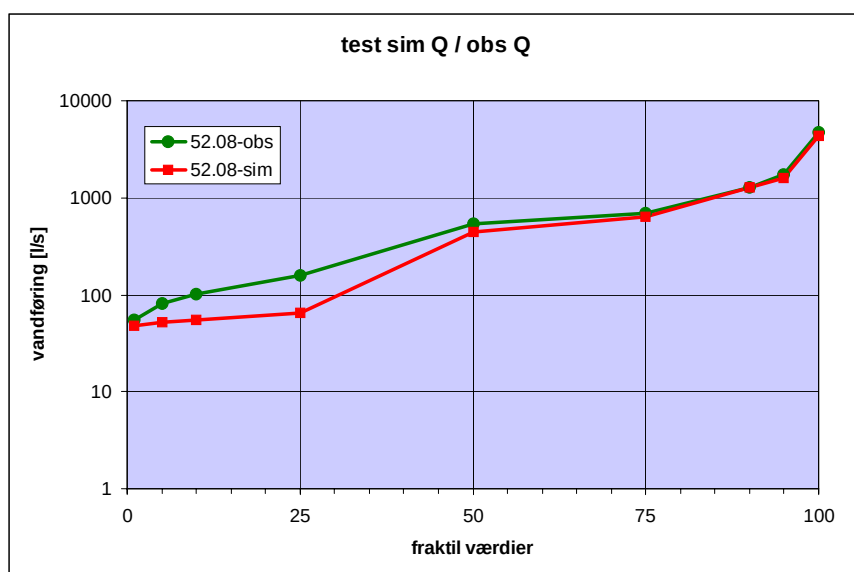
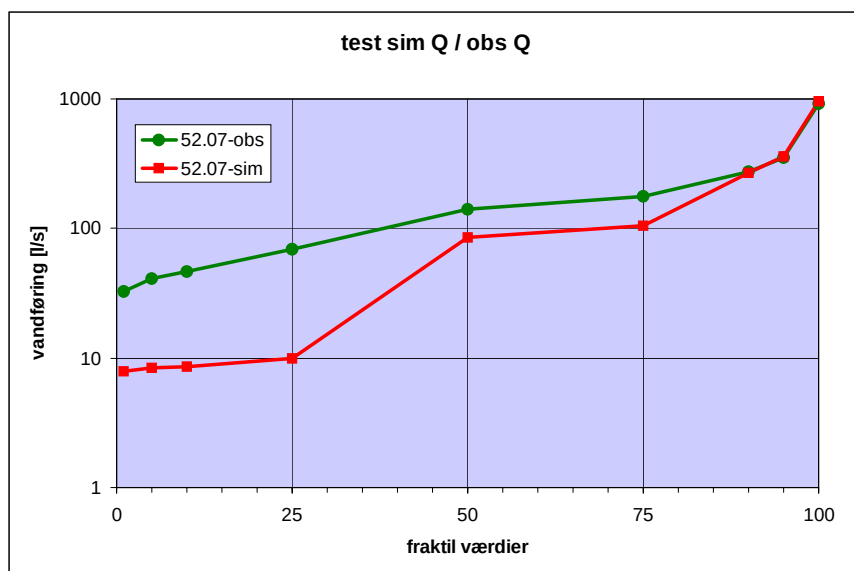
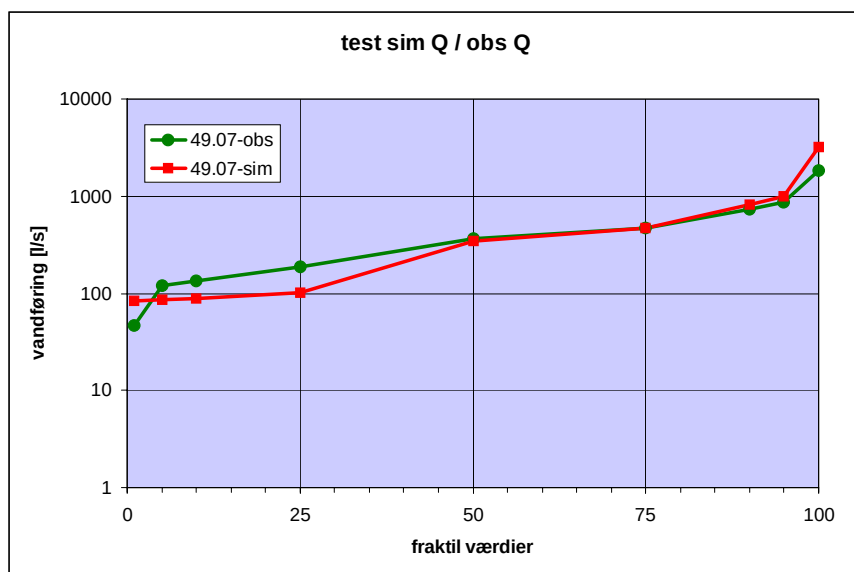
9.2 Model performance

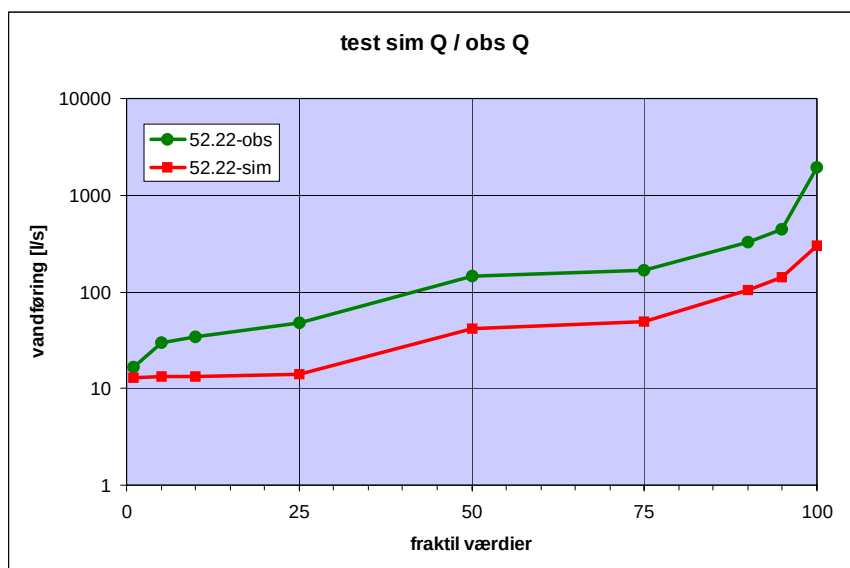
Der er ikke gennemført nogen egentlig kalibrering i forhold til deloplande, men modellen er generelt kalibreret for hele Sjælland herunder også deloplandene. Der er ikke noget i modellen evne til at simulere grundvandsstande og vandløbsafstrømninger der giver anledning til at udpege enkelte underområder som særligt problematiske. Indenfor dette delopland er kun vandføringsstation Q52.08 blevet brugt direkte i kalibreringen. Ved dette valg dækkes ca. ½ af del oplandet, men de resterende stationer er enten vurderet som havende et for lille tilknyttet opland eller med forstyrrende reguleringer – begge dele er problematisk at simulere direkte. I ressource opgørelsen og scenarierne er det således blevet valgt at fokusere på relative forandringer som følge af ændrede betingelser.

Tabel 14 Modellens evne til at simulere vandføringer

Mål	Stationer			
	Q49.07	Q52.07	Q52.08	Q52.22
<i>R²</i>	0.49	0.36	0.80	-0.03
<i>Obs-95% fraktil</i>	120	41	81	30
<i>Sim-95% fraktil</i>	85	8	52	13
<i>Obs-90% fraktil</i>	133	47	102	34
<i>Sim-90% fraktil</i>	89	9	54	13
<i>Obs-75% fraktil</i>	186	69	160	48
<i>Sim-75% fraktil</i>	102	10	65	14
<i>Obs-25% fraktil</i>	464	177	701	168
<i>Sim-25% fraktil</i>	472	106	634	50
<i>Obs-10% fraktil</i>	736	276	1270	325
<i>Sim-10% fraktil</i>	827	266	1280	106
<i>Obs-5% fraktil</i>	864	350	1719	445
<i>Sim-5% fraktil</i>	986	359	1613	140

For at vurdere modellens evne til at simulere varighedskurver for de enkelte vandføringsstationer, er der foretaget visuelle sammenligninger af varighedskurver for de vandføringsstationer hvor vandføringsdata var tilgængelige. Varighedskurverne dækker valideringsperioden (1988-1996) i det omfang at der var data for hele perioden.





9.3 Indikator mål og ressource opgørelse

I ressource opgørelsen er der beregnet grundvandsdannelse til øvre det primære magasin (beregningsslag 3) ved forskellige indvindings scenarier. Som i Ferskvandets kredsløb er grundvandsdannelsen beregnet ved indvindinger svarende til 0, 50, 80, 100, 120 og 150 % af reference indvindingen. Herudover er regnet på to scenarier, et hvor KE's kildepladser er slukkede (KE_0) og et hvor KE's kildepladser indenfor dette område har overtaget halvdelen af reference indvindingen fra delområde 5 (SC_1). Ud over ændringer i indvindingen og indvindingsstrukturen er det blevet regnet varige klimatiske variationer, svarende til det anden tørreste år indenfor 10 års perioden 1991-2000, samt det tredje vådeste år indenfor samme periode.

Grundvandsdannelsen og ændringer i grundvandsdannelsen bruges i beregning af indikator 1 og 2. Både indikator 1 og 2 peger i retningen af at der indvindes to til tre gange for meget inden for området, med noget følsomhed overfor tørre og våde klimatiske situationer. Ændringer i middelfløjen bruges i beregning af indikator 3. Indikator tre viser ved hvilken procentvis udnyttelse af reference indvindingen at der sker netop 10% ændring af middelfløjen i forhold til den upåvirkede situation (dvs. uden indvinding). Indikator 3 antyder at det største problem indenfor området er ændringer i vandføringen, hvilket bekræftes af indikator 4 (highlighted). Begge indikatorer foreslår en udnyttelse på 15-50% af reference indvindingen. I beregning af indikator 3' er det antaget at den nuværende vandføring er acceptabel, hvorfor denne bruges som udgangspunkt for beregninger, dvs. den maksimale påvirkning er 10% af nuværende vandføring.

Tabel 15 Ressource opgørelse for deloplandet (indikator 1 – 3)

Opgørelse af Indikator 1 - 3					
Areal		236 mm/år			
Reference oppumpning (100%)		62 mm/år			
Periode		Middel	Tør	Våd	
Nettonedbør		227 mm/år	126 mm/år	268 mm/år	
Bæredygtigt indvinding (procent af oppumpning)					
Indikator 1(abs/gvd_uop<35%)		50%	36%	55%	
Indikator 2(abs/gvd<30%)		40%	30%	50%	
Indikator 3 (middel.afst.)		30%	20%	40%	
Indikator 3_relativt til Nu		120%	100%	130%	
Scenario Oppumpning [mm/år]		Grundvandsdannelse til beregningslag 3 [mm/år]			
KE_0		17	95	72	106
SC_1		83	120	93	131
0%		0	88	65	98
50%		31	98	76	109
80%		50	105	82	117
100%		62	111	86	122
120%		75	117	91	128
150%		94	125	97	137
Middelafstrømning til vandløb [mm/år]					
KE_0		170	74	207	
SC_1		126	39	161	
0%		186	88	224	
50%		162	67	198	
80%		148	56	184	
100%		139	49	175	
120%		130	42	165	
150%		118	34	152	

Tabel 16 viser at B1 målsatte vandløbsstrækninger har et opland der dækker ca. 1/3 del af hele oplandet. Samtidigt er B1 målsatte vandløbsstrækninger dem som er mest følsomme overfor ændringer i indvinding, hvilket måske kan forklares ved at langt de fleste af de B1 målsatte delstrækninger ligger langs KE's indvindingsboringer.

Tabel 16 Ressource opgørelse for deloplandet (indikator 4)

opl_1		A	B1	B2	B3	CE	X
Areal	236 km ²	4 km ²	76 km ²	16 km ²	88 km ²	46 km ²	6 km ²
Afstrømning [%]	0.43 m ³ /s	2%	42%	9%	26%	19%	2%
Afstrømnings ændringer [% i forhold til situation uden oppumpning]							
SC_1 / KE_0	53%	17%	68%	51%	41%	47%	30%
SC_1 / NON	63%	29%	76%	56%	51%	59%	41%
SC_1 / REF	22%	2%	29%	28%	18%	18%	15%
abs_non	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
abs_50%	32%	17%	40%	21%	21%	35%	14%
abs_100%	52%	27%	66%	38%	40%	49%	30%
abs_150%	69%	32%	81%	64%	58%	65%	55%

9.4 Baggrundstal

9.4.1 Grundvandsdannelse og middel afstrømning

Tabel 17 viser beregnede grundvandsdannelser og middel vandføringer ved forskellige indvindings scenarier og forskellige nedbørs situationer. Nedbørs "året" henviser ikke til et bestemt års situation, men udelukkende at beregningerne er foretaget med en nettonedbør, der svarer til de enkelte år. Det er i beregningerne antaget at der er opnået steady-state, dvs. at grundvandsstanden og nettonedbøren er uforandret i længere tid.

Tabellen indikerer at klimatiske variationer vil have en dominerende indflydelse på grundvandsdannelse såvel som vandføringer i forhold til ændringer i indvindinger. En total lukning af KE's kildepladser (scenario KE_0) svarer i påvirkning til en total neddrogning til 20-30 % og en 50% forøgelse af KE's indvindinger svarer til en 130-140% total indvinding. Der er således ikke noget der tyder på at grundvandsdannelse eller vandføring er mere følsom overfor ændringer på KE's kildepladser end på de resterende kildepladser i området.

Tabel 17 Grundvandsdannelse og afstrømning til vandløb

Basis parametre	Areal 236 km ²		Oppump 62								
Nedbør [årstal]	1991-2000	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Nedbør [mm]	227	231	211	268	344	189	83	126	330	250	225
Grundvandsdannelse til øvre regionale magasin [mm/år]											
KE_0	95	93	90	106	111	86	69	72	109	98	95
SC_1	120	118	115	131	139	110	74	93	134	123	119
0%	88	87	85	98	103	80	52	65	100	91	88
50%	98	96	93	109	116	89	82	76	112	101	98
80%	105	104	102	117	124	98	78	82	120	108	105
100%	111	110	108	122	131	103	75	86	126	114	111
120%	117	116	113	128	137	108	73	91	131	120	117
150%	125	126	120	137	146	116	75	97	141	129	125
Middel afstrømning til vandløb [mm/år]											
KE_0	170	176	157	207	286	134	36	74	273	194	169
SC_1	126	132	114	161	236	93	12	39	225	148	124
0%	186	191	172	224	303	149	48	88	290	210	184
50%	162	168	149	198	276	126	31	67	264	185	160
80%	148	154	135	184	260	113	21	56	249	171	146
100%	139	145	126	175	250	105	16	49	239	162	137
120%	130	136	118	165	241	97	13	42	230	153	129
150%	118	124	106	152	226	86	10	34	216	140	117

9.4.2 Sommervandføring

Tabel 18 viser fordelingen af sommervandføringen på delområder opgjort efter vandløbsmålsætninger. Sommervandføringen (eller minimums vandføringen) sammenholdt med vandbalancen viser at en stor del af afstrømningen (op til 80%), selv om sommeren, foregår fra øvre sekundære magasiner, hvor det bliver ledt over til dræn systemet før det bliver ledt ud i vandløbet. Forskellen i afstrømning mellem scenariet hvor der ikke indvindes (0%) og scenariet hvor der indvindes 100% er på godt 30 mm, hvilket svarer til lidt under halvdelen af "100% indvindingen" (62 mm).

Tabel 18 Minimums vandføring fordelt efter vandløbs målsætninger

Sommerafstrømning [mm/år]							
	Total	A	B1	B2	B3	CE	X
Areal	236 km ²	4 km ²	76 km ²	16 km ²	88 km ²	46 km ²	6 km ²
Afstrømning [%]	0.43 m ³ /s	2%	42%	9%	26%	19%	2%
KE_0	46	47	56	73	33	44	41
SC_1	21	39	18	35	20	24	29
0% (nul-ref)	57	55	74	80	40	57	48
50%	39	46	44	63	31	37	41
100%	27	40	25	49	24	29	34
150%	18	37	14	29	17	20	22

9.4.3 Afsækning i forhold til kalkoverfladen

Tabel 19 viser de beregnede grundvandssækninger i forhold til kalkoverfladen indenfor delområdet. Der er på den skala modellen arbejder ikke noget der tyder på at der vil være og/eller opstå overordnede problemer af denne type. Set i forhold til den relativt tykke kvartære pakker (20-30 meter), der dækker det prækvartære magasin er det heller ikke forventet at der skulle være problemer af denne type i dette område. Det skal bemærkes at modellen ikke er konstrueret til at forudsige lokale afsækninger, og at beregning af lokale afsækninger er behæftet med betydelig usikkerheder. Desuden er der ikke taget højde for sæsonmæssige variationer nettonedbør eller lokale fluktuationer i indvinding mønsteret.

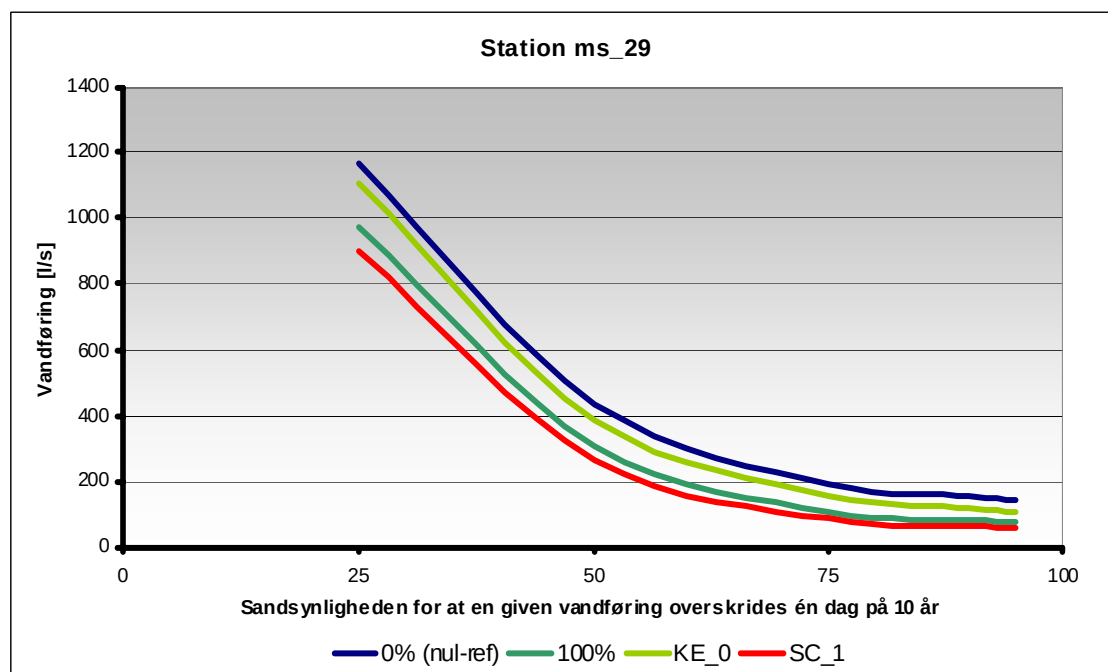
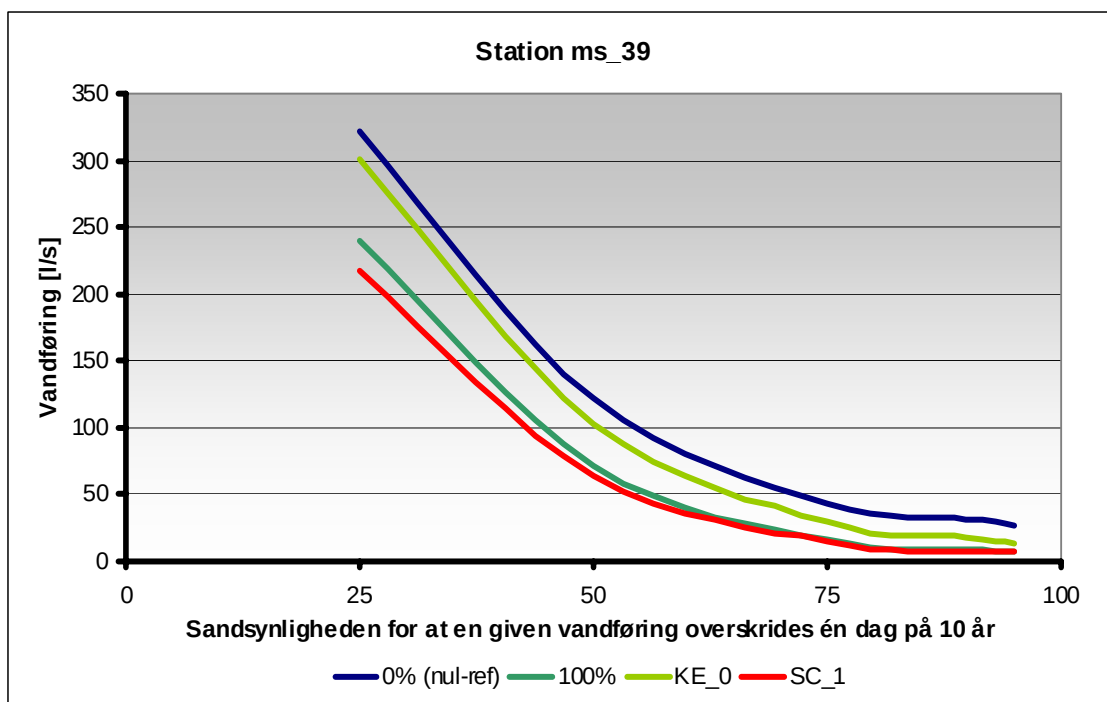
Tabel 19 Afsækninger i forhold til kalkoverfladen

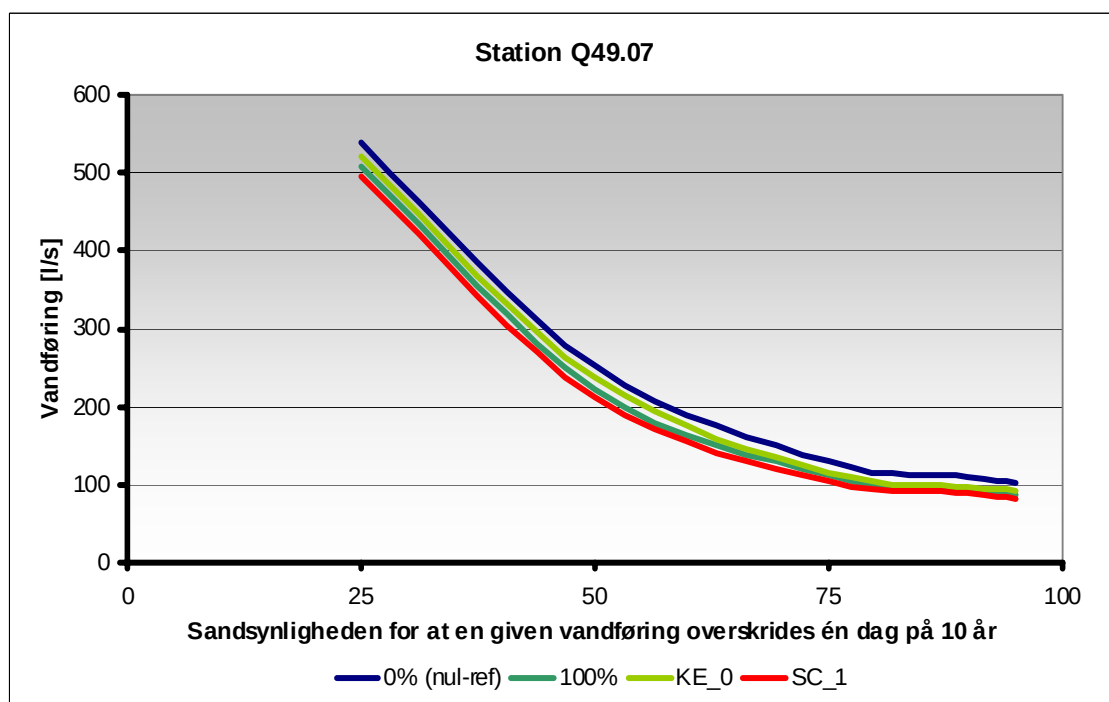
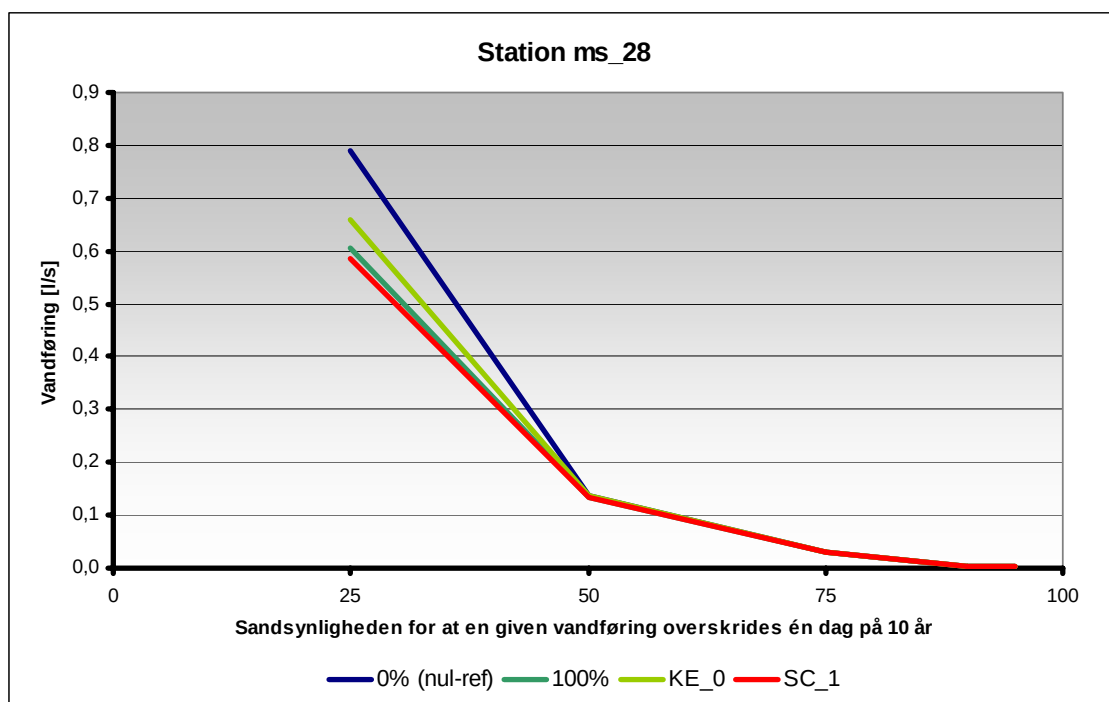
		Afsækning i procent						
opl_1		abs_150	abs_120	abs_100	abs_80	abs_50	abs_0	
Afs_kalk	> 5 m	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	KE_0
	2 - 5 m	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	SC_1
	0.5 - 2 m	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
	0 - 0.5 m	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
	< 0 m	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	

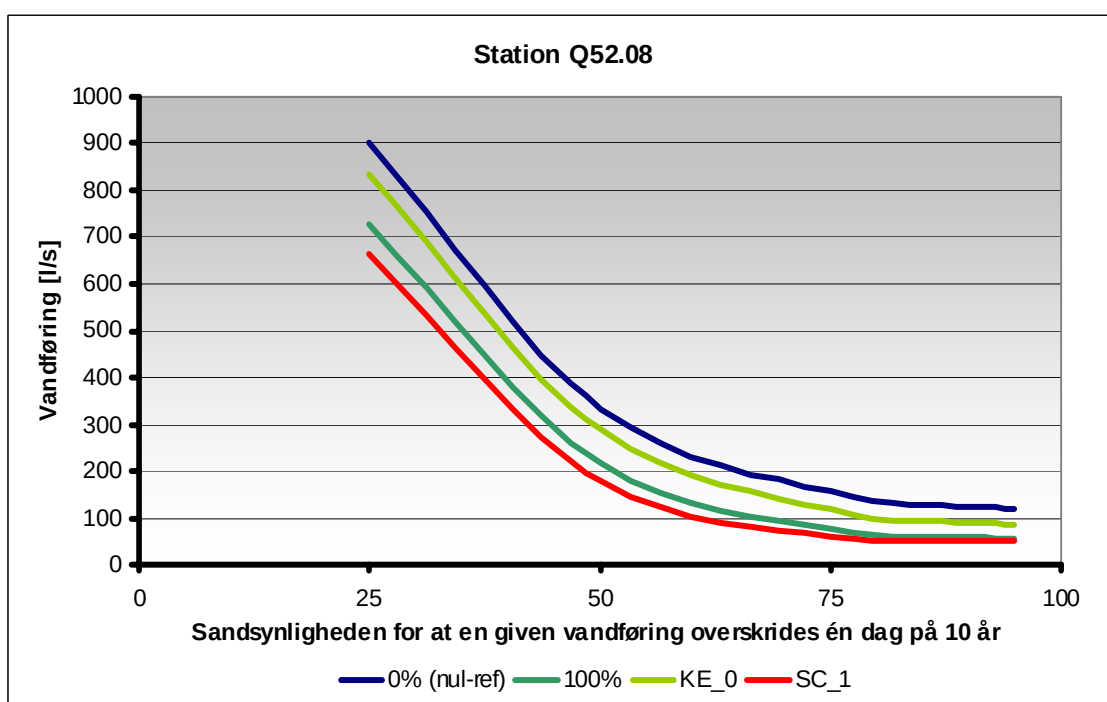
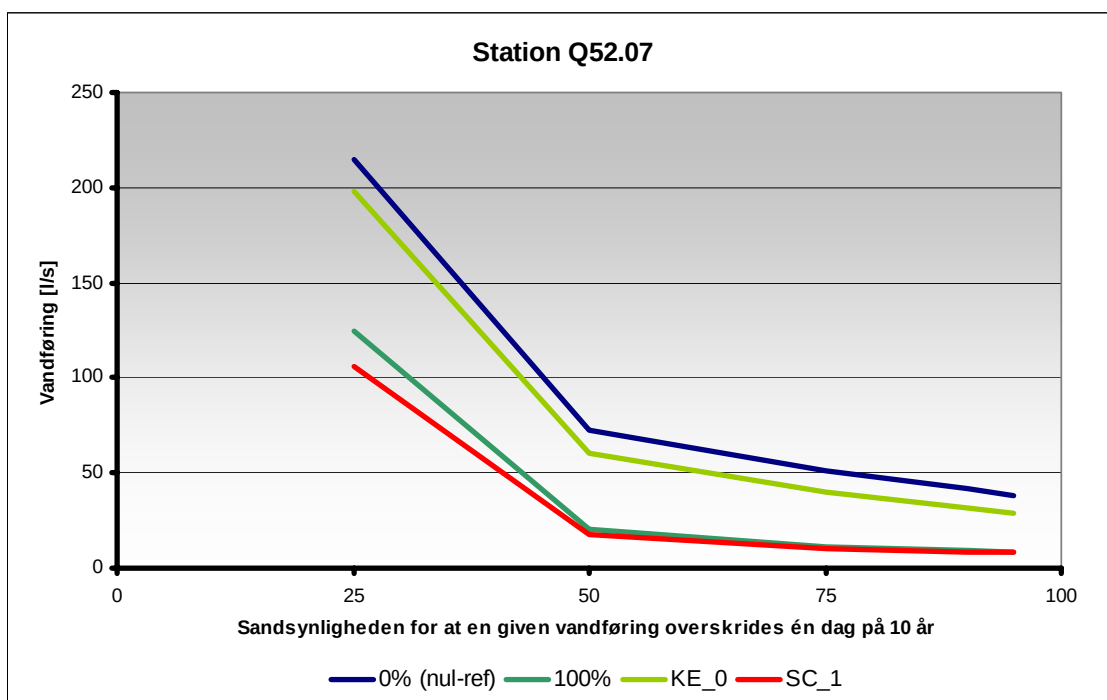
9.4.4 Varighedskurver for vandføringsstationer

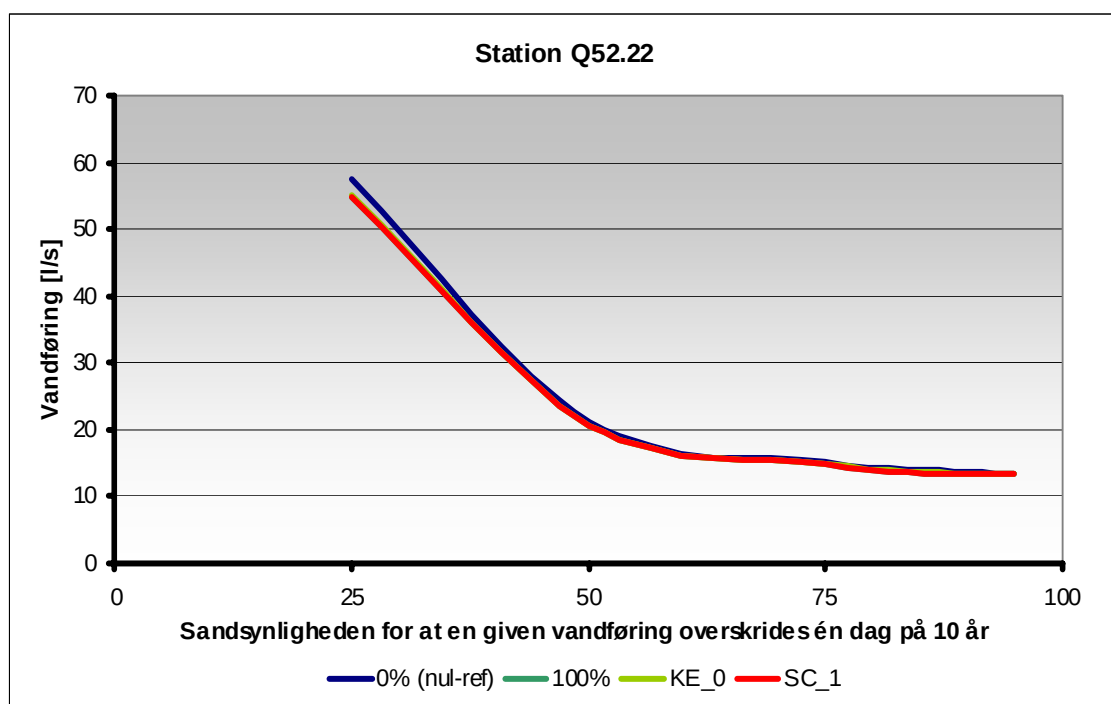
Varighedskurverne for de forskellige scenarier og forskellige vandføringsstationer indenfor delområdet er vist i det følgende. Stationerne ms_39, ms_29, Q52.07 og Q52.08 udviser alle relativt kraftigt påvirkning som følge af ændringer i indvinding. Alle stationerne ligger i den del af området, som ligger tættest på fjorden. For de resterende vandføringsstationer er der kun beskedne påvirkninger, som er relativt størst i den høje ende af skalaen, dvs. ved store vandføringer.

Tabel 20 indeholder en liste med værdierne, som danner baggrund for nedenstående figurer over varighedskurver. Det skal bemærkes igen, at DK-modellen formodentligt har svært ved at simulere de eksakte vandføringsværdier, mens der er bedre muligheder for at simulere de relative forandringer i vandføringer.









Tabel 20 Varighedskurve data for vandføringsstationer

Scenario	Q-station	Hydrograf statistik								
		Maks	Perc_05	Perc_10	Perc_25	Perc_50	Perc_75	Perc_90	Perc_95	Min
		0	5	10	25	50	75	90	95	100
0% (nul-ref)	ms_28	28.3	5.8	3.2	0.8	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
100%	ms_28	21.6	2.8	1.4	0.6	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
KE_0	ms_28	25.3	3.9	1.7	0.7	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
SC_1	ms_28	20.8	2.2	1.3	0.6	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0% (nul-ref)	ms_29	6385	2238	1869	1170	437	195	156	143	131
100%	ms_29	5691	1983	1637	975	307	105	82	74	66
KE_0	ms_29	6158	2145	1782	1101	387	155	120	110	101
SC_1	ms_29	5410	1888	1539	900	262	86	67	61	55
0% (nul-ref)	ms_39	2381	630	517	322	122	44	31	27	23
100%	ms_39	2119	513	412	240	72	16	10	8	6
KE_0	ms_39	2324	597	492	301	103	29	18	13	9
SC_1	ms_39	1966	478	381	217	63	14	8	6	5
0% (nul-ref)	q49.07	3291	974	817	539	253	129	109	103	96
100%	q49.07	3192	951	789	510	223	111	93	87	81
KE_0	q49.07	3235	961	801	522	235	117	98	92	86
SC_1	q49.07	3146	939	775	496	212	105	88	83	78
0% (nul-ref)	q52.07	1226	460	356	215	73	51	42	38	34
100%	q52.07	991	338	249	125	20	11	9	9	8
KE_0	q52.07	1176	431	336	198	60	40	32	29	25
SC_1	q52.07	779	280	209	106	17	10	9	8	8
0% (nul-ref)	q52.08	5161	1766	1458	906	334	154	126	116	106
100%	q52.08	4517	1520	1251	728	216	77	61	56	51
KE_0	q52.08	4945	1674	1376	837	287	117	92	84	77
SC_1	q52.08	4266	1427	1163	663	179	62	51	48	44
0% (nul-ref)	q52.22	304	134	101	57	21	15	14	14	13
100%	q52.22	304	127	97	55	21	15	13	13	13
KE_0	q52.22	304	128	97	55	21	15	14	13	13
SC_1	q52.22	304	127	97	55	21	15	13	13	13

10. VÆREBRO - DELOMRÅDE 2

10.1 Område præsentation

10.1.1 Indvindinger

Området det afgrænset så det dækker indvindinger til Søndersø vandværk, svarende til kildepladserne: *Bjellekjær, Bogøgård, Egholm, Kildedal, Søndersø vest og øst, samt Tipperup. Hertil kommer Værebros kildeplads. Desuden er der medtaget 34 kildepladser alle med en årlig indvinding på over 25.000 m³/år. Reference oppumpningen (abs_100%) svare til en middel indvinding for perioden 1990-1999, hvor KE's kildepladser udgør ca. 14 mill. m³/år, svarende til ca 65 % af den årlige indvinding indenfor området.*

Tabel 21 Opgørelse over indvindinger medtaget i modellen indenfor delområde 2; Bemærk at alle indvindinger er angivet i 1000 m³/år

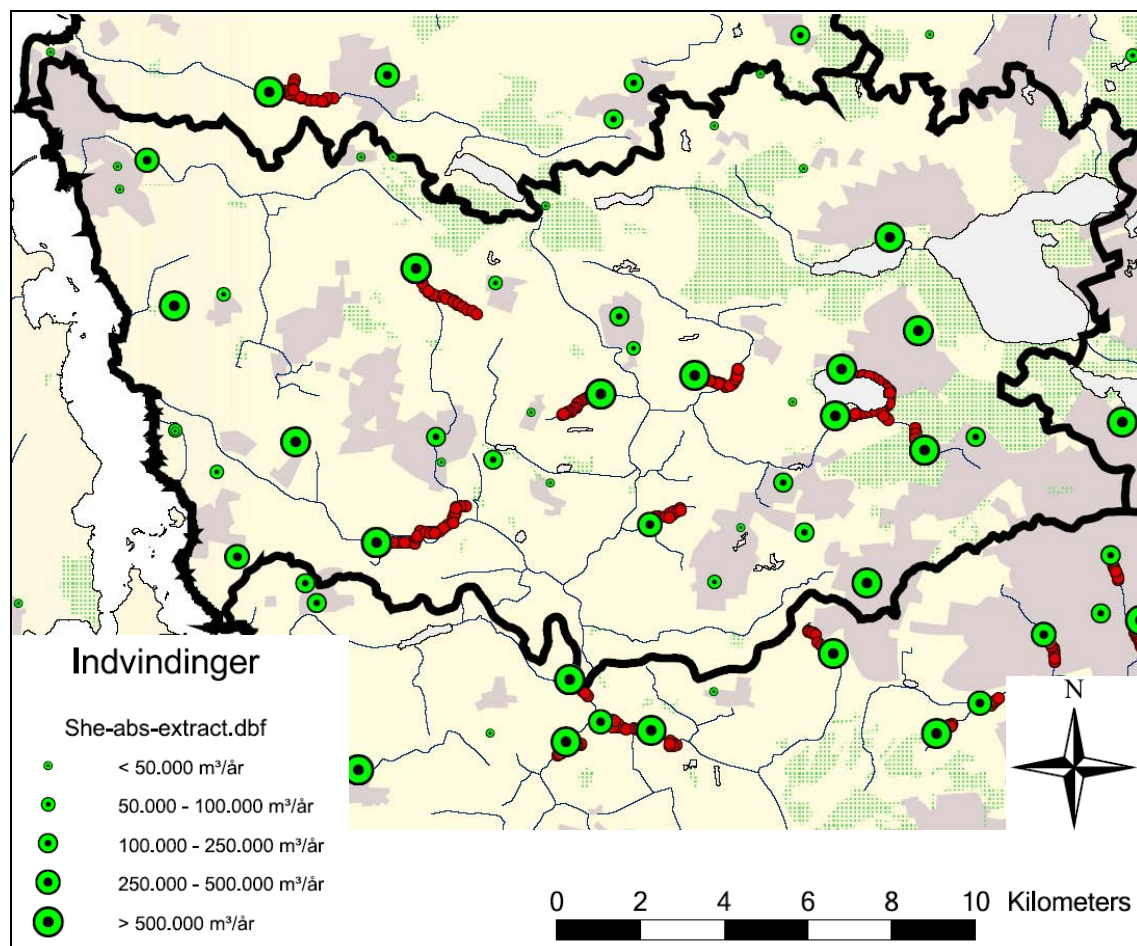
Kildeplads / vandværk	abs_100%	KE_0	SC_1
Søndersø /Bjellekjær	959	0	1460
Søndersø /Bogøgård	1957	0	2978
Søndersø /Egholm	1224	0	1863
Søndersø /Kildedal	330	0	502
Søndersø /Søndersø Vest	1257	0	1913
Søndersø /Søndersø Øst	3770	0	5737
Søndersø /Tipperup	2838	0	4319
Islevbro /VÆREBRO	1947	0	2963
Farum VV	1303	1303	1303
Værløse vv	845	845	845
Ølstykke VV	752	752	752
Marbæk VV	702	702	702
Ballerup vv	568	568	568
Ådalsværket	414	414	414
Smakkevej 12, Jyllinge	335	335	335
Jyllinge Vandværk A.m.b.A	288	288	288
Hareskov vv	249	248.8294	249
Smedebakken VV	248	248.2712	248
Pilegårdens vv	239	239.1999	239
Måløv vv	213	212.7066	213
Stenlien VV	207	207	207
Ganløse Nordre VV	104	104	104
Sum af mindre VV (under 100.000 m ³ /år) (20 stk)	815	815	815

KE_0 svarer til den indvinding som er anvendt i KE_0 scenariet, dvs. det alternative nul-scenario hvor alle KE relaterede indvindinger er lukkede. SC_1 svarer til indvindingerne, der er anvendt under scenario 1, dvs. hvor indvindinger som ikke er relateret til KE er fast-

holdt på reference oppumpningen (abs_100%), men hvor KE's indvindinger i delområde 1 og 2 er forøget og KE's indvindinger i område 5 og 6 er formindsket.

Som en del af opgaven er indvindingerne fra KE's kildepladser blevet linie-fordelt efter placeringen af de enkelte borer på kildepladserne. Liniefordeling anvendes i modelsammenhæng når der ikke er de store forskelle på specifik indvinding fra de enkelte borer (eller usikre informationer), der indgår i linien, og så længe borerne er placeret langs en approksimativ line. Ved liniefordeling tilskrives alle model-celler langs linien en lige andel af kildepladsens totale indvinding, bestemt ud fra hvor mange celler der ligger langs linien.

De enkelte kildepladsers reference oppumpning er angivet med en grøn cirkel på nedenstående figur, hvor også placeringen af KE's borer på de enkelte kildepladser er angivet med røde prikker. Reference oppumpningen for KE's kildepladser er fordelt langs linien som de røde prikker (KE-borer) danner, selvom det af figuren kan se ud som om at indvindingen er koncentreret for enden af de respektive kildepladser.

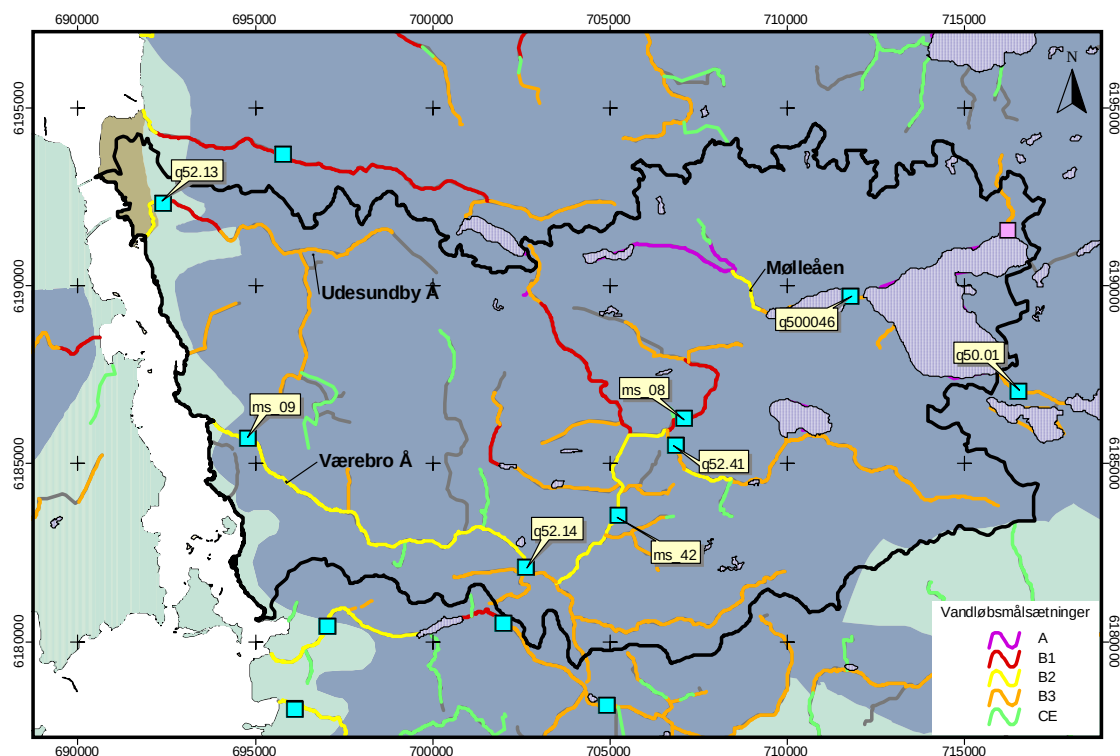


Figur 21 Afgrænsning af delolandet samt placering af størrelse af indvindinger

10.1.2 Vandløbssystem

Deloplandet er i store træk afgrænset af de topografiske oplande til hovedvandløbene Værebroy å og Udesund å, samt et delopland til Mølleåen. De topografiske oplande til disse vandløb er større end det approksimative indvindingsopland til KE's indvindinger indenfor området, men svarer samtidigt til det mindste fællesareal som vandløbsoplandene og indvindingsoplandene danner. Bestemmelse af det approksimative indvindingsopland er dels baseret på partikelbane beregninger med DK-model Sjælland og dels baseret på tidligere opgørelser (KE kort materiale). Der er valgt at tage hensyn til vandløbsoplandene af to årsager, dels for at anvende samme principper, som blev brugt under ressource opgørelsen i Ferskvandets kredsløb (Henriksen og Sonnenborg, 2003) og dels fordi der i opgaven fokuseres på indvindingens påvirkning af vandføringer i vandløbene.

Oplandet til Værebroy å, der dækker ca. 60% af hele oplandet, er meget blandet målsat med B2 eller lavere målsætninger for langt de fleste delstrækninger. Kun mindre dele af vandløbssystemet, nedre del af Udesundby å og øvre dele af Værebroy å, er B1 målsat (røde delstrækninger på figuren). Indenfor oplandet er det kun øvre del af Mølleåen der er målsat med målsætningsklasse A. I alt er ca. 50% af oplandet dækket af delstrækninger som er B3 målsat. Af figuren fremgår det også at stort set hele oplandet administrativt er udpeget som "område med særlig drikkevandsinteresser".



Figur 22 Vandløb, vandløbs målsætninger og vandføringsstationer indenfor oplandet

Tabel 22 giver et overblik over hvilke stationer, som er medtaget i ressource beregningerne, samt arealet af de tilknyttede topografiske oplande. For Værebroy å og Mølleåen er der medtaget flere end en enkelt vandføringsstation. Vandløbet er gennem placeringen af vandføringsstationerne opdelt i under-oplande, så det bliver muligt at bidrag og delbidrag fra både øvre og nedre dele af vandløbs netværket. Det er i dette opland, som i de øvrige

oplande, forsøgt at finde balancen mellem en god opløsning af oplandets vandløbs netværk og en minimering af antallet af målestationer. Samtidigt er det tilstræbt at undgå under-oplande på mindre end 25 km², der forventes at udgøre den nedre grænse for modellens evne til at opløse vandbalancens del elementer, herunder vandløbsbidraget.

Stationer med Q betegnelse foran nummeret indgår i det nuværende måleprogram, dvs. at der eksisterer Q eller H data for hele eller dele af perioden 1989-2004. Stationerne med "ms_" betegnelse er enten stationer der indgår i fauna data programmet, men hvor der ikke eksisterer Q eller H data, eller stationer der kun optræder virtuelt, dvs. i den hydrologiske model.

Netværk (størrelse)	Station
Bunds å (14 km ²) (del af Værebros å)	ms_08
Mølle å (34 km ²)	Q500046
Mølle å (62 km ²)	Q50.01
Udesundby å (43 km ²)	Q52.13
Værebros å (108 km ²)	Q52.14
Værebros å (153 km ²)	ms_09
Værebros å (34 km ²)	Q52.41
Værebros å (78 km ²)	ms_42

Tabel 22 Oplandsstørrelser og vandføringsstationer

10.1.3 Overordnet vandbalance

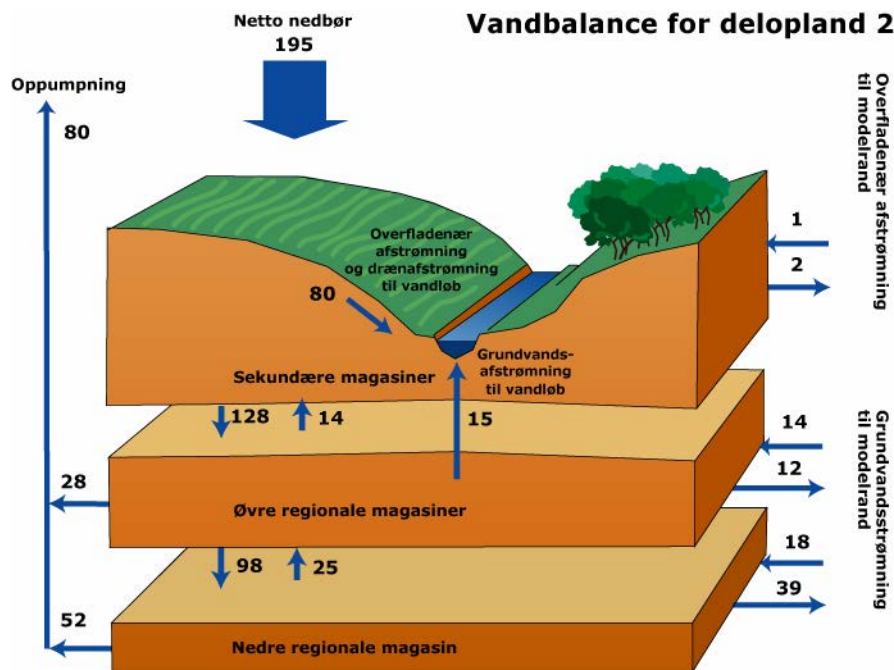
Vandbalancen for deloplandet er beregnet med en middelnedbør for perioden 1991-2000 med en stationær model (sjke-stat) og som en gennemsnits vandbalance for perioden 1991-2001 med en dynamisk model (sjke-dyn). I tabellen betyder "GVD" den positive grundvandsdannelse til de enkelte beregningslag. Alle tal er opgjort i mm/år.

Tabel 23 Overordnet vandbalance for deloplandet

WBL	B.Lag	Netnedbør	Rand-ind	Rand-ud	Magasin	GVD	Oppump	Dræn	Baseflow
sjke-dyn 1991 - 2001	1	-191.8	0.6	1.6	-0.3	0.0	0.0	78.1	4.5
	2	2.6	0.2	0.0	0.2	125.4	0.0	0.0	2.0
	3	0.5	10.7	6.0	-3.6	122.1	0.4	0.0	9.9
	4	0.0	0.1	0.2	0.0	113.4	0.0	0.0	0.0
	5	0.0	1.8	3.7	0.0	113.1	2.3	0.0	0.0
	6	0.0	0.0	0.1	0.0	107.3	0.0	0.0	0.0
	7	0.0	0.6	1.3	0.0	107.2	25.1	0.0	0.0
	8	0.0	0.0	0.0	0.0	96.4	0.0	0.0	0.0
	9	0.0	17.5	38.0	0.0	96.3	51.0	0.0	0.0
sjke-stat 1991 - 2001	1	-195.0	0.6	1.8	0.0	0.0	0.0	80.0	2.1
	2	0.0	0.2	0.0	0.0	130.1	0.0	0.0	1.8
	3	0.0	11.0	6.3	0.0	128.5	0.4	0.0	10.8
	4	0.0	0.1	0.2	0.0	116.1	0.0	0.0	0.0
	5	0.0	1.9	4.0	0.0	115.8	2.3	0.0	0.0
	6	0.0	0.0	0.1	0.0	109.4	0.0	0.0	0.0
	7	0.0	0.6	1.4	0.0	109.3	25.4	0.0	0.0
	8	0.0	0.0	0.0	0.0	98.3	0.0	0.0	0.0
	9	0.0	18.3	39.5	0.0	98.2	51.7	0.0	0.0

Det fremgår af vandbalancen, at der indvindes ca 1/3 af nettonedbøren indenfor området. Grundvandsdannelsen til de dybe magasiner (GVD) svarer ca. til ½ af nettonedbøren, mens GVD til de øvre magasiner er ca. 25-30% højere end til de nedre magasiner. Ca. 85-90 % af vandløbsafstrømningen stammer fra dræn eller overfladenær afstrømning.

Det fremgår ligeledes af vandbalancen at delområdet hydrologiske afgrænsning ikke samstemmende med det hydrologiske opland til vandløbene, hvilket kan ses af 10-20% af vandbalancen strømmer enten ind eller ud på tværs i dybden. Hoveddelen af ind og udstrømningen sker fra de to primære magasiner indenfor området (beregningsslag 3 og 9). Kun en begrænset del af udstrømningen kan forklares med underjordisk strømning til havet. Figur 23 viser de overordnede balance taget fra den stationære kørsel med reference oppumpningen.



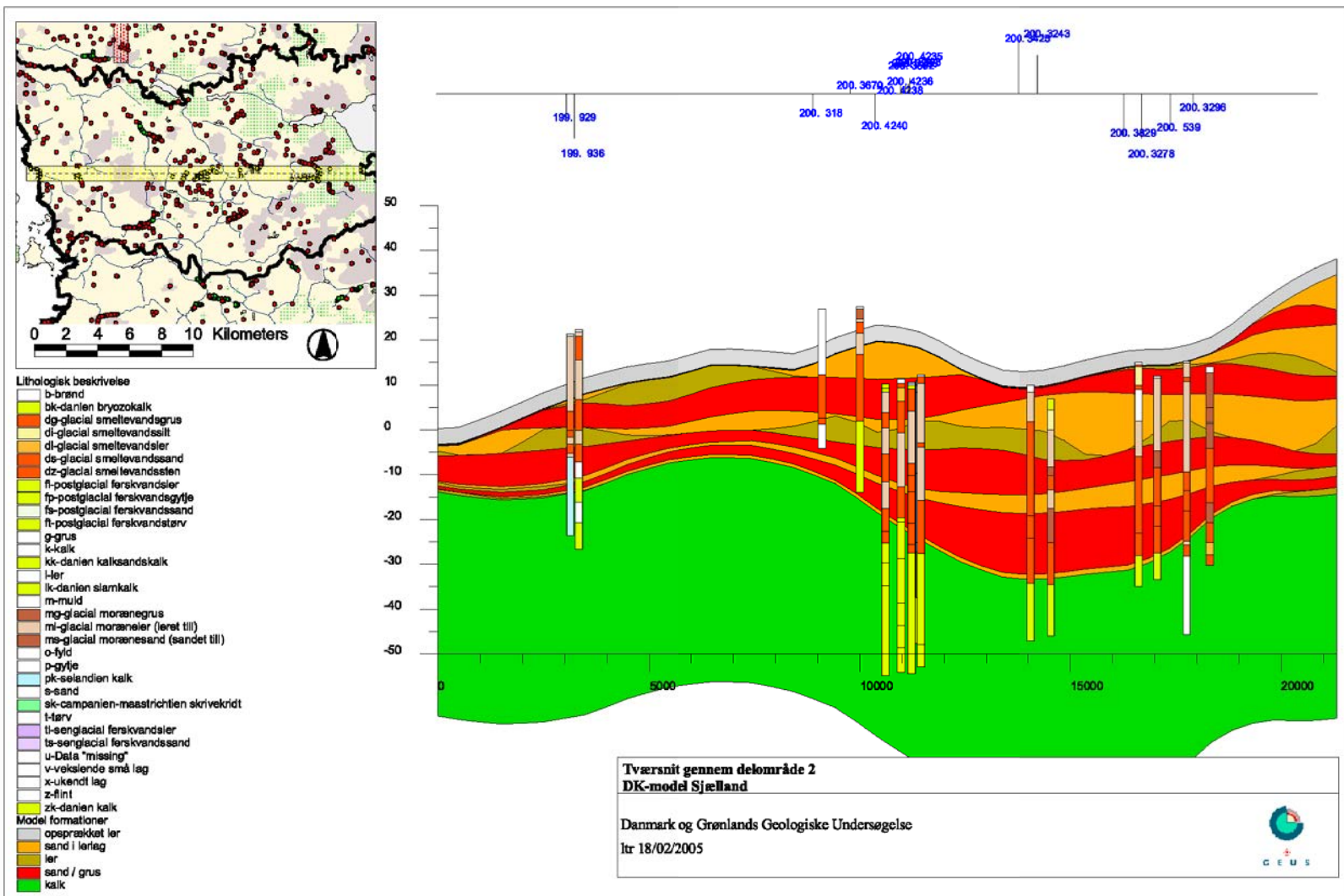
Figur 23 Vandbalance for delopland 2

10.1.4 Geologisk konceptualisering

Det prækvartære er det primære magasin indenfor deloplandet. Langt den overvejende del af indvindingerne er filtersat i det prækvartære magasin. En lille restgruppe af indvindinger er filtersat i sandmagasiner og i de tilfælde drejer det sig primært om det øvre sandmagasin, som i modellen svarer til beregningslag 3. På Figur 24 ses et vest-øst tværsnit gennem området med den i modellen anvendte geologiske tolkning.

Modellen er opstillet i 1x1 km² grid, hvorfor der kan være indtil flere borerer indenfor et enkelt grid. De enkelte borerers geologiske logs er ikke overholdt direkte i modellen, derimod er de generelle tendenser forsøgt gengivet i modellen. Figuren er dannet ved at projicere boreringsinformationer fra dybere borerer indenfor et 900 meter bælte langs et vest-øst gående transekt. Borerernes variation både topografisk og lithologisk i forhold til modellen kan ses som et udtryk for den generelle variabilitet, der ikke er repræsenteret som følge af den skala modellen dækker.

Figur 24 Geologisk tværsnit gennem deloplandet



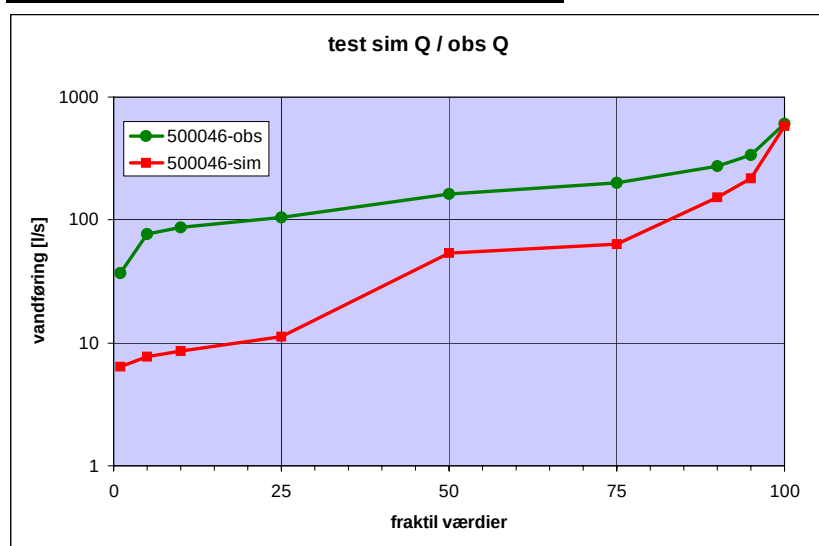
10.2 Model performance

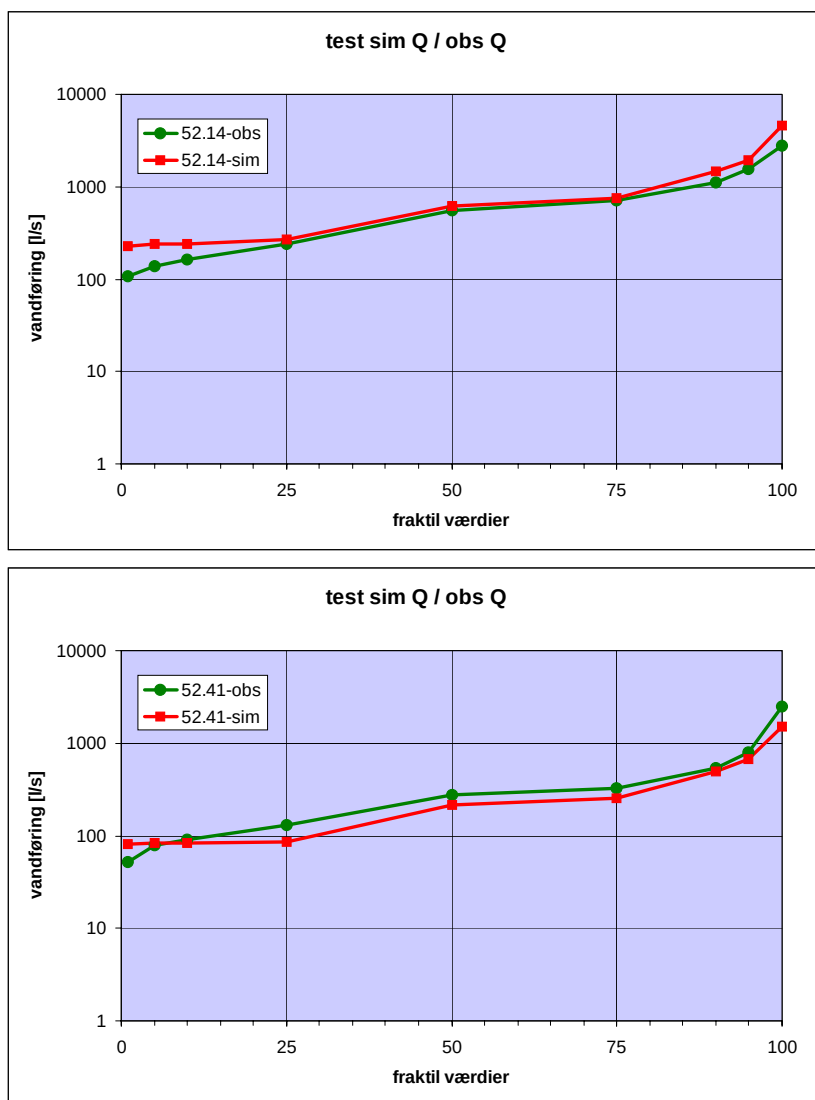
Der er ikke gennemført nogen egentlig kalibrering i forhold til deloplande, men modellen er generelt kalibreret for hele Sjælland herunder også deloplandene. Der er ikke noget i modellens evne til at simulere grundvandsstande og vandløbsafstrømninger der giver anledning til at udpege enkelte underområder som særligt problematiske. Indenfor dette delopland er kun vandføringsstation Q52.14 blevet brugt direkte i kalibreringen. Ved dette valg dækkes lidt mindre end halvdelen af deloplandet, men de resterende stationer er enten vurderet som havende et for lille tilknyttet opland eller med forstyrrende reguleringer – begge dele er problematisk at simulere direkte. I ressource opgørelsen og scenarierne er det således blevet valgt at fokusere på relative forandringer som følge af ændrede betingelser.

For at vurdere modellens evne til at simulere varighedskurver for de enkelte vandføringsstationer, er der foretaget visuelle sammenligninger af varighedskurver for alle vandføringsstationer hvor vandføringsdata var tilgængelige. Varighedskurverne dækker valideringsperioden (1988-1996) i det omfang at der var data for hele perioden.

Tabel 24 Modellens evne til at simulere vandføringer

Mål	Stationer		
	Q500046	Q52.14	Q52.41
R^2	-1.39	0.59	0.60
<i>Obs-95% fraktil</i>	76	137	80
<i>Sim-95% fraktil</i>	8	237	82
<i>Obs-90% fraktil</i>	87	165	92
<i>Sim-90% fraktil</i>	9	241	84
<i>Obs-75% fraktil</i>	106	241	129
<i>Sim-75% fraktil</i>	11	269	87
<i>Obs-25% fraktil</i>	203	706	325
<i>Sim-25% fraktil</i>	63	751	255
<i>Obs-10% fraktil</i>	273	1113	541
<i>Sim-10% fraktil</i>	154	1457	501
<i>Obs-5% fraktil</i>	339	1547	786
<i>Sim-5% fraktil</i>	217	1919	669





10.3 Indikator mål og ressource opgørelse

I ressource opgørelsen er der beregnet grundvandsdannelser til øvre det primære magasin (beregningsslag 3) ved forskellige indvindings scenarier. Som i Ferskvandets kredsløb er grundvandsdannelsen beregnet ved indvindinger svarende til 0, 50, 80, 100, 120 og 150 % af reference indvindingen. Herudover er regnet på to scenarier, et hvor KE's kildepladser er slukkede (KE_0) og et hvor KE's kildepladser indenfor dette område har overtaget halvdel af reference indvindingen fra delområde 6 (SC_1). Ud over ændringer i indvindingen og indvindingsstrukturen er det blevet regnet varige klimatiske variationer, svarende til det andet tørreste år indenfor 10 års perioden 1991-2000, samt det tredje vådeste år indenfor samme periode.

Grundvandsdannelsen og ændringer i grundvandsdannelsen bruges i beregning af indikator 1 og 2. Både indikator 1 og 2 peger i retningen af at der indvindes to til tre gange for meget inden for området, med noget følsomhed overfor tørre og våde klimatiske situationer. Ændringer i middelflustrømningen bruges i beregning af indikator 3, der viser ved hvilken procentvis udnyttelse af reference indvindingen, at der sker en netop 10% ændring af

middelfaststrømningen i forhold til den upåvirkede situation (dvs. uden indvinding). Indikator 3 antyder at det største problem indenfor området er ændringer i vandføringen, hvilket bekræftes af indikator 4 (highlighted). Begge indikatorer foreslår en udnyttelse på 5-20% af reference indvindingen. Indikator 4 viser at det specielt er sommervandføringen der er følsom. I beregning af indikator 3' er det antaget, at den nuværende vandføring er acceptabel, hvorfor denne bruges som udgangspunkt for beregninger. Indikator 3' giver antydet at indvindingen kan øges med op til 10% uden at den nuværende vandføring påvirkes uhenigtsmæssigt.

Tabel 25 Ressource opgørelse for deloplandet (indikator 1 – 3)

Opgørelse af Indikator 1 - 3 opland 2				
<i>Areal</i>	270 mm/år			
<i>Reference oppumpning (100%)</i>	80 mm/år			
<i>Periode</i>		<i>Middel</i>	<i>Tør</i>	<i>Våd</i>
<i>Nettonedbør</i>		199 mm/år	115 mm/år	261 mm/år
Bæredygtigt indvinding (percent af oppumpning)				
<i>Indikator 1(abs/gvd_uop<35%)</i>		45%	34%	50%
<i>Indikator 2(abs/gvd<30%)</i>		40%	30%	40%
<i>Indikator 3 (middel.afst.)</i>		20%	10%	30%
<i>Indikator 3 relativt til Nu</i>		110%	100%	120%
Scenario	Oppumpning [mm/år]	Grundvandsdannelse til beregningslag 3 [mm/år]		
KE_0	27	112	84	128
SC_1	107	135	110	154
0%	0	102	77	115
50%	40	114	86	128
80%	64	123	93	139
100%	80	128	106	146
120%	96	135	108	153
150%	120	144	104	165
Middelfaststrømning til vandløb [mm/år]				
KE_0	27	141	68	199
SC_1	107	78	16	134
0%	0	165	90	226
50%	40	131	55	189
80%	64	109	34	168
100%	80	95	23	153
120%	96	81	16	138
150%	120	61	11	116

Tabel 26 Ressource opgørelse for deloplandet (indikator 4)

opl_2	A	B1	B2	B3	CE	X
Areal	270 km ²	46 km ²	20 km ²	37 km ²	125 km ²	30 km ²
Afstrømning [%]	0.75 m ³ /s	11%	22%	22%	40%	5%
Afstrømnings ændringer [% i forhold til situation uden oppumpning]						
SC_1 / KE_0	69%	87%	86%	67%	60%	40%
SC_1 / NON	76%	95%	88%	74%	68%	49%
SC_1 / REF	38%	53%	63%	31%	34%	16%
abs_non	0%	0%	0%	0%	0%	0%
abs_50%	33%	69%	28%	31%	29%	18%
abs_100%	61%	88%	67%	63%	52%	40%
abs_150%	85%	95%	94%	83%	79%	75%

Tabel 26 viser at A målsatte vandløbsstrækninger har et opland der dækker ca. 10% af hele oplandet. Samtidigt er A målsatte vandløbsstrækninger dem som er mest følsomme overfor ændringer i indvinding, hvilket ikke umiddelbart kan forklares ved at A målsatte delstrækninger ligger langs KE's indvindingsboringer.

10.4 Baggrundstal

10.4.1 Grundvandsdannelse og middel afstrømning

Tabel 27 viser beregnede grundvandsdannelser og middel vandføringer ved forskellige indvindings scenarier og forskellige nedbørs situationer. Nedbørs "året" henviser ikke til et bestemt års situation, men udelukkende at beregningerne er foretaget med en nettonedbør, der svarer til de enkelte år. Det er i beregningerne antaget at der er opnået steady-state, dvs. at grundvandsstanden og nettonedbøren er uforandret i længere tid.

Tabellen indikerer, at klimatiske variationer vil have indflydelse på grundvandsdannelse såvel som vandføringer i forhold til ændringer i indvindinger. De tilsyneladende store variationer i grundvandsdannelse og middelaflstrømning er ikke et udtryk for år til år variationer, men skal ses som en situation der vil kunne opstå ved stationære tilstande med de tilhørende nedbørsmængder.

En total lukning af KE's kildepladser (scenario KE_0) resulterer i en grundvandsdannelse og middelaflstrømning, der svarer til grundvandsdannelsen og middelaflstrømningen ved en total neddrogning til 40-50%. Ligeledes giver 50% forøgelse af KE's indvindinger (scenario SC_1) en påvirkning der svarer til en 120-130% indvinding i forhold til reference indvindingen. Dette giver en indikation om at grundvandsdannelse eller vandføring er mere følsom overfor ændringer generelt i indvundne mængder inden for området, end på KE's kildepladser.

Tabel 27 Grundvandsdannelse og afstrømning til vandløb

Basis parametre for områderne		Areal 270 km ²		Oppump 80 mm/år		Opgørelse for opland 2					
Nedbør [årstal]	1991-2000	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Nedbør [mm]	199	192	173	261	315	161	72	115	276	213	201
Grundvandsdannelse til øvre regionale magasin [mm/år]											
KE_0	112	109	106	128	136	101	73	84	129	115	112
SC_1	135	161	127	154	165	132	74	110	156	156	141
0%	102	100	97	115	126	93	56	77	118	104	102
50%	114	112	108	128	138	103	118	86	130	118	115
80%	123	121	116	139	147	115	99	93	141	126	124
100%	128	127	120	146	155	130	73	106	148	134	129
120%	135	156	126	153	163	141	69	108	155	144	138
150%	144	171	138	165	175	145	69	104	166	159	156
Middel afstrømning til vandløb [mm/år]											
KE_0	141	134	121	199	250	109	31	68	211	153	143
SC_1	78	72	58	134	185	48	2	16	147	90	80
0%	165	157	144	226	277	131	55	90	238	178	167
50%	131	123	110	189	241	98	19	55	202	143	132
80%	109	102	88	168	220	76	6	34	180	122	111
100%	95	88	74	153	205	62	3	23	166	107	96
120%	81	74	60	138	189	49	3	16	151	93	82
150%	61	55	43	116	166	34	2	11	128	73	63

10.4.2 Sommervandføring

Tabel 28 viser fordelingen af sommervandføringen på delområder opgjort efter vandløbsmålsætninger. Forskellen i afstrømning mellem scenariet hvor der ikke indvindes (0%) og

scenariet hvor der indvindes 100% er på godt 50 mm, hvilket svarer til noget over halvdelen af "100% indvindingen" (80 mm).

Tabel 28 Minimums vandføring fordelt efter vandløbs målsætninger

Sommerafstrømning [mm/år] opland 2							
	Total	A	B1	B2	B3	CE	X
Areal	270 km ²	46 km ²	20 km ²	37 km ²	125 km ²	30 km ²	12 km ²
Afstrømning [%]	0.75 m ³ /s	11%	22%	22%	40%	5%	0%
KE_0	68	23	237	111	60	32	0
SC_1	21	3	32	36	24	19	0
0% (nul-ref)	87	54	264	140	75	38	0
50%	58	17	190	96	54	31	0
100%	34	6	87	52	37	23	0
150%	13	3	15	23	16	9	0

10.4.3 Afsænkning i forhold til kalkoverfladen

Tabel 29 viser de beregnede grundvandssænkninger i forhold til kalkoverfladen indenfor delområdet. Der er på den skala modellen arbejder ikke noget der tyder på at der vil være og/eller opstå overordnede problemer af denne type. Set i forhold til den relativt tykke kvar-tære pakker (20-30 meter), der dækker det prækvartære magasin er det heller ikke forventet at der skulle være problemer af denne type i dette område. Det skal bemærkes at modellen ikke er konstrueret til at forudsige lokale afsænkninger, og at beregning af lokale afsænkninger er behæftet med betydelig usikkerheder. Desuden er der ikke taget højde for sæsonmæssige variationer nettonedbør eller lokale fluktuationer i indvinding mønsteret.

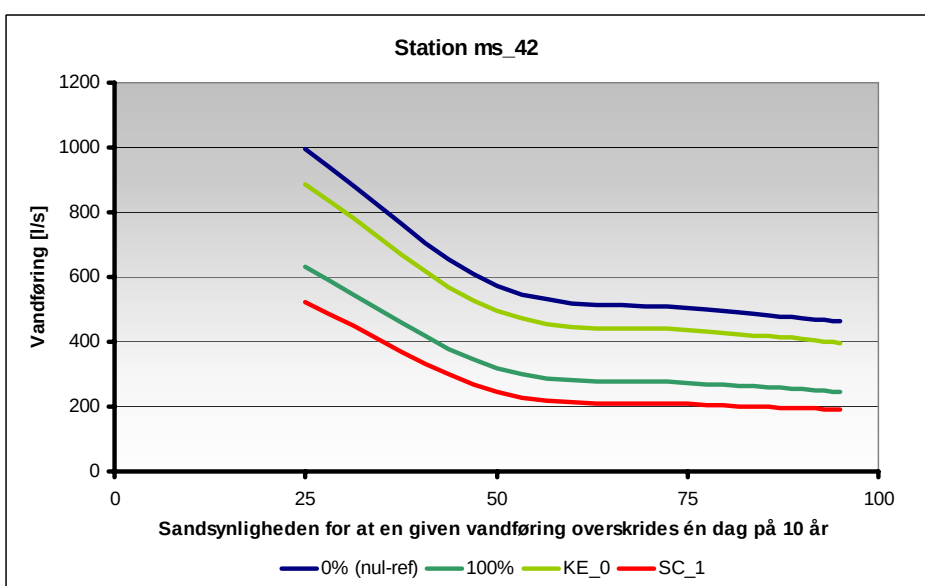
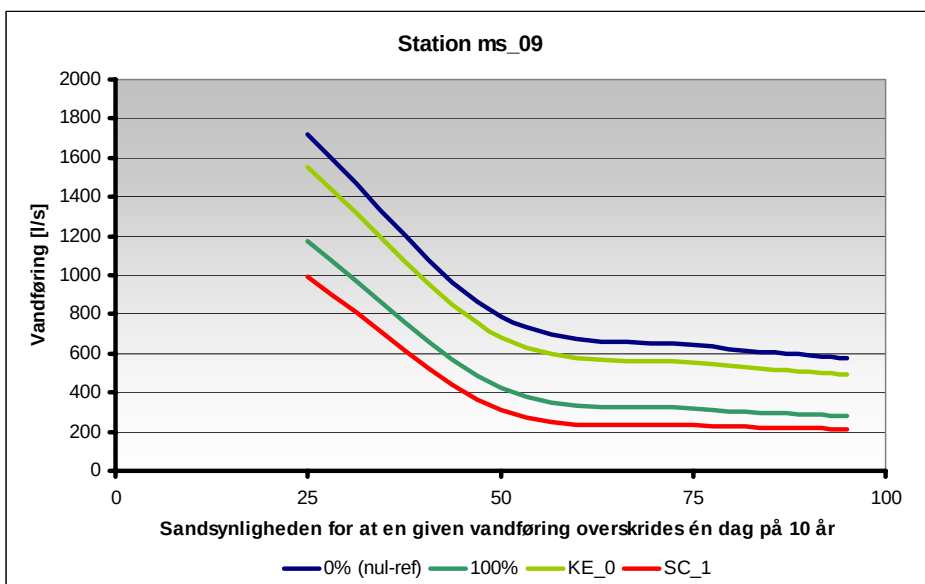
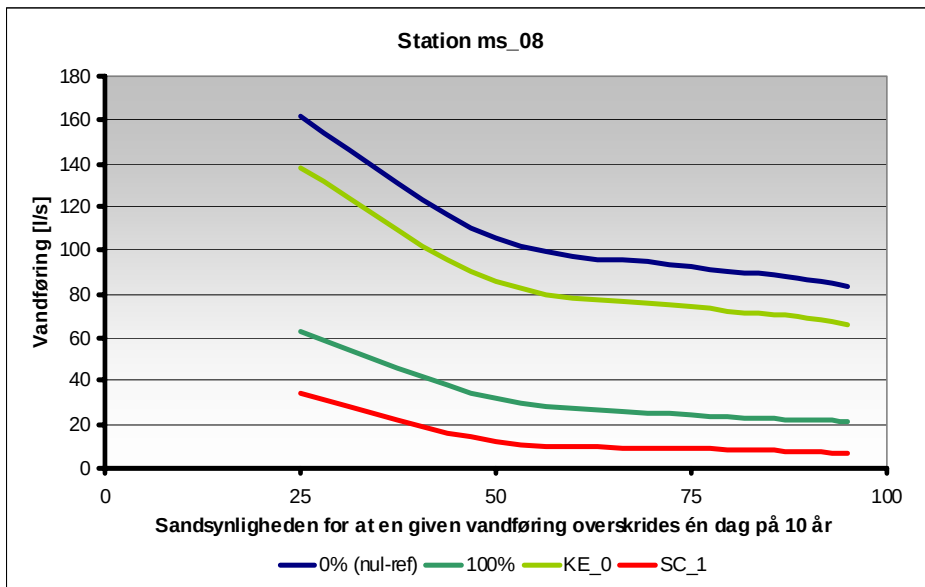
Tabel 29 Afsænkninger i forhold til kalkoverfladen

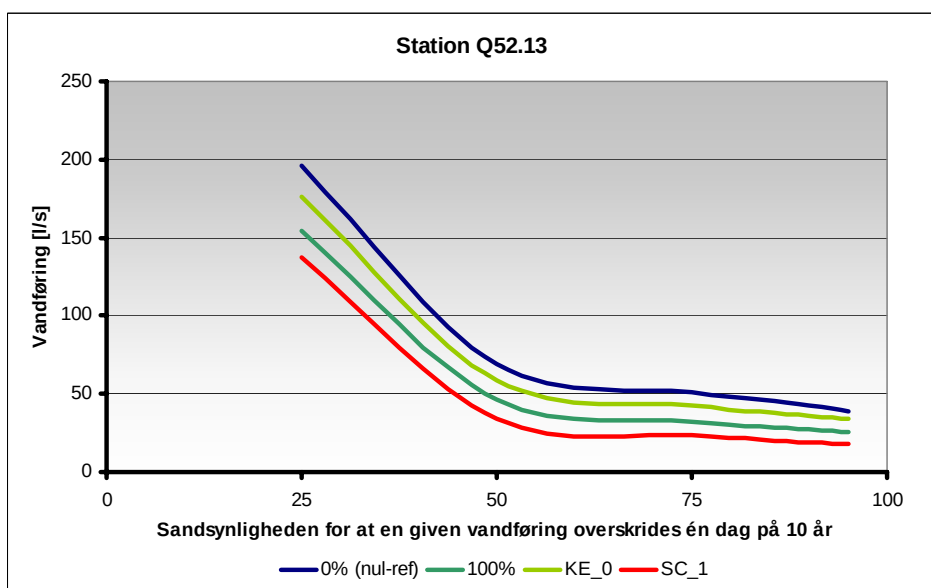
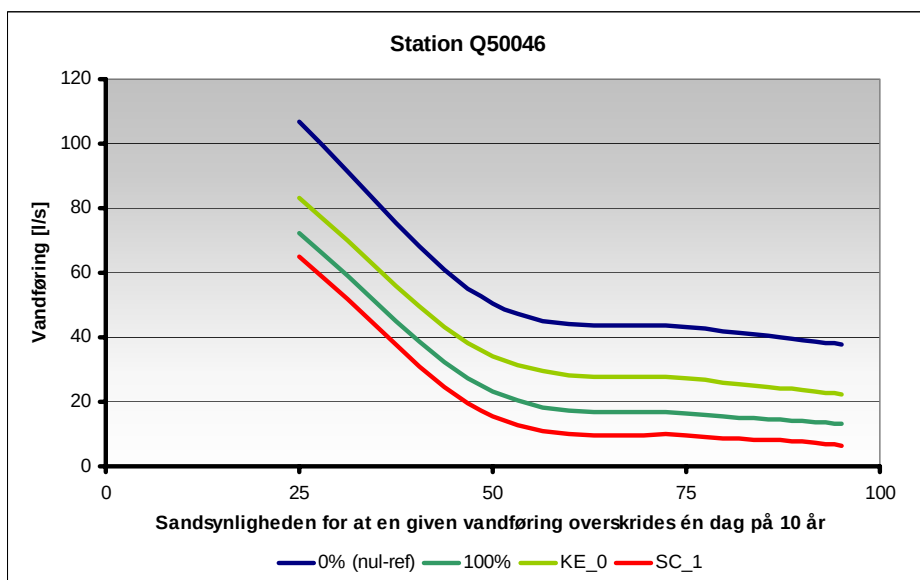
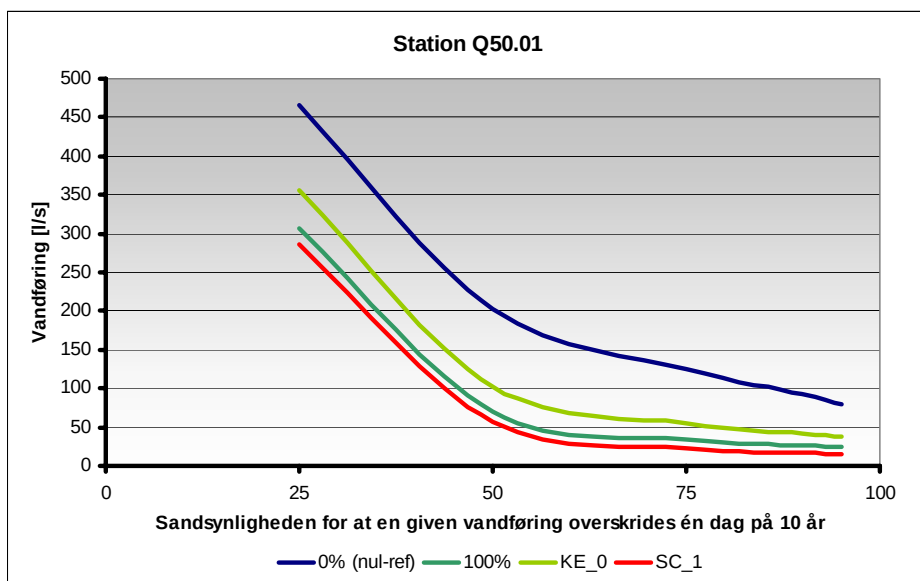
		Afsænkning i procent						
opl_2		abs_150	abs_120	abs_100	abs_80	abs_50	abs_0	
Afs_kalk	> 5 m	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	KE_0
	2 - 5 m	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	SC_1
	0.5 - 2 m	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
	0 - 0.5 m	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
	< 0 m	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	

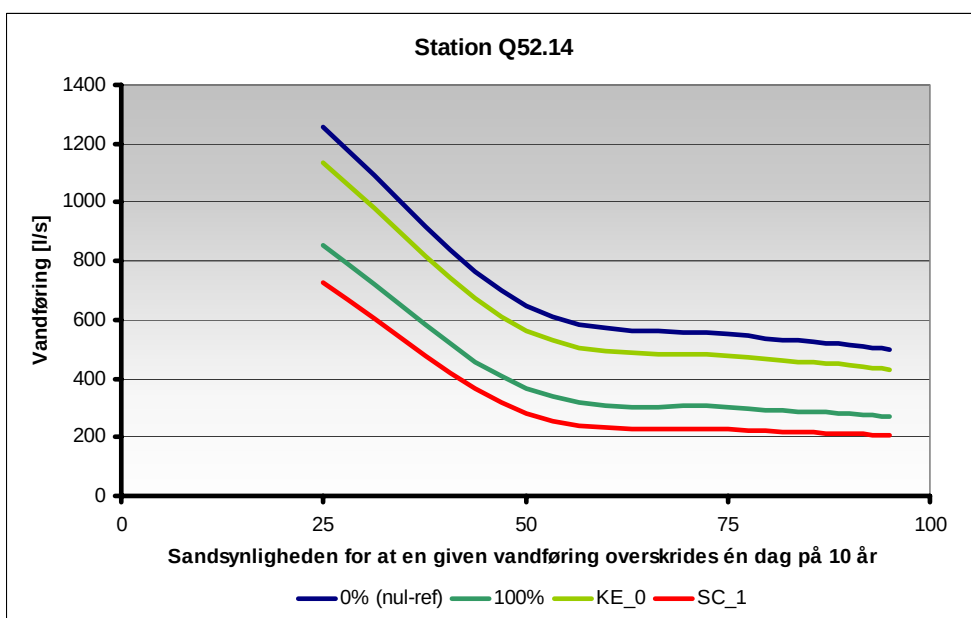
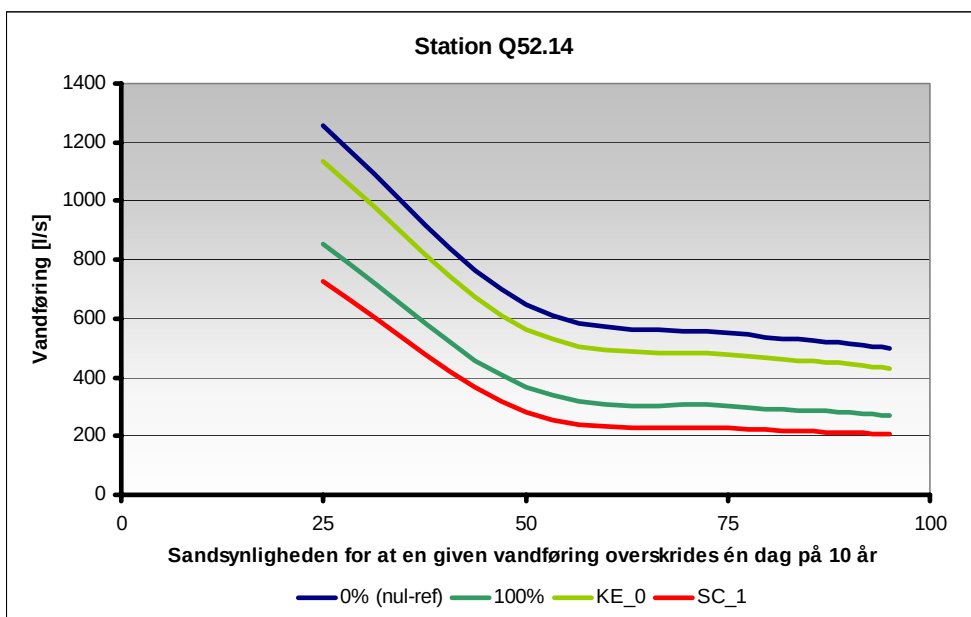
10.4.4 Varighedskurver for vandføringsstationer

Varighedskurverne for de forskellige scenarier og forskellige vandføringsstationer indenfor delområdet er vist i det følgende. Alle stationerne udviser relativt kraftigt påvirkning som følge af ændringer i indvinding.

Tabel 30 indeholder en liste med værdierne, som danner baggrund for nedenstående figurer over varighedskurver. Det skal bemærkes igen, at DK-modellen formodentligt har svært ved at simulere de eksakte vandføringsværdier, mens der er bedre muligheder for at simulere de relative forandringer i vandføringer.







Tabel 30 Varighedskurve data for vandføringsstationer

Scenario	Q-station	Hydrograf statistik								
		<i>Maks</i>	<i>Perc_05</i>	<i>Perc_10</i>	<i>Perc_25</i>	<i>Perc_50</i>	<i>Perc_75</i>	<i>Perc_90</i>	<i>Pec_95</i>	<i>Min</i>
0% (nul-ref)	ms_08	668	276	223	161	105	93	86	84	80
100%	ms_08	397	137	105	63	32	25	22	21	17
KE_0	ms_08	609	245	199	139	86	75	69	66	62
SC_1	ms_08	237	91	64	35	13	9	7	7	6
0% (nul-ref)	ms_09	8871	3378	2701	1720	788	644	594	578	551
100%	ms_09	7324	2613	2011	1173	422	319	290	278	253
KE_0	ms_09	8425	3162	2502	1551	682	552	506	492	466
SC_1	ms_09	6635	2339	1774	993	309	236	217	210	200
0% (nul-ref)	ms_42	4270	1784	1443	996	573	504	474	463	445
100%	ms_42	3253	1261	992	630	319	271	255	247	229
KE_0	ms_42	3960	1628	1314	886	495	436	408	397	381
SC_1	ms_42	2771	1094	846	523	244	207	193	189	183
0% (nul-ref)	q50.01	2627	1101	814	467	202	124	93	79	61
100%	q50.01	2243	873	611	308	70	34	27	25	18
KE_0	q50.01	2364	946	675	356	102	54	42	37	32
SC_1	q50.01	2183	842	582	286	58	23	16	14	10
0% (nul-ref)	q500046	656	243	186	107	50	43	39	38	35
100%	q500046	590	191	139	72	23	16	14	13	10
KE_0	q500046	601	202	151	83	34	27	24	22	20
SC_1	q500046	579	184	132	65	16	9	8	7	5
0% (nul-ref)	q52.13	1455	457	347	196	69	51	43	39	35
100%	q52.13	1190	381	287	154	46	33	28	26	23
KE_0	q52.13	1323	422	320	176	59	43	36	34	31
SC_1	q52.13	1113	356	264	137	35	24	19	18	17
0% (nul-ref)	q52.14	6027	2361	1905	1257	646	552	514	500	478
100%	q52.14	4818	1778	1392	852	366	301	280	269	248
KE_0	q52.14	5676	2199	1755	1136	560	480	444	431	410
SC_1	q52.14	4272	1595	1227	726	281	228	211	206	198
0% (nul-ref)	q52.41	1841	787	627	404	184	154	144	140	136
100%	q52.41	1526	592	454	272	110	91	87	86	83
KE_0	q52.41	1726	711	565	352	147	121	113	109	105
SC_1	q52.41	1487	585	446	266	105	86	82	81	79

11. ISLEVBRO – DELOMRÅDE 3

11.1 Område præsentation

11.1.1 Indvindinger

Området det afgrænset så det dækker de fleste af indvindinger til Islevbro, Marbjerg og Thorsbro vandværker, svarende til kildepladserne: kilde I-XIV, Katrinebjerg, Hove, Nybølle øst og vest, St Vejleå, Tåstrup-Valby, Vallensbæk, Brokilde og Marbjerg. *Desuden* er der medtaget 27 kildepladser alle med en årlig indvinding på over 25.000 m³/år. Reference oppumpningen (abs_100%) svare til en middel indvinding for perioden 1990-1999, hvor KE's kildepladser udgør ca. 13 mill. m³/år, svarende til ca 80 % af den årlige indvinding indenfor området.

Tabel 31 Opgørelse over indvindinger medtaget i modellen indenfor delområde 3; Bemærk at alle indvindinger er angivet i 1000 m³/år

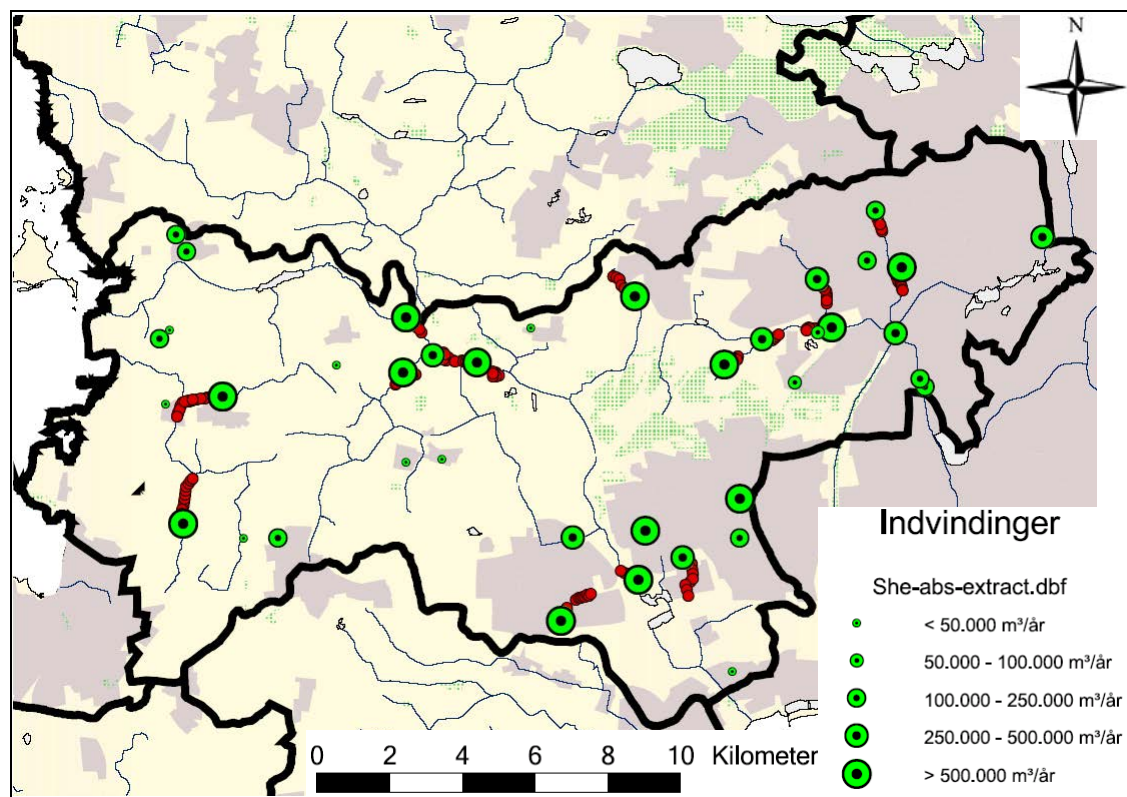
Kildeplads / vandværk	abs_100%	KE_0	SC_1
Marbjerg /Brokilde	2034	0	2034
Islevbro /Hove	656	0	656
Islevbro /Katrinebjerg	1162	0	1162
Islevbro /Kilde III	627	0	627
Islevbro /Kilde VI	266	0	266
Islevbro /Kilde VII	558	0	558
Islevbro /Kilde VIII	290	0	290
Islevbro /Kilde X	324	0	324
Islevbro /Kilde XI	982	0	982
Islevbro /Kilde XIII	1558	0	1558
Islevbro /Kilde XIV	178	0	178
Marbjerg /Marbjerg	655	0	655
Islevbro /NYBØLLE VEST	310	0	310
Islevbro /NYBØLLE ØST	789	0	789
Thorsbro /St_ Vejleå	1315	0	1315
Thorsbro /Tåstrup-Valby	667	0	667
Thorsbro /Vallensbæk	257	0	257
Vridsløselille vv	615	615.2965	615
Glostrup Hjælpevv	519	519.2925	519
Klovtofte vv	271	271.2275	271
Herlev vv	218	218	218
Gulddyssevej 12, Gundsømagle	174	174	174
Vandværk ??	157	157	157
Fløng I/S vv	155	155	155
Vesterled vv	150	150	150
Rødovre vv	149	148.74	149
Gundsømagle Vandværk I/S	148	148.4	148

Kildeplads / vandværk	abs_100%	KE_0	SC_1
Højgårdsvej 5, Ågerup	104	104.2405	104
Sum af mindre VV (under 100.000 m ³ /år) (16 stk)	542	542	542

KE_0 svarer til den indvinding som er anvendt i KE_0 scenariet, dvs. det alternative nul-scenario hvor alle KE relaterede indvindinger er lukkede. SC_1 svarer til indvindingerne, der er anvendt under scenario 1, dvs. hvor indvindinger som ikke er relateret til KE er fastholdt på reference oppumpningen (abs_100%), men hvor KE's indvindinger i delområde 1 og 2 er forøget og KE's indvindinger i område 5 og 6 er formindsket. Indenfor dette område er der således ikke indvindingsmæssig forskel på scenarium SC_1 og abs_100%.

Som en del af opgaven er indvindingerne fra KE's kildepladser blevet linie-fordelt efter placeringen af de enkelte borer på kildepladserne. Liniefordeling anvendes i modelsammenhæng når der ikke er de store forskelle på specifik indvinding fra de enkelte borer (eller usikre informationer), der indgår i linien, og så længe borerne er placeret langs en approksimativ line. Ved liniefordeling tilskrives alle model-celler langs linien en lige andel af kildepladsens totale indvinding, bestemt ud fra hvor mange celler der ligger langs linien.

De enkelte kildepladsers reference oppumpning er angivet med en grøn cirkel på nedenstående figur, hvor også placeringen af KE's borer på de enkelte kildepladser er angivet med røde prikker. Reference oppumpningen er for KE's kildepladser er fordelt langs linien som de røde prikker (KE-boringer) danner, selvom det af figuren kan se ud som om at indvindingen er koncentreret for enden af de respektive kildepladser.

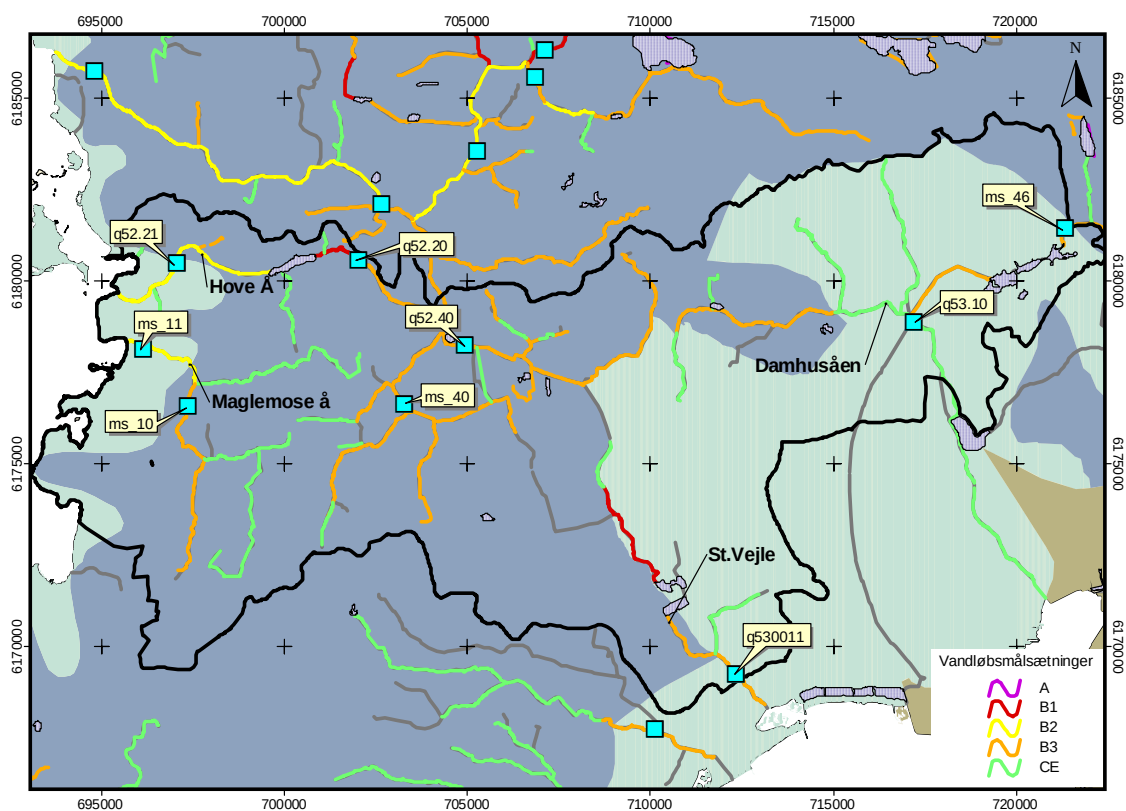


Figur 25 Afgrænsning af delolandet samt placering og størrelse af indvindinger

11.1.2 Vandløbssystem

Deloplandet er i store træk afgrænset af de topografiske oplande til hovedvandløbene Hove å, Maglemose å og Store Vejle å, samt et delopland til Damhusåen. De topografiske oplande til disse vandløb er større end det approksimative indvindingsopland til KE's indvindinger indenfor området, men svarer samtidigt til det mindste fællesareal som vandløbsoplandene og indvindingsoplandene danner. Bestemmelse af det approksimative indvindingsopland er dels baseret på partikelbane beregninger med DK-model Sjælland og dels baseret på tidligere opgørelser (KE kort materiale). Der er valgt at tage hensyn til vandløbsoplandene af to årsager, dels for at anvende samme principper, som blev brugt under ressource opgørelsen i Ferskvandets kredsløb (Henriksen og Sonnenborg, 2003) og dels fordi der i opgaven fokuseres på indvindingens påvirkning af vandføringer i vandløbene.

Deloplandet er meget blandet målsat med B3 eller lavere målsætninger for langt de fleste delstrækninger. Kun mindre dele af vandløbssystemet, nedre del af Hove og Maglemose å og øvre dele af Store Vejle å, er B1 og B2 målsat (røde og gule delstrækninger på figuren). Der er ikke A målsatte vandløbsdelstrækninger indenfor oplandet. I alt er ca. 65% af oplandet dækket af delstrækninger som er målsat med B3 eller lavere målsætninger. Af figuren fremgår det at ca. halvdelen af oplandet, administrativt er udpeget som "område med særlig drikkevandsinteresser" (mørkeblå), medens området helt tæt ved fjorden og området med stærk bebyggelse (København) administrativt er udpeget som "området med drikkevandsinteresser" (lyseblå).



Figur 26 Vandløb, vandløbs målsætninger og vandføringsstationer indenfor oplandet

Tabel 32 giver et overblik over hvilke stationer, som er medtaget i ressource beregningerne, samt arealet af de tilknyttede topografiske oplande. For Store Vejle å er der kun medta-

get en enkelt vandføringsstation, ellers er der mindst medtaget 2 stationer for hvert af hovedvandløbene. Vandløbet, er gennem placeringen af vandføringsstationerne, opdelt i under-oplande. Herved bliver muligt at opgøre bidrag og delbidrag fra såvel øvre som nedre dele af vandløbs netværket. Indenfor dette opland er det, som i de øvrige oplande, forsøgt at finde balancen mellem en god opløsning af oplandets vandløbs netværk og en minimering af antallet af målestationer. Samtidigt er det tilstræbt at undgå under-oplande på mindre end 25 km², der forventes at udgøre den nedre grænse for modellens evne til at opløse vandbalancens del elementer, herunder vandløbsbidraget.

Stationer med Q betegnelse foran nummeret indgår i det nuværende måleprogram, dvs. at der eksisterer Q eller H data for hele eller dele af perioden 1989-2004. Stationerne med "ms_" betegnelse er enten stationer der indgår i fauna data programmet, men hvor der ikke eksisterer Q eller H data, eller stationer der kun optræder virtuelt, dvs. i den hydrologiske model.

Netværk (størrelse)	Station
Damhusåen (45 km ²)	Q53.10
Damhusåen (62 km ²)	ms_46
Hove å (32 km ²)	Q52.40
Hove å (57 km ²)	Q52.20
Hove å (70 km ²)	Q52.21
Maglemose å (27 km ²)	ms_10
Maglemose å (39 km ²)	ms_11
St. Vejle (52 km ²)	Q530011

Tabel 32 Oplandsstørrelser og vandføringsstationer

11.1.3 Overordnet vandbalance

Vandbalancen for deloplandet er beregnet med en middelnedbør for perioden 1991-2000 med en stationær model (sjke-stat) og som en gennemsnits vandbalance for perioden 1991-2001 med en dynamisk model (sjke-dyn). I tabellen betyder "GVD" den positive grundvandsdannelse til de enkelte beregningslag. Alle tal er opgjort i mm/år.

Tabel 33 Overordnet vandbalance for deloplandet

WBL	B.Lag	Netnedbør	Rand-ind	Rand-ud	Magasin	GVD	Oppump	Dræn	Baseflow
sike-dyn 1991 - 2001	1	-178.3	2.0	1.6	0.1	0.0	0.0	94.4	7.8
	2	0.2	0.0	0.0	-0.5	81.4	0.0	0.0	0.0
	3	0.1	2.2	3.2	-3.2	81.8	0.0	0.0	1.0
	4	0.0	0.0	0.0	-0.1	81.3	0.0	0.0	0.0
	5	0.0	1.2	2.8	0.0	81.4	0.0	0.0	0.0
	6	0.0	0.0	0.0	-0.1	79.1	0.0	0.0	0.0
	7	0.0	0.5	0.7	0.0	79.2	0.7	0.0	0.0
	8	0.0	0.0	0.0	0.0	78.6	0.0	0.0	0.0
	9	0.0	21.1	34.0	-1.6	78.6	64.1	0.0	0.0
sike-stat 1991 - 2001	1	-182.6	2.2	1.8	0.0	0.0	0.0	93.5	6.1
	2	0.0	0.0	0.0	0.0	88.0	0.0	0.0	0.0
	3	0.0	2.2	3.1	0.0	88.0	0.0	0.0	1.1
	4	0.0	0.0	0.0	0.0	84.5	0.0	0.0	0.0
	5	0.0	1.2	2.8	0.0	84.5	0.0	0.0	0.0
	6	0.0	0.0	0.0	0.0	82.3	0.0	0.0	0.0
	7	0.0	0.5	0.7	0.0	82.3	0.8	0.0	0.0
	8	0.0	0.0	0.0	0.0	81.6	0.0	0.0	0.0
	9	0.0	19.9	33.7	0.0	81.6	65.0	0.0	0.0

Det fremgår af vandbalancen, at der indvindes ca 1/3 af nettonedbøren indenfor området. Grundvandsdannelsen til de enkelte beregningslag (GVD) er tæt på at være konstant fra beregningslag 2 og ned, hvilket indikerer at der enten er ekstrem styring af grundvandsdannelsen som følge af indvinding eller at beregningslag 2-8 er forholdsvis flade og af ringe tykkelse. I dette tilfælde synes det formodentligt at være en kombination af begge, idet beregningslag 9 (prekvartæret) er det primære magasin inden for området og samtidigt det eneste magasin af væsentlig udbredelse. Der indvindes godt 75-80% af grundvandsdannelsen til dette magasin, og grundvandsdannelsen til beregningslag 9 øges fra ca. 34 mm/år til ca. 82 mm/år ved reference indvindingen i forhold til en situation uden indvinding.

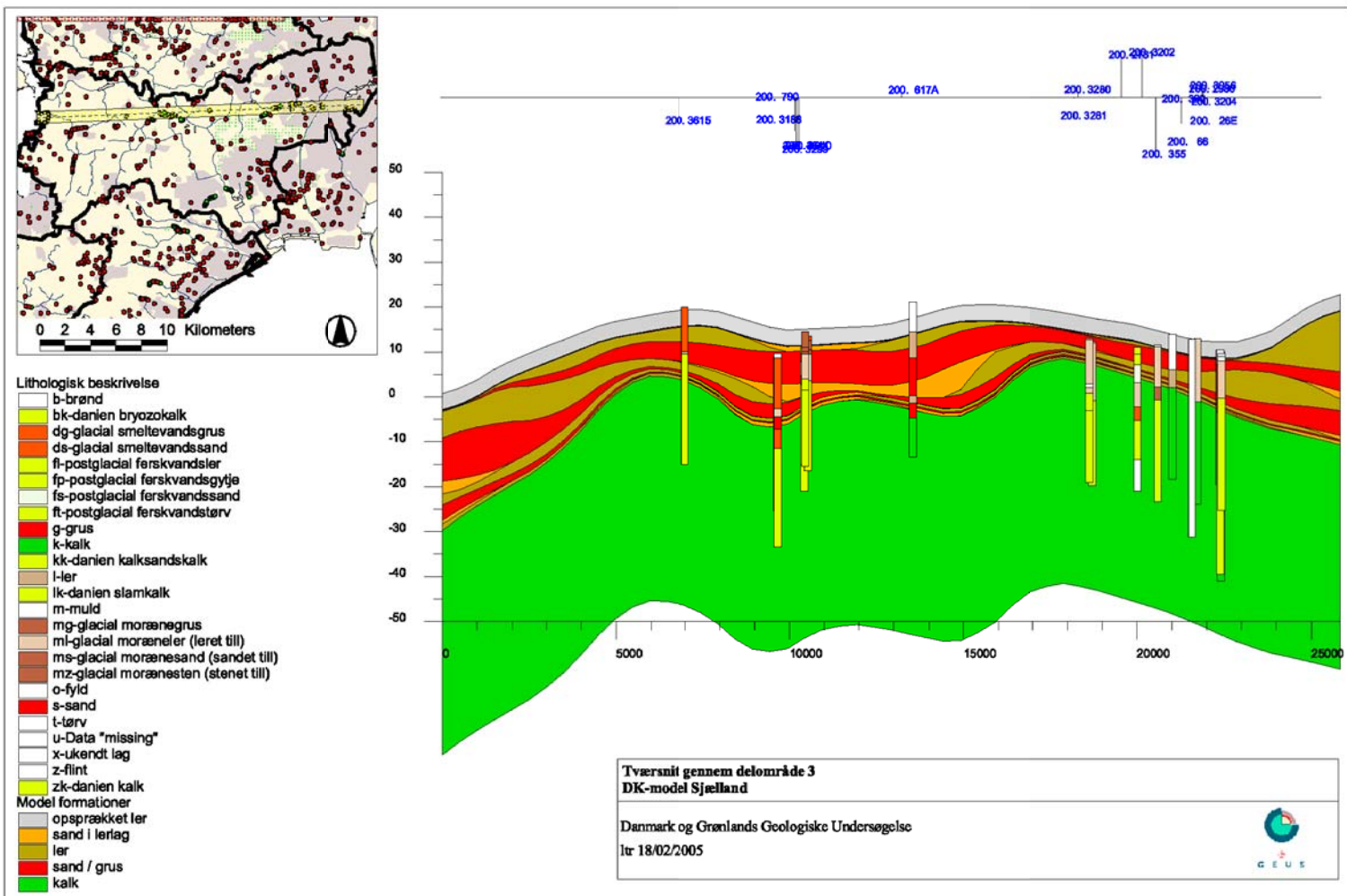
Det fremgår ligeledes af vandbalancen at delområdet hydrologiske afgrænsning ikke samstemmende med det hydrologiske opland til vandløbene, hvilket kan ses af 10-20% af vandbalancen strømmer enten ind eller ud på tværs i dybden. Hoveddelen af ind og udstrømningen sker fra det primære magasin (beregningsslag 9). Figur 27 viser de overordnede balance taget fra den stationære kørsel med reference oppumpningen.



Det prækvartære er det primære magasin indenfor deloplandet. Langt den overvejende del af indvindingerne er filtersat i det prækvartære magasin. En lille restgruppe af indvindinger er filtersat i sandmagasiner og i de tilfælde drejer det sig primært om det øvre sandmagasin, som i modellen svarer til beregningslag 7. På Figur 28 ses et Vest-Øst tværsnit gennem området med den i modellen anvendte geologiske tolkning.

94

Figur 28 Geologisk tværsnit gennem deloplandet, vestlige del ligger ud til Roskilde fjord



11.2 Model performance

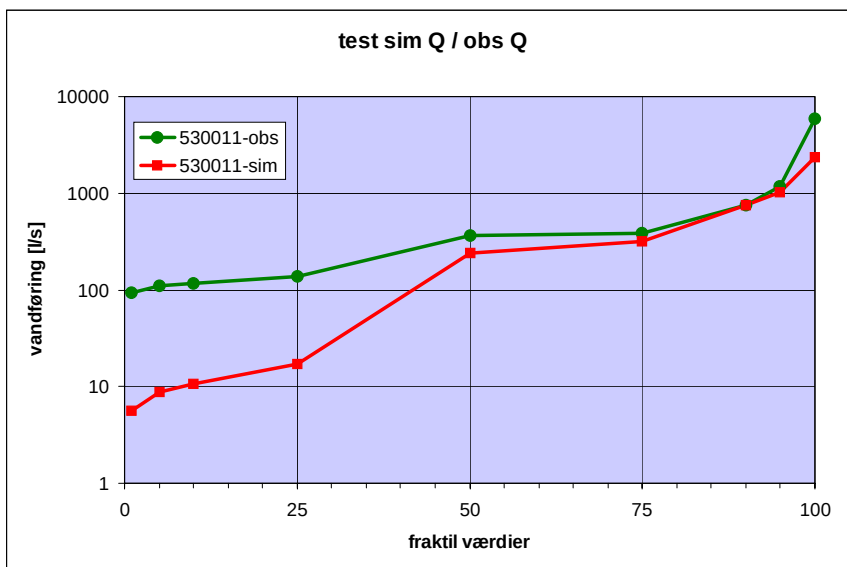
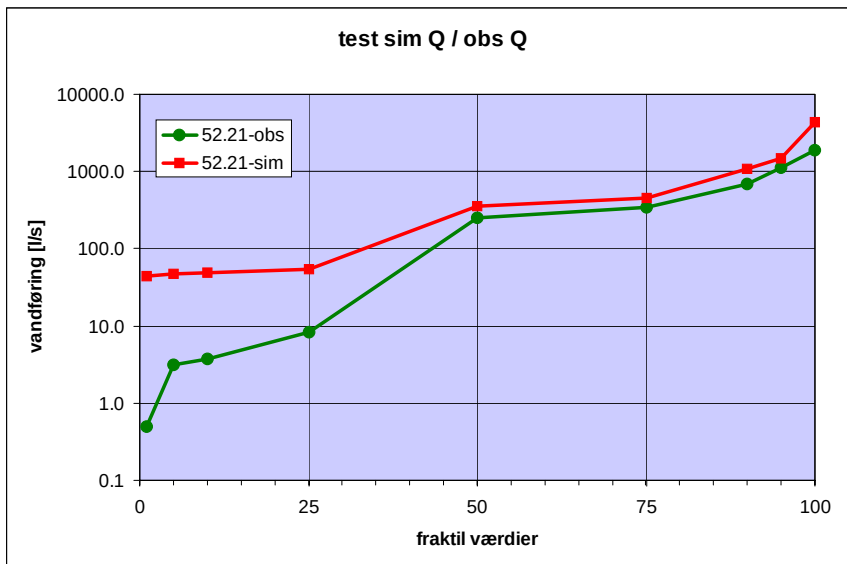
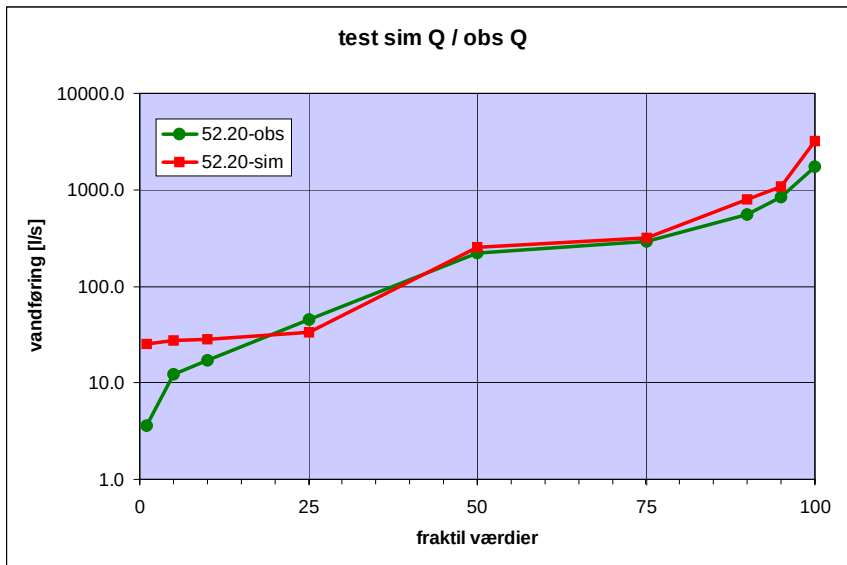
Der er ikke gennemført nogen egentlig kalibrering i forhold til deloplande, men modellen er generelt kalibreret for hele Sjælland herunder også deloplandene. Der er ikke noget i modellens evne til at simulere grundvandsstande og vandløbsafstrømninger der giver anledning til at udpege enkelte underområder som særligt problematiske. Indenfor dette delopland er ingen af vandføringsstationerne blevet brugt direkte i kalibreringen. Vandføringsstationerne er enten vurderet som havende et for lille tilknyttet opland eller med forstyrrende reguleringer – begge dele er problematisk at simulere direkte. I ressource opgørelsen og scenarierne er det således blevet valgt at fokusere på relative forandringer som følge af ændrede betingelser.

For at vurdere modellens evne til at simulere varighedskurver for de enkelte vandføringsstationer, er der foretaget visuelle sammenligninger af varighedskurver for alle vandføringsstationer hvor vandføringsdata var tilgængelige. Varighedskurverne dækker valideringsperioden (1988-1996) i det omfang at der var data for hele perioden.

Tabel 34 Modellens evne til at simulere vandføringer

Mål	Stationer		
	Q52.20	Q52.21	Q530011
<i>R²</i>	0.58	0.19	0.43
<i>Obs-95% fraktil</i>	12	3	111
<i>Sim-95% fraktil</i>	27	47	9
<i>Obs-90% fraktil</i>	17	4	118
<i>Sim-90% fraktil</i>	29	48	11
<i>Obs-75% fraktil</i>	46	8	139
<i>Sim-75% fraktil</i>	33	54	17
<i>Obs-25% fraktil</i>	289	347	382
<i>Sim-25% fraktil</i>	313	448	316
<i>Obs-10% fraktil</i>	548	676	760
<i>Sim-10% fraktil</i>	800	1091	748
<i>Obs-5% fraktil</i>	841	1109	1160
<i>Sim-5% fraktil</i>	1091	1467	1008

Fælles for alle stationerne er at modellen tilsyneladende har sværest ved at ramme de lave vandføringer, hvilket formentligt skyldes reguleringer, som ikke er medtaget i modelberegningerne.



11.3 Indikator mål og ressource opgørelse

I ressource opgørelsen er der beregnet grundvandsdannelse til øvre det primære magasin (beregningsslag 3) ved forskellige indvindings scenarier. Som i Ferskvandets kredsløb er grundvandsdannelsen beregnet ved indvindinger svarende til 0, 50, 80, 100, 120 og 150 % af reference indvindingen. Herudover er regnet på to scenarier, et hvor KE's kildepladser er slukkede (KE_0) og et hvor KE's kildepladser i område 1 og 2 har overtaget halvdelen af reference indvindingen fra delområder 5 og 6 (SC_1). Ud over ændringer i indvindingen og indvindingsstrukturen er det blevet regnet varige klimatiske variationer, svarende til det anden tørreste år indenfor 10 års perioden 1991-2000, samt det tredje vådeste år indenfor samme periode.

Tabel 35 Ressource opgørelse for deloplandet (indikator 1 – 3)

Opgørelse af Indikator 1 - 3 opland 3					
<i>Areal</i>		246 km ²			
<i>Reference oppumpning (100%)</i>		66 mm/år			
<i>Periode</i>			<i>Middel</i>	<i>Tør</i>	<i>Våd</i>
<i>Nettonedbør</i>			183 mm/år	105 mm/år	240 mm/år
Bæredygtigt indvinding (procent af oppumpning)					
<i>Indikator 1(abs/gvd_uop<35%)</i>			25%	23%	25%
<i>Indikator 2(abs/gvd<30%)</i>			20%	20%	20%
<i>Indikator 3 (middel.afst.)</i>			20%	10%	30%
<i>Indikator 3 relativt til Nu</i>			110%	120%	120%
Scenario	Oppumpning [mm/år]	Grundvandsdannelse til beregningsslag 3 [mm/år]			
KE_0	14	57	53	58	
SC_1	66	91	81	91	
0%	0	46	44	48	
50%	33	64	61	65	
80%	53	78	73	79	
100%	66	88	80	89	
120%	79	98	84	100	
150%	99	111	85	116	
Middelfaststrømning til vandløb [mm/år]					
KE_0	14	150	68	210	
SC_1	66	97	26	157	
0%	0	171	89	231	
50%	33	135	54	195	
80%	53	114	36	173	
100%	66	101	28	160	
120%	79	88	22	146	
150%	99	74	21	128	

Grundvandsdannelsen og ændringer i grundvandsdannelsen bruges i beregning af indikator 1 og 2. Både indikator 1 og 2 peger i retningen af at der indvindes fire til fem gange for meget inden for området, med begrænset følsomhed overfor tørre og våde klimatiske situationer. Ændringer i middelfaststrømningen bruges i beregning af indikator 3, der viser ved hvilken procentvis udnyttelse af reference indvindingen, at der sker en netop 10% ændring af middelfaststrømningen i forhold til den upåvirkede situation (dvs. uden indvinding). Indikator 3 antyder at der indvindes 4-5 gange for meget med kraftig følsomhed overfor klimatiske variationer. Indikator 4 (highlighted) antyder mindre følsomhed overfor indvindinger end indikator 3, men bekræfter at der indvindes for meget inden for området. I beregning af indikator 3' er det antaget, at den nuværende vandføring er acceptabel, hvorfor denne bruges som udgangspunkt for beregninger. Indikator 3' giver antyder at indvindingen kan øges med op til 10% uden at den nuværende vandføring påvirkes u hensigtsmæssigt.

Tabel 36 Ressource opgørelse for deloplandet (indikator 4)

opl_3		A	B1	B2	B3	CE	X
Areal	246 km ²	0 km ²	15 km ²	15 km ²	94 km ²	116 km ²	6 km ²
Afstrømning [%]	0.36 m ³ /s	0%	19%	16%	29%	36%	0%
Afstrømnings ændringer [% i forhold til situation uden oppumpning]							
SC_1 / KE_0	57%		91%	41%	50%	54%	0%
SC_1 / NON	69%		94%	50%	63%	68%	0%
SC_1 / REF	9%		43%	3%	9%	6%	0%
abs_non	0%		0%	0%	0%	0%	0%
abs_50%	43%		49%	24%	42%	49%	0%
abs_100%	66%		89%	48%	59%	66%	0%
abs_150%	78%		97%	80%	72%	71%	0%

Tabel 36 viser at B1 målsatte vandløbsstrækninger har et opland der dækker ca. 20% af hele oplandet. B1 målsatte vandløbsstrækninger er samtidigt dem som er mest følsomme overfor ændringer i indvinding, men da det samlede opland til disse strækninger er mindre end 25 km² anses oplandet for at være for lille til at det kan danne grundlag for en indikator opgørelse. I stedet bruges markøren for B3 målsatte vandløbsstrækninger i opgørelsen (markeret).

11.4 Baggrundstal

11.4.1 Grundvandsdannelse og middel afstrømning

Tabel 37 viser beregnede grundvandsdannelser og middel vandføringer ved forskellige indvindings scenarier og forskellige nedbørs situationer. Nedbørs "året" henviser ikke til et bestemt års situation, men udelukkende at beregningerne er foretaget med en nettonedbør, der svarer til de enkelte år. Det er i beregningerne antaget at der er opnået steady-state, dvs. at grundvandsstanden og nettonedbøren er uforandret i længere tid.

Tabellen indikerer, at klimatiske variationer vil have noget indflydelse på grundvandsdannelse i forhold til ændringer i indvindinger. Til gengæld udviser middelaflstrømningerne betydelig følsomhed overfor klimatiske variationer. De tilsyneladende variationer i grundvandsdannelse og middelaflstrømning er ikke et udtryk for år til år variationer, men skal ses som en situation der vil kunne opstå ved stationære tilstande med de tilhørende nedbørsmængder.

En total lukning af KE's kildepladser (scenario KE_0) resulterer i en grundvandsdannelse og middelaflstrømning, der svarer til grundvandsdannelsen og middelaflstrømningen ved en total neddrøsling til 20-30%. Der er således ikke noget der tyder på at grundvandsdannelse eller vandføring er mere følsom overfor ændringer på KE's kildepladser end på de resterende kildepladser i området, idet KE's kildepladser indvinder godt 80% af den totale indvundne mængde indenfor området (Tabel 31). Scenario 1 giver som ventet kun anledning til marginale påvirkninger indenfor området (lidt mindre middelaflstrømning og lidt højere grundvandsdannelse).

Tabel 37 Grundvandsdannelse og afstrømning til vandløb

Basis parametre for området		Areal 246 km ²		Oppump 66 mm/år		Opgørelse for opland 3					
Nedbør [årstal]	1991-2000	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Nedbør [mm]	183	176	160	240	290	148	65	105	255	196	185
Grundvandsdannelse til øvre regionale magasin [mm/år]											
KE_0	57	57	56	58	58	56	53	53	58	57	57
SC_1	91	94	90	91	91	90	59	81	91	92	91
0%	46	46	46	48	49	45	39	44	48	47	46
50%	64	64	63	65	66	63	66	61	66	64	64
80%	78	78	77	79	78	79	54	73	79	78	78
100%	88	88	87	89	89	88	58	80	89	88	88
120%	98	104	96	100	100	97	60	84	100	100	99
150%	111	124	105	116	117	103	60	85	117	114	114
Middel afstrømning til vandløb [mm/år]											
KE_0	150	142	126	210	262	113	26	68	225	163	152
SC_1	97	90	75	157	208	63	6	26	171	111	99
0%	171	164	148	231	283	135	47	89	246	185	173
50%	135	128	112	195	247	99	18	54	210	149	137
80%	114	107	91	173	225	79	9	36	188	128	116
100%	101	94	78	160	210	66	7	28	174	114	103
120%	88	81	67	146	197	56	6	22	160	101	90
150%	74	68	56	128	177	46	5	21	141	86	76

11.4.2 Sommervandføring

Tabel 38 viser fordelingen af sommervandføringen på delområder opgjort efter vandløbsmålsætninger. Forskellen i afstrømning mellem scenariet hvor der ikke indvindes (0%) og scenariet hvor der indvindes 100% er på godt 30 mm, hvilket svarer til halvdelen af "100% indvindingen" (abs_100% = 66 mm).

Tabel 38 Minimums vandføring fordelt efter vandløbs målsætninger

Sommerafstrømning [mm/år] opland 3							
Areal	Total	A	B1	B2	B3	CE	X
	246 km ²	0 km ²	15 km ²	15 km ²	94 km ²	116 km ²	6 km ²
Afstrømning [%]	0.36 m ³ /s	0%	19%	16%	29%	36%	0%
KE_0	34	0	98	101	26	24	0
SC_1	14	0	9	60	13	11	0
0% (nul-ref)	46	0	143	118	35	35	0
50%	26	0	74	90	20	18	0
100%	16	0	16	62	14	12	0
150%	10	0	5	23	10	10	0

11.4.3 Afsænkning i forhold til kalkoverfladen

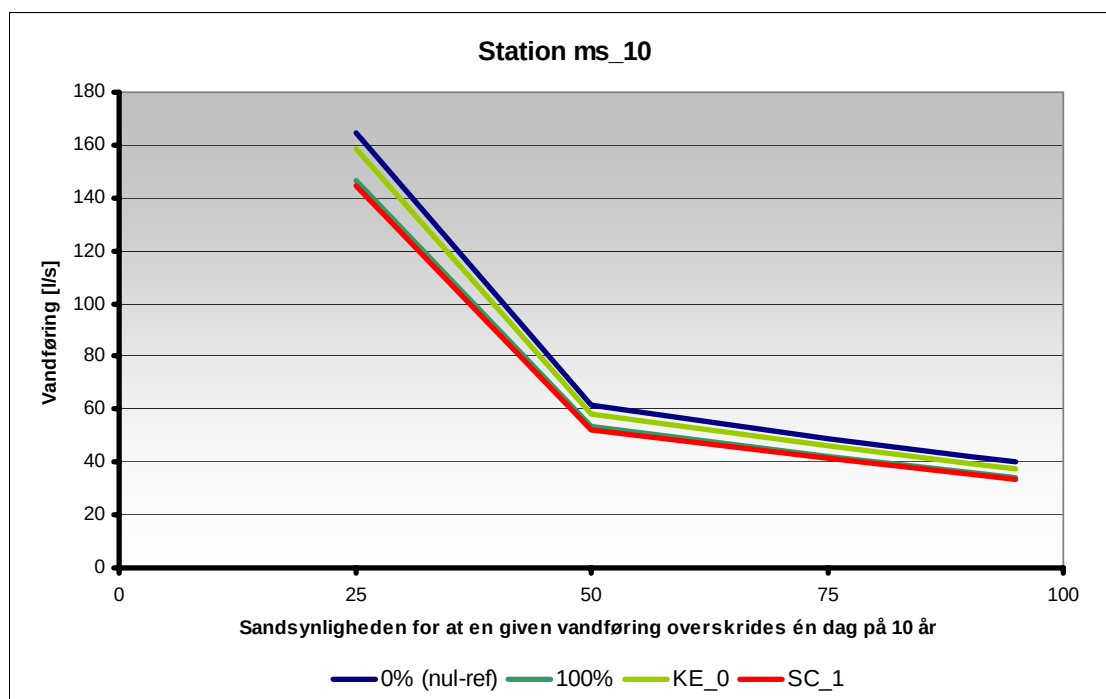
Tabel 39 viser de beregnede grundvandssænkninger i forhold til kalkoverfladen indenfor delområdet. Areal opgørelserne, der er opsummeret i tabellen, antyder at selv begrænset indvinding i området (50% af reference indvindingen) vil give anledning til at 2-3 % af oplandets areal er påvirket af afsænkninger i forhold til kalkoverfladen. Der er på den skala modellen arbejder antydninger af at der vil være og/eller vil opstå nogle problemer af denne type. Det skal bemærkes at modellen ikke er konstrueret til at forudsige lokale afsænkninger, og at beregning af lokale afsænkninger er behæftet med betydelig usikkerheder. Desuden er der ikke taget højde for sæsonmæssige variationer nettonedbør eller lokale fluktuationer i indvinding mønsteret.

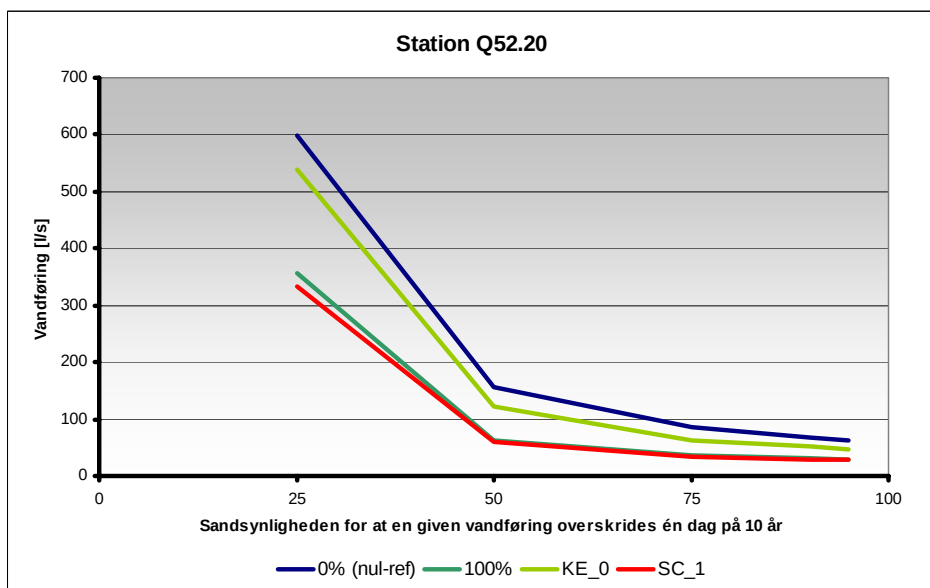
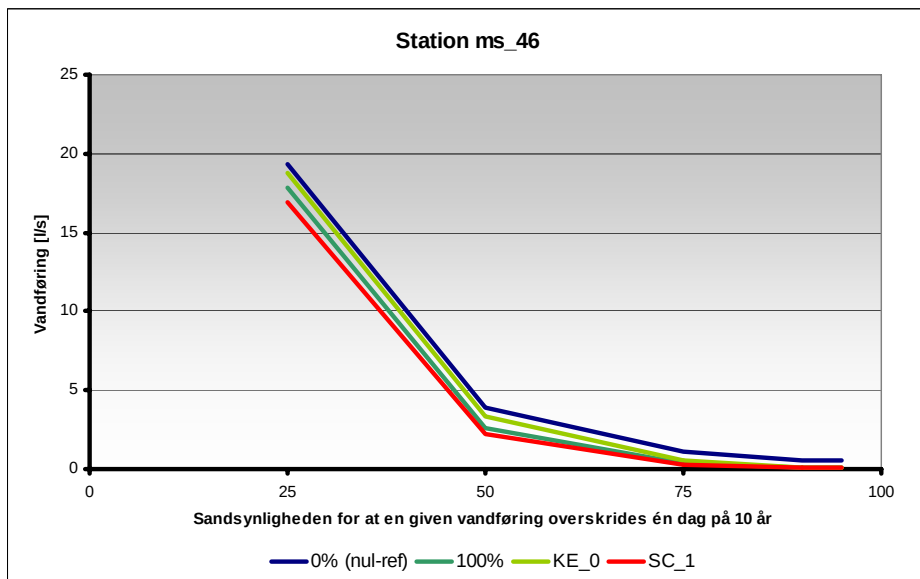
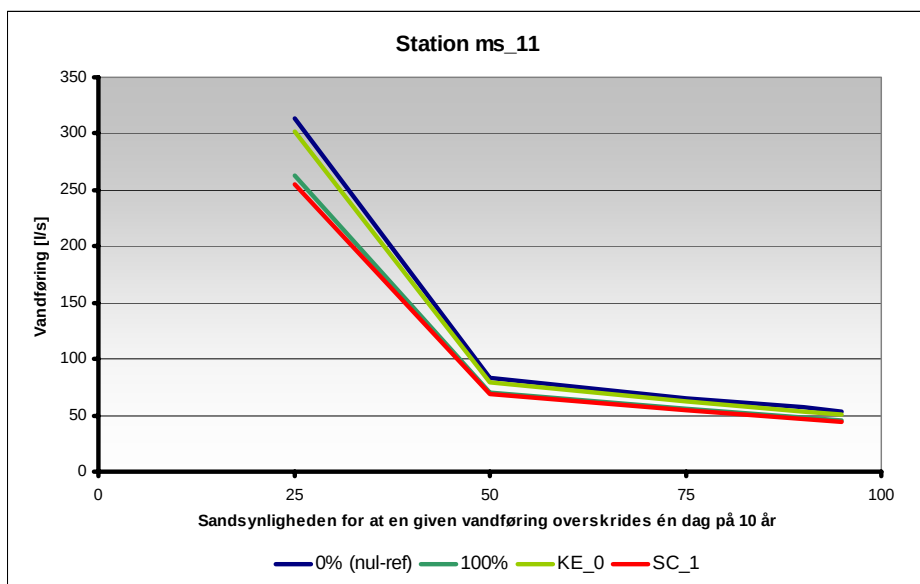
Tabel 39 Afsænkninger i forhold til kalkoverfladen

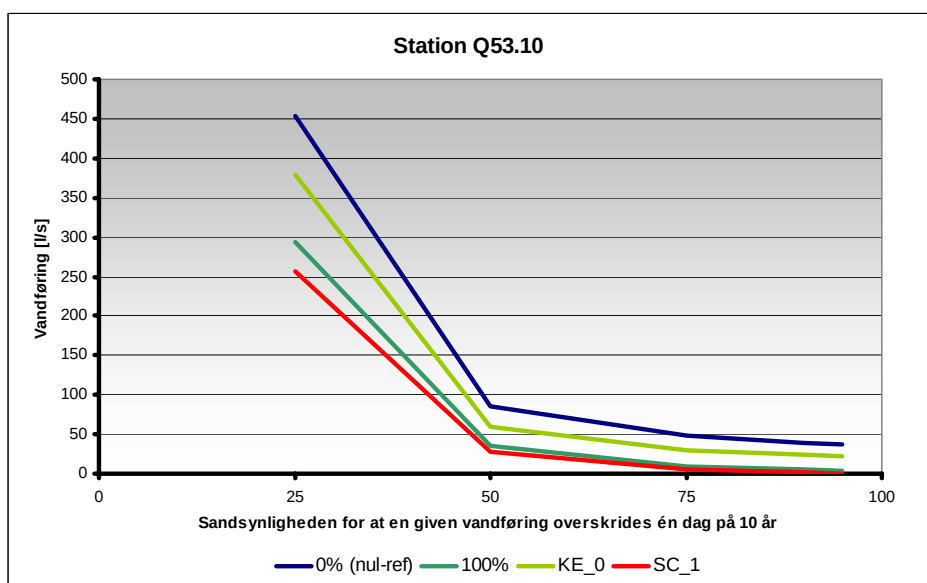
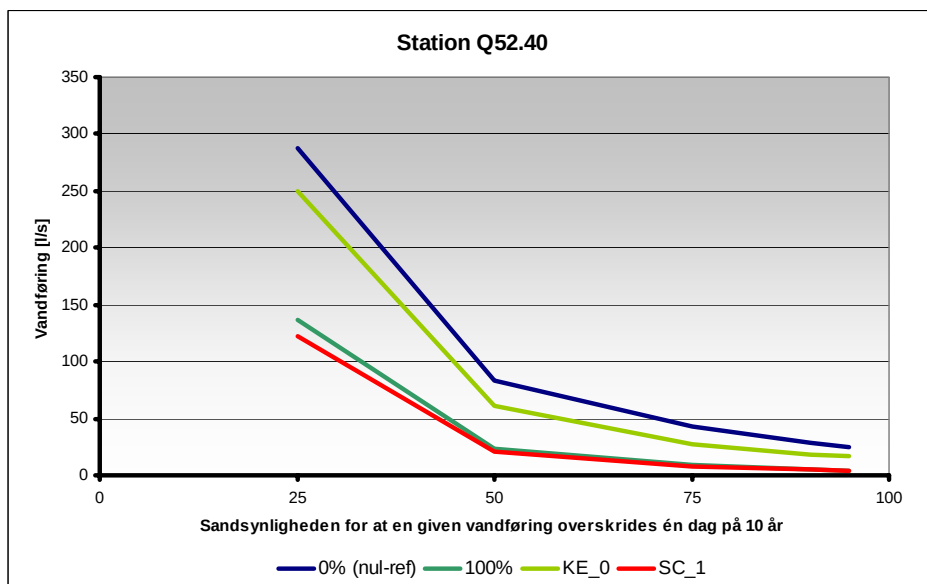
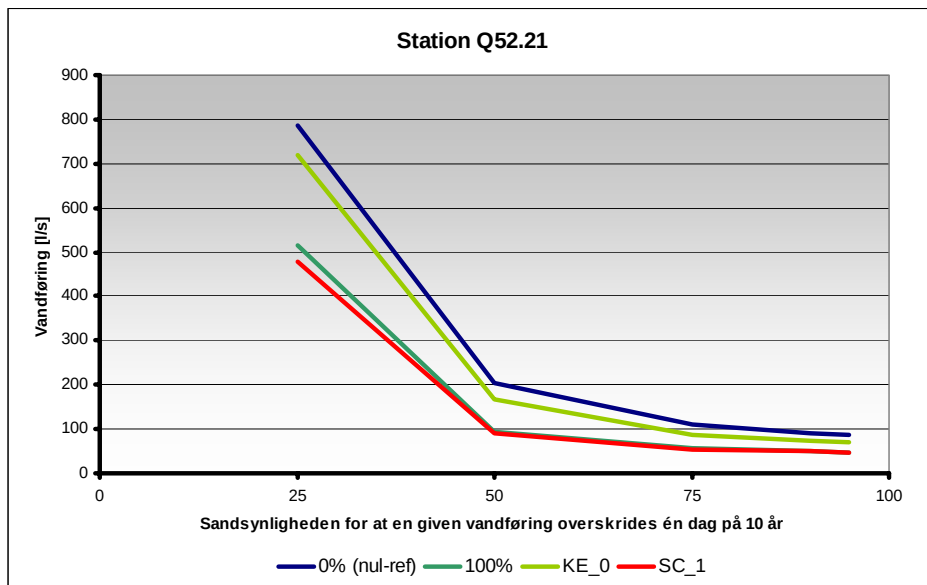
Afsækning i procent									
opl_3		abs_150	abs_120	abs_100	abs_80	abs_50	abs_0	KE_0	SC_1
Afs_kalk	> 5 m	19.9	6.5	2.8	0.8	0.0	0.0	0.0	3.3
	2 - 5 m	13.4	4.9	4.5	3.7	0.8	0.0	0.0	4.5
	0.5 - 2 m	7.3	4.9	3.7	0.8	0.4	0.0	0.4	3.3
	0 - 0.5 m	0.4	2.4	0.0	1.2	1.6	0.0	0.4	0.4
	< 0 m	58.9	81.3	89.0	93.5	97.2	100.0	99.2	88.6

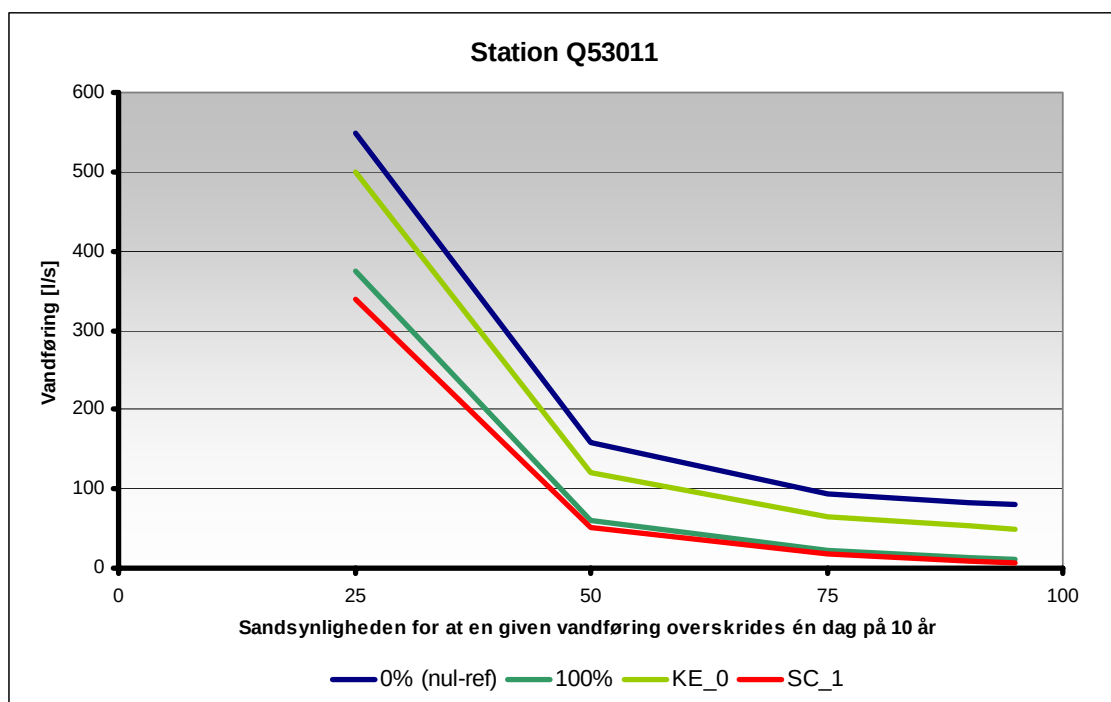
11.4.4 Varighedskurver for vandføringsstationer

Varighedskurverne for de forskellige scenarier og forskellige vandføringsstationer indenfor delområdet er vist i det følgende. Stationerne Q52.20, Q52.21, Q52.40, Q53.10 og Q53011 udviser alle relativt kraftigt påvirkning som følge af ændringer i indvinding. Der er ikke noget tydeligt mønster i hvorfor netop disse stationer er de mest påvirkede, om end Q52.20, Q52.21 og Q52.40 alle ligger i Hove å systemet, hvorfor netop denne å synes relativt påvirkelig overfor indvindinger. For de resterende vandføringsstationer er der kun beskedne påvirkninger, som er relativt størst i den høje ende af skalaen, dvs. ved store vandføringer.









Tabel 40 indeholder en liste med værdierne, som danner baggrund for nedenstående figurer over varighedskurver. Det skal bemærkes igen, at DK-modellen formodentligt har svært ved at simulere de eksakte vandføringsværdier, mens der er bedre muligheder for at simulere de relative forandringer i vandføringer.

Tabel 40 Varighedskurve data for vandføringsstationer

Scenario	Q-station	Hydrograf statistik								
		Maks	Perc_05	Perc_10	Perc_25	Perc_50	Perc_75	Perc_90	Perc_95	Min
0% (nul-ref)	ms_10	950	349	275	164	62	49	42	40	36
100%	ms_10	929	334	256	147	53	42	36	34	31
KE_0	ms_10	936	344	266	159	58	46	40	37	33
SC_1	ms_10	927	332	255	145	53	42	36	34	30
0% (nul-ref)	ms_11	2027	692	546	313	83	65	57	54	49
100%	ms_11	1974	640	495	263	70	56	49	46	41
KE_0	ms_11	2009	679	535	302	79	62	54	51	46
SC_1	ms_11	1962	631	486	255	69	55	47	44	41
0% (nul-ref)	ms_46	212	64	42	19	4	1	1	1	0
100%	ms_46	206	63	41	18	3	0	0	0	0
KE_0	ms_46	211	64	42	19	3	1	0	0	0
SC_1	ms_46	199	62	40	17	2	0	0	0	0
0% (nul-ref)	q52.20	4087	1374	1063	597	156	86	68	63	57
100%	q52.20	3456	1017	748	357	62	35	31	29	25
KE_0	q52.20	3961	1287	995	539	123	63	52	48	42
SC_1	q52.20	3185	957	703	333	59	34	30	28	24
0% (nul-ref)	q52.21	5324	1772	1383	787	202	111	92	86	79
100%	q52.21	4583	1374	1025	514	95	56	50	48	44
KE_0	q52.21	5185	1669	1300	720	166	87	73	69	63
SC_1	q52.21	4294	1299	970	478	89	55	49	47	44
0% (nul-ref)	q52.40	2035	681	516	288	84	43	29	25	21
100%	q52.40	1635	444	314	136	23	9	5	4	2
KE_0	q52.40	1960	619	471	250	61	27	19	16	12
SC_1	q52.40	1438	401	278	122	21	8	5	4	2
0% (nul-ref)	q53.10	2623	1132	856	454	85	48	40	38	36
100%	q53.10	2222	878	621	294	35	10	5	4	3
KE_0	q53.10	2463	1026	749	379	59	30	23	22	21
SC_1	q53.10	2174	809	563	256	28	6	1	1	0
0% (nul-ref)	q530011	2706	1153	918	548	159	94	83	80	75
100%	q530011	2444	942	729	376	61	21	14	12	7
KE_0	q530011	2628	1097	862	500	120	64	53	50	45
SC_1	q530011	2355	887	670	340	52	17	10	8	5

12. THORSBRO – DELOMRÅDE 4

12.1 Område præsentation

12.1.1 Indvindinger

Området det afgrænset så det dækker de fleste af indvindinger til Lejre vandværk og det meste af Thorsbro vandværk, svarende til kildepladserne: *Havdrup, Ishøj, Karlslunde, Solhøj, Thorsbro og Vardegård*. Desuden er der medtaget 38 kildepladser alle med en årlig indvinding på over 25.000 m³/år. Reference oppumpningen (abs_100%) svare til en middel indvinding for perioden 1990-1999, hvor KE's kildepladser udgør ca. 10 mill. m³/år, svarende til ca 60 % af den årlige indvinding indenfor området.

Tabel 41 Opgørelse over indvindinger medtaget i modellen indenfor delområde 4; Bemærk at alle indvindinger er angivet i 1000 m³/år

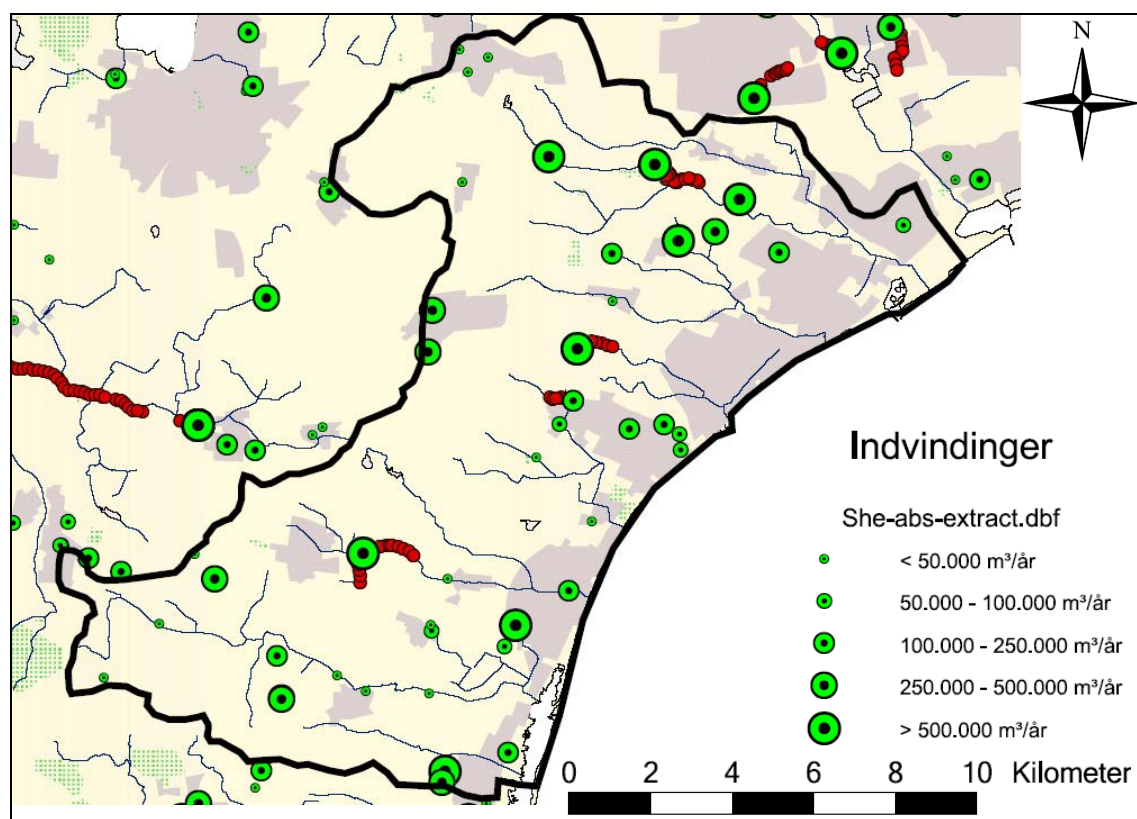
Kildeplads / vandværk	abs_100%	KE_0	SC_1
Lejre /Havdrup	2082	0	2082
Thorsbro /Ishøj	506	0	506
Thorsbro /Karlslunde	245	0	245
Thorsbro /Solhøj	5843	0	5843
Thorsbro /Thorsbro	1077	0	1077
Thorsbro /Vardegård	526	0	526
Greve Strands vandværk	1720	1720	1720
St. 3.(se 269-000020-01)	768	768	768
Snogebækvej 3, Køge	530	530	530
Lyngens Vandværk	500	500	500
Matr.nr.4-c,13-d,11-c,Li.Skensved b	425	425	425
Vandværk ??	375	375	375
Havdrup Stationsbys VV	294	294	294
Tune Vandværk I/S	280	280	280
Kildebrønde	257	257	257
Station 4	238	238	238
Skensved VV	230	230.0123	230
St.1, Solrød Strand VV(se 20-00)	196	195.8827	196
Olsbækken	190	189.98	190
Vandværk ??	186	185.6157	186
Greve kommunale vandforsyning	166	166	166
FeFChemicals A/S	127	127	127
Egeddalsvej 16, Karlslunde	122	122	122
Ishøj Strands vv	100	100	100
Sum af mindre VV (under 100.000 m ³ /år) (20 stk)	817	817	817

KE_0 svarer til den indvinding som er anvendt i KE_0 scenariet, dvs. det alternative nul-scenario hvor alle KE relaterede indvindinger er lukkede. SC_1 svarer til indvindingerne, der er anvendt under scenario 1, dvs. hvor indvindinger som ikke er relateret til KE er fastholdt på reference oppumpningen (abs_100%), men hvor KE's indvindinger i delområde 1

og 2 er forøget og KE's indvindinger i område 5 og 6 er formindsket. Indenfor dette område er der således ikke indvindingsmæssig forskel på scenarium SC_1 og abs_100%.

Som en del af opgaven er indvindingerne fra KE's kildepladser blevet linie-fordelt efter placeringen af de enkelte borer på kildepladserne. Liniefordeling anvendes i modelsammenhæng når der ikke er de store forskelle på specifik indvinding fra de enkelte borer (eller usikre informationer), der indgår i linien, og så længe borerne er placeret langs en approksimativ line. Ved liniefordeling tilskrives alle model-celler langs linien en lige andel af kildepladsens totale indvinding, bestemt ud fra hvor mange celler der ligger langs linien.

De enkelte kildepladsers reference oppumpning er angivet med en grøn cirkel på nedenstående figur, hvor også placeringen af KE's borer på de enkelte kildepladser er angivet med røde prikker. Reference oppumpningen for KE's kildepladser er fordelt langs linien som de røde prikker (KE-borer) danner, selvom det af figuren kan se ud som om at indvindingen er koncentreret for enden af de respektive kildepladser.



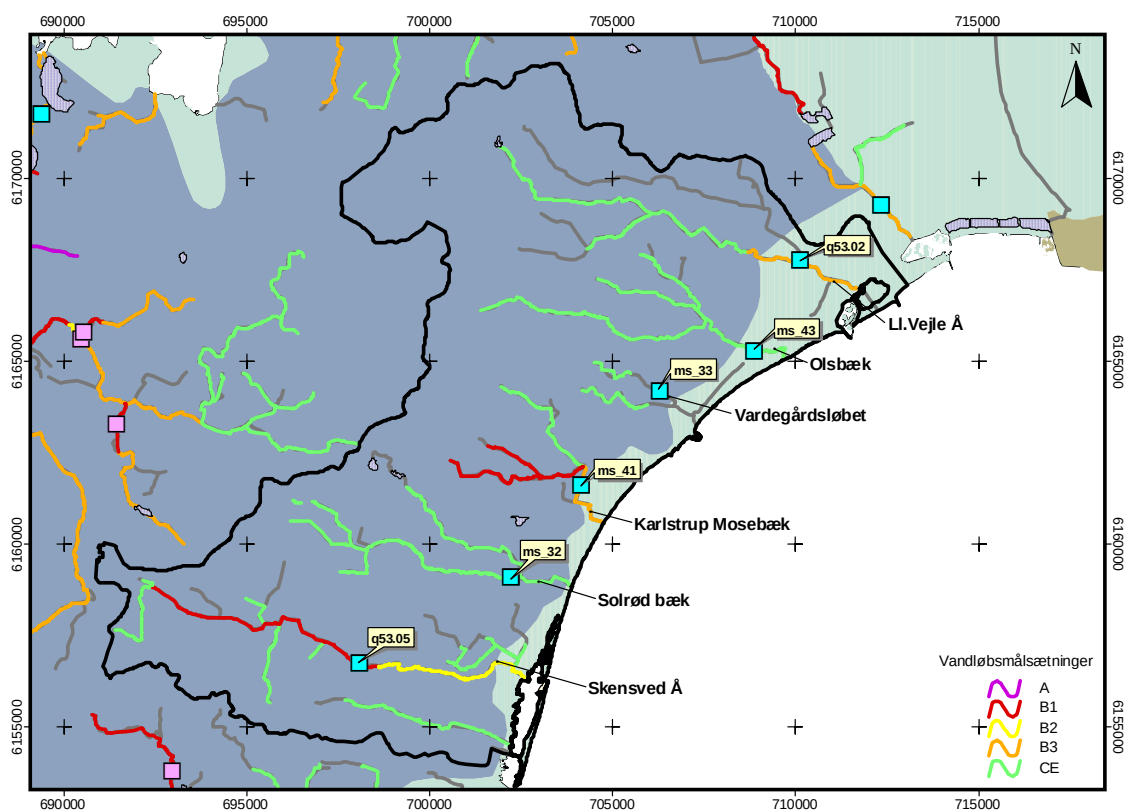
Figur 29 Afgrænsning af delolandet samt placering af størrelse af indvindinger

12.1.2 Vandløbssystem

Delolandet er i store træk afgrænset af de topografiske oplande til hovedvandløbene Lille Vejle å, Olsbæk, Vardegårdsløbet, Karlstrup Mosebæk, Solrød bæk og Skensved å. De topografiske oplande til disse vandløb er større end det approksimative indvindingsopland til KE's indvindinger indenfor området, men svarer samtidigt til det mindste fællesareal som vandløbsoplandene og indvindingsoplandene danner. Bestemmelse af det approksimative

indvindingsopland er dels baseret på partikelbane beregninger med DK-model Sjælland og dels baseret på tidligere opgørelser (KE kort materiale). Der er valgt at tage hensyn til vandløbsoplandene af to årsager, dels for at anvende samme principper, som blev brugt under ressource opgørelsen i Ferskvandets kredsløb (Henriksen og Sonnenborg, 2003) og dels fordi der i opgaven fokuseres på indvindingens påvirkning af vandføringer i vandløbene.

Deloplandet er meget blandet målsat med CE eller lavere målsætninger for langt de fleste del strækninger. Kun mindre dele af vandløbssystemet, dele af Karlstrup Mosebæk og Skensved å, er B1 og B2 målsat (røde og gule delstrækninger på figuren). Der er ikke A målsatte vandløbsdelstrækninger indenfor oplandet. I alt er ca. 70% af oplandet dækket af delstrækninger som er målsat med CE eller lavere målsætninger. Af figuren fremgår det at det meste af oplandet, administrativt er udpeget som "område med særlig drikkevandsinteresser" (mørkeblå).



Figur 30 Vandløb, vandløbs målsætninger og vandføringsstationer indenfor oplandet

Tabel 42 giver et overblik over hvilke stationer, som er medtaget i ressource beregningerne, samt arealet af de tilknyttede topografiske oplande. Vandløbene er tilknyttet forholdsvis små topografiske oplande, hvorfor der er medtaget flere vandføringsstationer hvor de tilknyttede under-oplande er mindre end 25 km². Det er som hovedtræk tilstræbt at undgå under-oplande på mindre end 25 km², fordi dette forventes at udgøre den nedre grænse for modellens evne til at opløse vandbalancens del elementer, herunder vandløbsbidraget. For hver af hovedløbene er der medtaget en enkelt vandføringsstation, hvilket igen skal tilskrives de forholdsvis små topografiske oplande. Indenfor dette opland er det, som i de øvrige oplande, forsøgt at finde balancen mellem en god opløsning af oplandets vandløbs netværk og en minimering af antallet af målestationer.

Netværk (størrelse)	Station
Karstrup Mosebæk (19 km ²)	ms_41
Li. Vejle å (46 km ²)	Q53.02
Olsbæk (20 km ²)	ms_43
Rørmøseløbet (11 km ²)	ms_33
Skensved å (25 km ²)	Q53.05
Solrød bæk (17 km ²)	ms_32

Tabel 42 Oplandsstørrelser og vandføringsstationer

Stationer med Q betegnelse foran nummeret indgår i det nuværende måleprogram, dvs. at der eksisterer Q eller H data for hele eller dele af perioden 1989-2004. Stationerne med "ms_" betegnelse er enten stationer der indgår i fauna data programmet, men hvor der ikke eksisterer Q eller H data, eller stationer der kun optræder virtuelt, dvs. i den hydrologiske model.

12.1.3 Overordnet vandbalance

Vandbalancen for deloplandet er beregnet med en middelnedbør for perioden 1991-2000 med en stationær model (sjke-stat) og som en gennemsnits vandbalance for perioden 1991-2001 med en dynamisk model (sjke-dyn). I tabellen betyder "GVD" den positive grundvandsdannelse til de enkelte beregningslag. Alle tal er opgjort i mm/år.

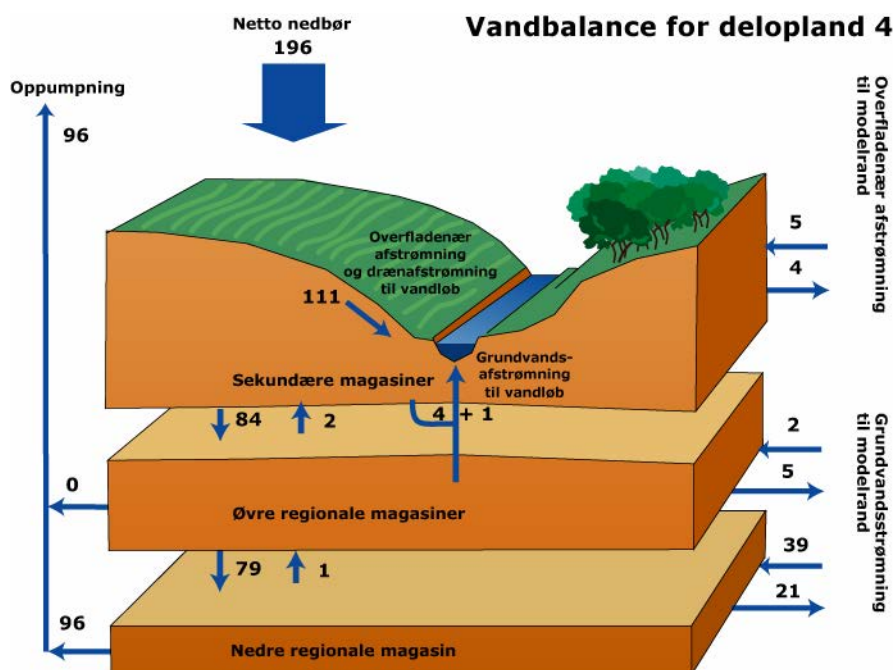
Tabel 43 Overordnet vandbalance for deloplandet

WBL	B.Lag	Netnedbør	Rand-ind	Rand-ud	Magasin	GVD	Oppump	Dræn	Baseflow
sjke-dyn 1991 - 2001	1	-190.1	4.8	3.2	0.8	0.0	0.0	108.0	6.2
	2	0.1	0.0	0.0	-0.2	78.5	0.0	0.0	0.0
	3	0.1	0.7	1.9	-0.4	78.6	0.0	0.0	1.0
	4	0.0	0.0	0.0	0.0	76.1	0.0	0.0	0.0
	5	0.0	0.6	2.4	0.0	76.1	0.0	0.0	0.5
	6	0.0	0.0	0.0	0.0	74.2	0.0	0.0	0.0
	7	0.0	0.2	0.3	0.0	74.2	0.0	0.0	0.1
	8	0.0	0.0	0.0	0.0	74.0	0.0	0.0	0.0
	9	0.0	38.4	21.7	-5.6	73.9	94.7	0.0	0.1
sjke-stat 1991 - 2001	1	-195.5	5.4	3.5	0.0	0.0	0.0	111.1	3.9
	2	0.0	0.0	0.0	0.0	83.8	0.0	0.0	0.0
	3	0.0	0.7	2.0	0.0	83.8	0.0	0.0	0.8
	4	0.0	0.0	0.0	0.0	81.1	0.0	0.0	0.0
	5	0.0	0.6	2.5	0.0	81.1	0.0	0.0	0.5
	6	0.0	0.0	0.0	0.0	79.2	0.0	0.0	0.0
	7	0.0	0.2	0.3	0.0	79.2	0.0	0.0	0.1
	8	0.0	0.0	0.0	0.0	78.9	0.0	0.0	0.0
	9	0.0	38.9	20.6	0.0	78.9	96.0	0.0	0.1

Det fremgår af vandbalancen, at der indvindes ca ½ af nettonedbøren indenfor området. Grundvandsdannelsen til de enkelte beregningslag (GVD) er tæt på at være konstant fra

beregningsslag 2 og ned, hvilket indikerer at der enten er ekstrem styring af grundvandsdannelsen som følge af indvinding eller at beregningsslag 2-8 er forholdsvis flade og af ringe tykkelse. I dette tilfælde synes det formodentligt at være en kombination af begge, idet beregningsslag 9 (prækvartæret) er det primære magasin inden for området og samtidigt det eneste magasin af væsentlig udbredelse. Der indvindes godt 120% af grundvandsdannelsen til dette magasin, og grundvandsdannelsen til beregningsslag 9 øges fra ca. 47 mm/år til ca. 84 mm/år ved reference indvindingen i forhold til en situation uden indvinding.

Det fremgår ligeledes af vandbalancen at delområdet hydrologiske afgrænsning ikke samstemmende med det hydrologiske opland til vandløbene, hvilket dels kan ses ved at indvindingen overstiger grundvandsdannelsen indenfor området og dels kan ses på at 10-20% af vandbalancen strømmer enten ind eller ud på tværs i dybden. Hoveddelen af ind og udstrømningen sker fra det primære magasin (beregningsslag 9). Figur 31 viser de overordnede balance taget fra den stationære kørsel med reference oppumpningen.



Figur 31 Vandbalance for delopland 4

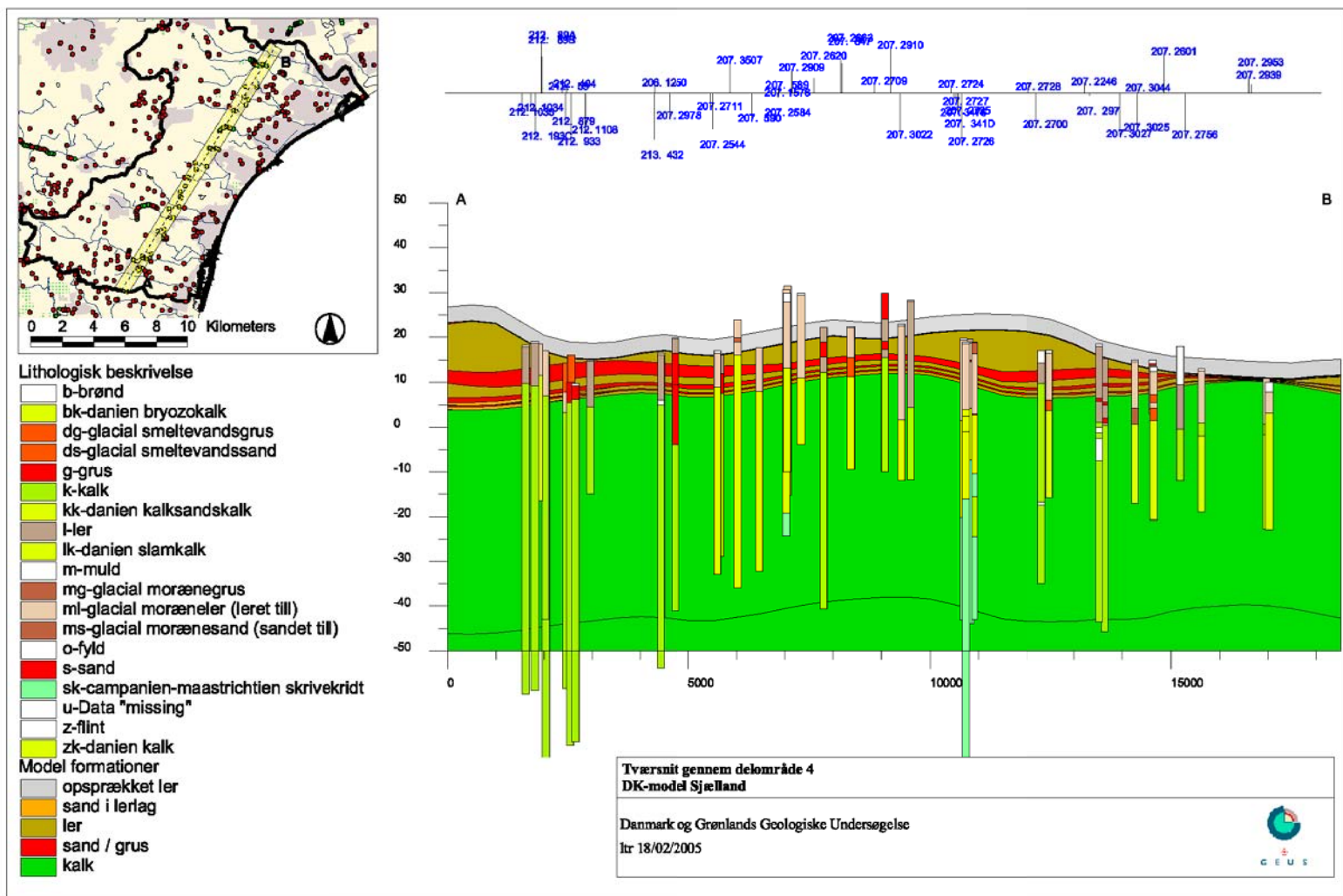
12.1.4 Geologisk konceptualisering

Det prækvartære er det primære magasin indenfor deloplandet. Langt den overvejende del af indvindingerne er filtersat i det prækvartære magasin. En lille restgruppe af indvindinger er filtersat i sandmagasiner og i de tilfælde drejer det sig primært om det øvre sandmagasin, som i modellen svarer til beregningsslag 7. På Figur 32 ses et syd-nord tværsnit gennem området med den i modellen anvendte geologiske tolkning.

Modellen er opstillet i 1x1 km² grid, hvorfor der kan være indtil flere borer indenfor et enkelt grid. De enkelte borer geologiske logs er ikke overholdt direkte i modellen, derimod er de generelle tendenser forsøgt gengivet i modellen. Figuren er dannet ved at pro-

jektere boringsinformationer fra dybere boringer indenfor et 900 meter bælte langs et nord-syd gående tværsnit. Boringernes variation både topografisk og lithologisk i forhold til modellen kan ses som et udtryk for den generelle variabilitet, der ikke er repræsenteret som følge af den skala modellen dækker.

Figur 32 Geologisk tværsnit gennem deloplandet



12.2 Model performance

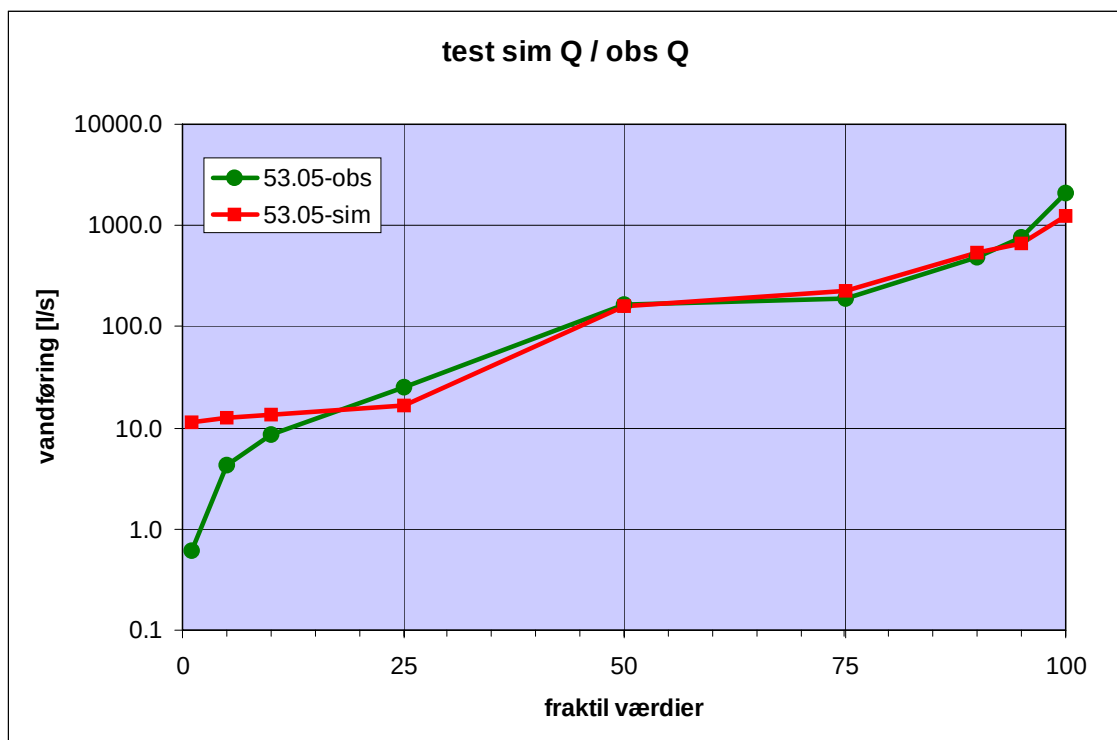
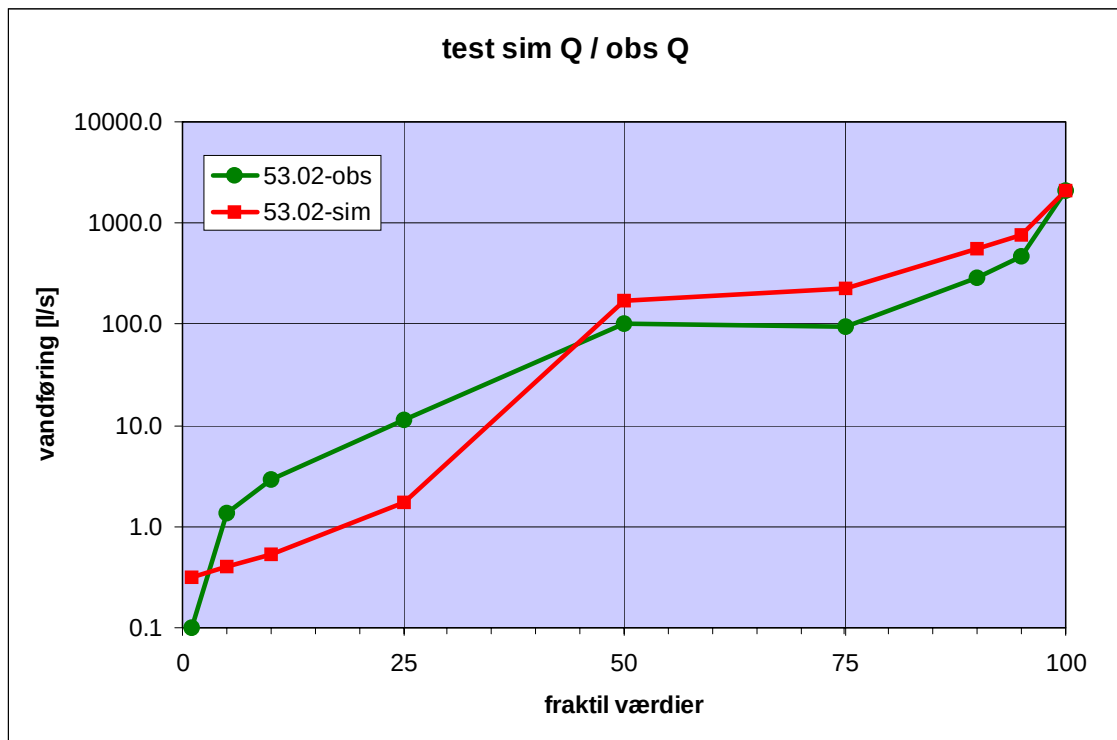
Der er ikke gennemført nogen egentlig kalibrering i forhold til deloplande, men modellen er generelt kalibreret for hele Sjælland herunder også deloplandene. Der er ikke noget i modellens evne til at simulere grundvandsstande og vandløbsafstrømninger der giver anledning til at udpege enkelte underområder som særligt problematiske. Indenfor dette delopland er kun vandføringsstation Q53.05 blevet brugt direkte i kalibreringen. De resterende vandføringsstationer er enten vurderet som havende et for lille tilknyttet opland eller med forstyrrende reguleringer – begge dele er problematisk at simulere direkte. Det er i denne ressource opgørelse og tilhørende scenarier blevet valgt at fokusere på relative forandringer som følge af ændrede betingelser.

For at vurdere modellens evne til at simulere varighedskurver for de enkelte vandføringsstationer, er der foretaget visuelle sammenligninger af varighedskurver for alle vandføringsstationer hvor vandføringsdata var tilgængelige. Varighedskurverne dækker valideringsperioden (1988-1996) i det omfang at der var data for hele perioden.

Tabel 44 Modellens evne til at simulere vandføringer

Mål	Stationer	
	Q53.02	Q53.05
<i>R²</i>	0.22	0.83
<i>Obs-95% fraktil</i>	1	4
<i>Sim-95% fraktil</i>	0	12
<i>Obs-90% fraktil</i>	3	9
<i>Sim-90% fraktil</i>	1	13
<i>Obs-75% fraktil</i>	11	25
<i>Sim-75% fraktil</i>	2	16
<i>Obs-25% fraktil</i>	94	189
<i>Sim-25% fraktil</i>	223	222
<i>Obs-10% fraktil</i>	287	484
<i>Sim-10% fraktil</i>	562	530
<i>Obs-5% fraktil</i>	472	765
<i>Sim-5% fraktil</i>	769	669

For station Q53.05 har modellen tilsyneladende har sværest ved at ramme de lave vandføringer, hvilket kan skyldes reguleringer, som ikke er medtaget i modelberegningerne. Vandføringen ved station Q53.02 er så ringe simuleret, både hvad angår R² værdier og de enkelte fraktilværdier, at det giver anledning til at sætte spørgsmålstegn ved model simuleringer fra dette opland, i hvert fald i forhold til "forecasting".



12.3 Indikator mål og ressource opgørelse

I ressource opgørelsen er der beregnet grundvandsdannelser til øvre det primære magasin (beregningsslag 3) ved forskellige indvindings scenarier. Som i Ferskvandets kredsløb er grundvandsdannelsen beregnet ved indvindinger svarende til 0, 50, 80, 100, 120 og 150 % af reference indvindingen. Herudover er regnet på to scenarier, et hvor KE's kildepladser er

slukkede (KE_0) og et hvor KE's kildepladser i område 1 og 2 har overtaget halvdelen af reference indvindingen fra delområder 5 og 6 (SC_1). Ud over ændringer i indvindingen og indvindingsstrukturen er det blevet regnet varige klimatiske variationer, svarende til det anden tørreste år indenfor 10 års perioden 1991-2000, samt det tredje vådeste år indenfor samme periode.

Tabel 45 Ressource opgørelse for deloplandet (indikator 1 – 3)

Omåde		sjke-opl 4			
		Areal	186 mm/år		
Reference oppumpning (100%)			96 mm/år		
Periode			Middel	Tør	Våd
Nettonedbør			195 mm/år	110 mm/år	272 mm/år
Bæredygtigt indvinding (procent af oppumpning)					
Indikator 1(abs/gvd_uop<35%)			17%	14%	19%
Indikator 2(abs/gvd<30%)			20%	10%	20%
Indikator 3 (middel.afst.)			20%	10%	40%
Indikator 3 relativt til Nu			110%	120%	130%
Scenario		Oppumpning [mm/år]	Grundvandsdannelse til beregningslag 3 [mm/år]		
KE_0		41	60	53	63
SC_1		96	81	73	86
0%		0	47	39	53
50%		48	64	55	66
80%		77	76	67	78
100%		96	84	73	89
120%		115	91	79	97
150%		144	100	81	105
			Middelaflstrømning til vandløb [mm/år]		
KE_0		41	146	65	221
SC_1		96	119	40	192
0%		0	171	88	246
50%		48	141	61	215
80%		77	126	47	199
100%		96	116	39	189
120%		115	108	33	180
150%		144	98	30	169

Grundvandsdannelsen og ændringer i grundvandsdannelsen bruges i beregning af indikator 1 og 2. Både indikator 1 og 2 peger i retningen af at der indvindes fem til ti gange for meget inden for området, med begrænset følsomhed overfor tørre og våde klimatiske situationer. Ændringer i middelaflstrømningen bruges i beregning af indikator 3, der viser ved hvilken procentvis udnyttelse af reference indvindingen, at der sker en netop 10% ændring af middelaflstrømningen i forhold til den upåvirkede situation (dvs. uden indvinding). Indikator 3 antyder at der indvindes 5-10 gange for meget med kraftig følsomhed overfor klimatiske variationer. Indikator 4 bekræfter at der indvindes for meget inden for området. I beregning af indikator 3' er det antaget, at den nuværende vandføring er acceptabel, hvorfor denne bruges som udgangspunkt for beregninger. Indikator 3' giver antyder at indvindingen kan øges med op til 10% uden at den nuværende vandføring påvirkes u hensigtsmæssigt.

Tabel 46 Ressource opgørelse for deloplandet (indikator 4)

opl_4		A	B1	B2	B3	CE	X
Areal	186 km ²	0 km ²	29 km ²	4 km ²	18 km ²	135 km ²	0 km ²
Afstrømning [%]	0.23 m ³ /s	0%	21%	3%	9%	67%	0%
Afstrømnings ændringer [% i forhold til situation uden oppumpning]							
SC_1 / KE_0	35%		26%	27%	53%	35%	
SC_1 / NON	59%		50%	73%	64%	60%	
SC_1 / REF	-1%		-4%	-2%	7%	-1%	
abs_non	0%		0%	0%	0%	0%	
abs_50%	41%		34%	55%	27%	44%	
abs_100%	59%		52%	74%	61%	61%	
abs_150%	70%		60%	79%	82%	71%	

Tabel 46 viser at B1 målsatte vandløbsstrækninger har et opland der dækker ca. 21% af hele oplandet. B1 målsatte vandløbsstrækninger er samtidigt dem som er mest følsomme overfor ændringer i indvinding, men da det samlede opland til disse strækninger er kun udgør 29 km², kan dette anses for at være for lille til, at det kan danne grundlag i indikator opgørelse. Bruges i stedet markøren for CE målsatte vandløbsstrækninger i opgørelsen (markeret), kan der indvindes godt 75-80% af den nuværende indvinding.

12.4 Baggrundstal

12.4.1 Grundvandsdannelse og middel afstrømning

Tabel 47 viser beregnede grundvandsdannelser og middel vandføringer ved forskellige indvindings scenarier og forskellige nedbørs situationer. Nedbørs "året" henviser ikke til et bestemt års situation, men udelukkende at beregningerne er foretaget med en nettonedbør, der svarer til de enkelte år. Det er i beregningerne antaget at der er opnået steady-state, dvs. at grundvandsstanden og nettonedbøren er uforandret i længere tid.

Tabellen indikerer, at klimatiske variationer vil have noget indflydelse på grundvandsdannelse i forhold til ændringer i indvindinger. Til gengæld udviser middelaflstrømningerne betydelig følsomhed overfor klimatiske variationer. De tilsyneladende variationer i grundvandsdannelse og middelaflstrømning er ikke et udtryk for år til år variationer, men skal ses som en situation der vil kunne opstå ved stationære tilstande med de tilhørende nedbørsmængder.

En total lukning af KE's kildepladser (scenario KE_0) resulterer i en grundvandsdannelse og middelaflstrømning, der svarer til grundvandsdannelsen og middelaflstrømningen ved en total nedbørsring til 35-45%. Der er således ikke noget der tyder på at grundvandsdannelse eller vandføring er mere følsom overfor ændringer på KE's kildepladser end på de resterende kildepladser i området, idet KE's kildepladser indvinder godt 60% af den totale indvundne mængde indenfor området (Tabel 41). Scenario 1 giver som ventet kun anledning til marginale påvirkninger indenfor området (lidt mere middelaflstrømning og lidt lavere grundvandsdannelse [modsat af område 3]).

Tabel 47 Grundvandsdannelse og afstrømning til vandløb

Basis parametre for området		Areal 186 km ²		Oppump 96 mm/år		Opgørelse for opland 4					
Nedbør [årstal]	1991-2000	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Nedbør [mm]	195	191	168	272	316	154	71	110	265	210	186
Grundvandsdannelse til øvre regionale magasin [mm/år]											
KE_0	60	60	59	63	67	58	43	53	64	61	60
SC_1	81	80	80	86	90	78	59	73	87	82	81
0%	47	47	46	53	55	45	31	39	52	49	47
50%	64	63	63	66	72	62	45	55	69	65	64
80%	76	74	74	78	84	73	53	67	82	77	76
100%	84	82	82	89	93	80	57	73	90	85	84
120%	91	90	89	97	101	87	59	79	98	93	91
150%	100	97	98	105	112	95	62	81	108	102	99
Middel afstrømning til vandløb [mm/år]											
KE_0	146	142	119	221	263	106	29	65	213	161	136
SC_1	119	115	92	192	232	80	12	40	184	133	109
0%	171	167	144	246	288	131	51	88	238	186	162
50%	141	137	114	215	257	102	26	61	207	155	131
80%	126	122	99	199	240	87	15	47	191	140	116
100%	116	112	90	189	230	78	12	39	181	131	106
120%	108	104	81	180	220	69	11	33	172	122	98
150%	98	94	72	169	209	60	9	30	161	112	88

12.4.2 Sommervandføring

Tabel 48 viser fordelingen af sommervandføringen på delområder opgjort efter vandløbsmålsætninger. Forskellen i afstrømning mellem scenariet hvor der ikke indvindes (0%) og scenariet hvor der indvindes 100% er på godt 20 mm, hvilket er noget mindre end "100% indvindingen" (abs_100% = 96 mm).

Tabel 48 Minimums vandføring fordelt efter vandløbs målsætninger

Sommerafstrømning [mm/år] opland 4							
	Total	A	B1	B2	B3	CE	X
Areal	186 km ²	0 km ²	29 km ²	4 km ²	18 km ²	135 km ²	0 km ²
Afstrømning [%]	0.23 m ³ /s	0%	21%	3%	9%	67%	0%
KE_0	24	0	34	20	27	22	0
SC_1	16	0	25	14	13	14	0
0% (nul-ref)	38	0	51	54	35	35	0
50%	23	0	33	25	25	20	0
100%	16	0	25	14	14	14	0
150%	12	0	21	11	6	10	0

12.4.3 Afsækning i forhold til kalkoverfladen

Tabel 49 viser de beregnede grundvandssækninger i forhold til kalkoverfladen indenfor delområdet. Areal opgørelserne, der er opsummeret i tabellen, antyder at selv begrænset indvinding i området (50% af reference indvindingen) vil give anledning til at 20-25 % af oplandets areal er påvirket af afsækninger i forhold til kalkoverfladen. Skalaen taget i betragtning antyder modellen at der vil være og/eller vil opstå overordnede problemer af denne type. Modellen viser at dette område er sammen med område 3, de områder som vil være mest påvirket af afsækning i forhold til kalkoverfladen. Det skal bemærkes at modellen ikke er konstrueret til at forudsige lokale afsækninger, og at beregning af lokale af-

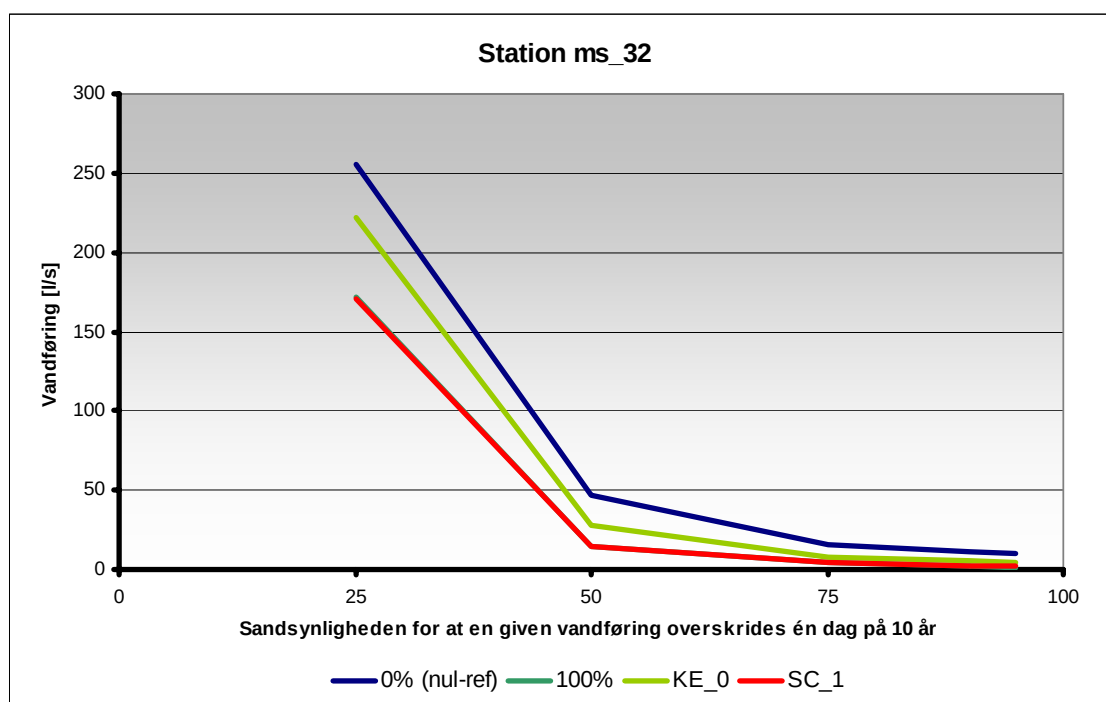
sænkninger er behæftet med betydelig usikkerheder. Desuden er der ikke taget højde for sæsonmæssige variationer nettonedbør eller lokale fluktuationer i indvinding mønsteret.

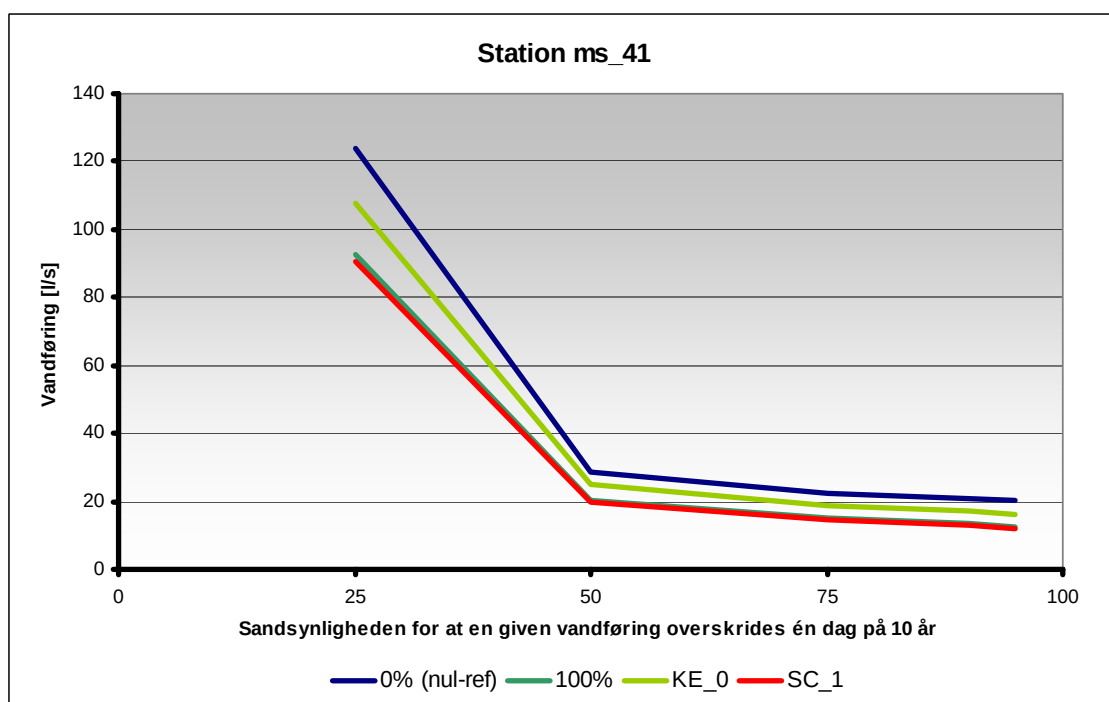
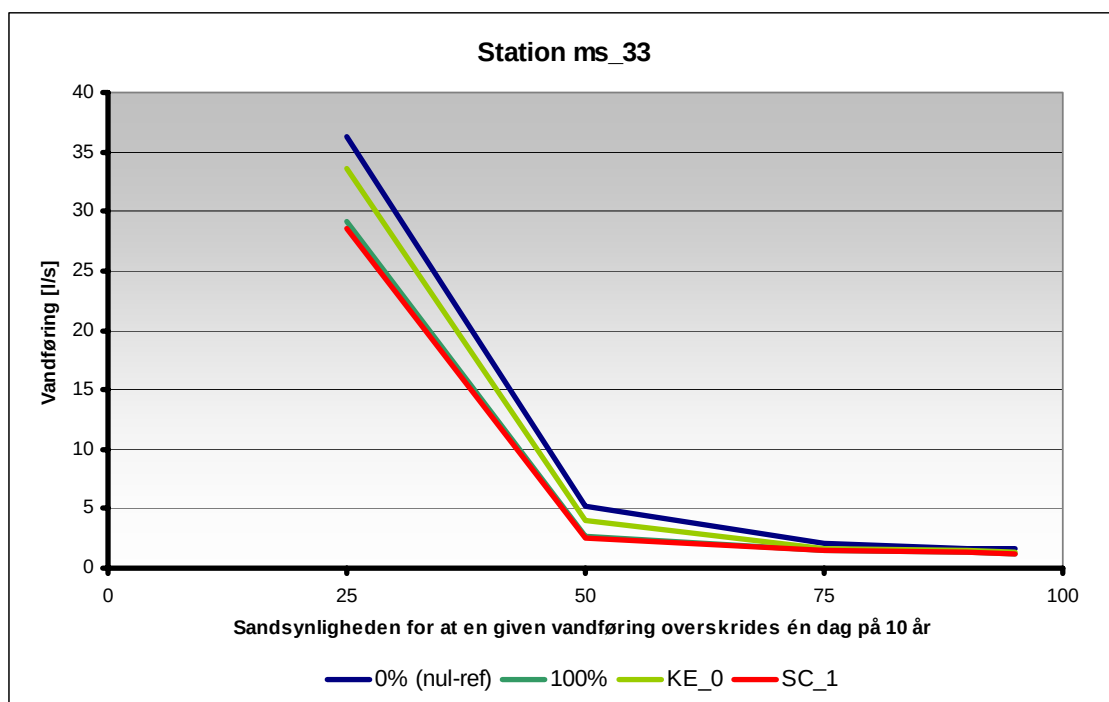
Tabel 49 Afsænkninger i forhold til kalkoverfladen

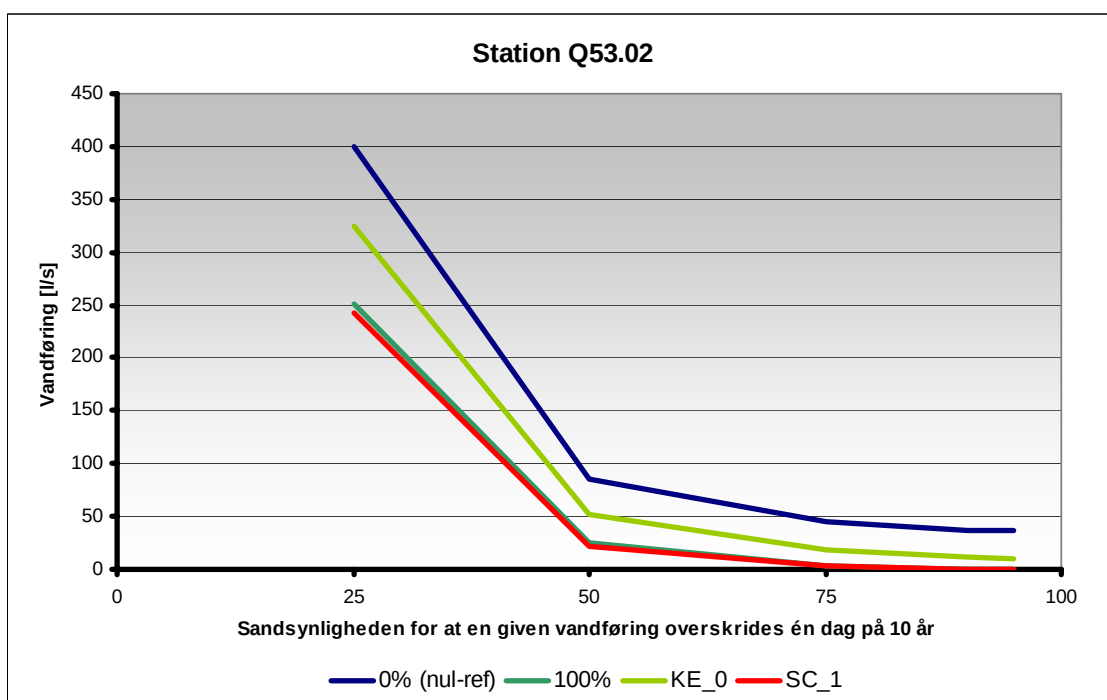
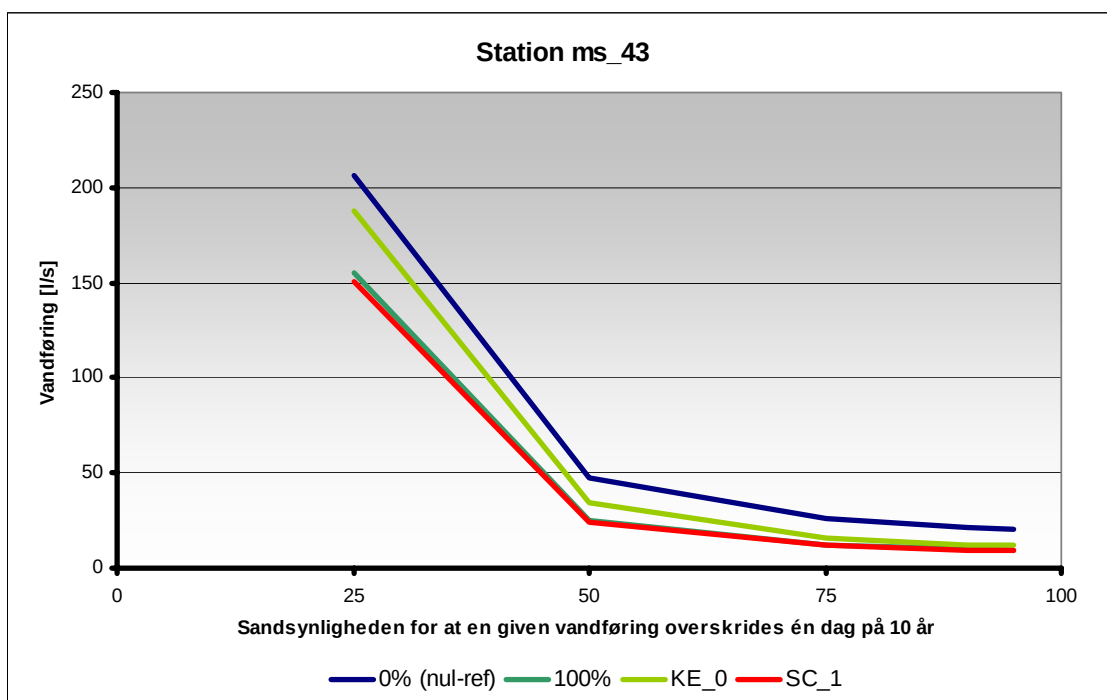
Afsækning i procent		abs_150	abs_120	abs_100	abs_80	abs_50	abs_0	KE_0	SC_1
opl_4									
Afs_kalk	> 5 m	39.8	29.6	24.2	15.1	7.5	3.2	7.0	24.2
	2 - 5 m	7.5	4.3	5.4	9.7	8.1	4.3	1.6	5.4
	0.5 - 2 m	5.4	1.6	1.6	3.2	4.3	0.0	4.8	1.6
	0 - 0.5 m	1.6	1.6	1.1	1.1	2.7	0.5	1.6	0.5
	< 0 m	45.7	62.9	67.7	70.9	77.4	91.9	84.9	68.3

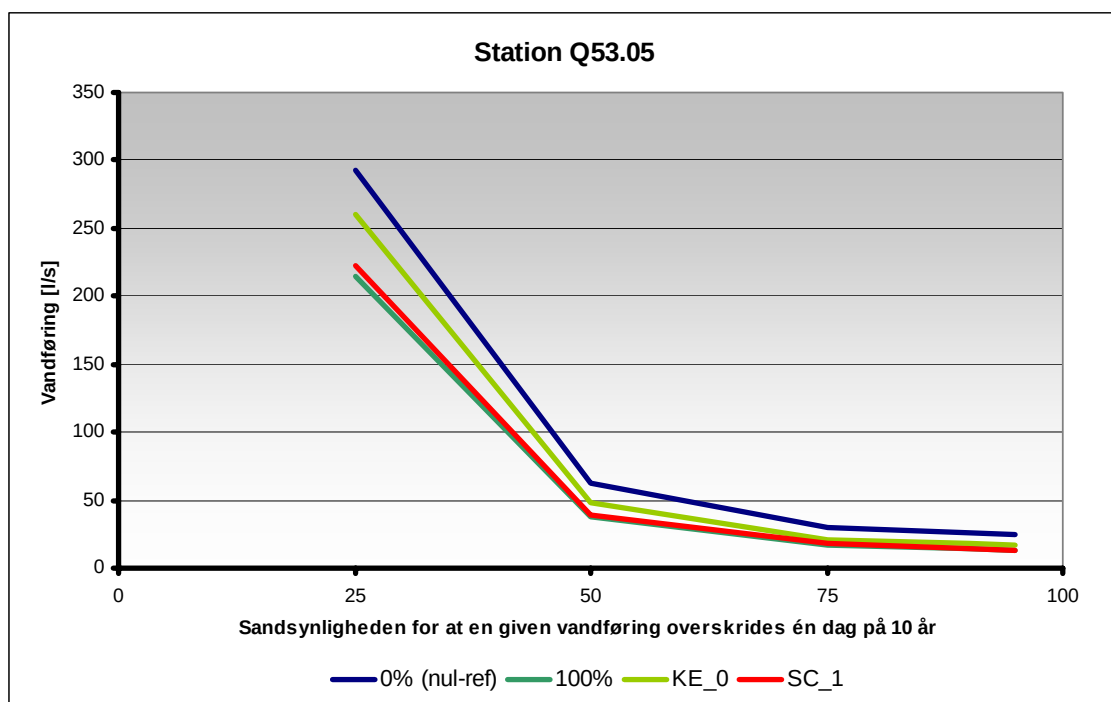
12.4.4 Varighedskurver for vandføringsstationer

Varighedskurverne for de forskellige scenarier og forskellige vandføringsstationer indenfor delområdet er vist i det følgende. Stationerne Q53.02, ms_41 og ms_43 udviser alle noget påvirkning som følge af ændringer i indvinding. Der er ikke noget tydeligt mønster i hvorfor netop disse stationer er de mest påvirkede. For de resterende vandføringsstationer er der kun beskedne påvirkninger, som er relativt størst i den høje ende af skalaen, dvs. ved store vandføringer.









Tabel 50 indeholder en liste med værdierne, som danner baggrund for nedenstående figurer over varighedskurver. Det skal bemærkes igen, at DK-modellen formodentligt har svært ved at simulere de eksakte vandføringsværdier, mens der er bedre muligheder for at simulere de relative forandringer i vandføringer.

Tabel 50 Varighedskurve data for vandføringsstationer

Opland	Scenario	Q-station	Hydrograf statistik									
			Maks	Perc_05	Perc_10	Perc_25	Perc_50	Perc_75	Perc_90	Perc_95	Min	
4	0% (nul-ref)	ms_32	1208	573	454	255	47	15	11	10	9	
4	100%	ms_32	1110	480	363	171	15	4	2	2	1	
4	KE_0	ms_32	1145	537	420	222	28	8	5	4	3	
4	SC_1	ms_32	1109	480	363	171	15	4	2	2	1	
4	0% (nul-ref)	ms_33	233	80	64	36	5.2	2.1	1.6	1.6	1.5	
4	100%	ms_33	229	73	57	29	2.7	1.5	1.3	1.2	1.0	
4	KE_0	ms_33	232	78	62	34	4.0	1.6	1.4	1.4	1.3	
4	SC_1	ms_33	228	72	56	29	2.6	1.5	1.3	1.2	0.9	
4	0% (nul-ref)	ms_41	933	323	242	124	29	23	21	20	18	
4	100%	ms_41	895	283	200	93	20	15	14	13	10	
4	KE_0	ms_41	917	303	223	108	25	19	17	16	14	
4	SC_1	ms_41	894	281	198	91	20	14	13	12	10	
4	0% (nul-ref)	ms_43	1351	476	370	206	47	26	22	21	19	
4	100%	ms_43	1283	424	310	155	25	12	10	9	7	
4	KE_0	ms_43	1327	462	355	188	34	16	12	12	10	
4	SC_1	ms_43	1278	413	303	150	24	12	10	9	7	
4	0% (nul-ref)	q53.02	2613	915	713	400	85	45	37	36	35	
4	100%	q53.02	2077	672	498	251	25	3	1	0	0	
4	KE_0	q53.02	2475	809	609	324	52	18	11	10	8	
4	SC_1	q53.02	2061	666	488	242	22	3	1	0	0	
4	0% (nul-ref)	q53.05	1491	682	532	293	63	30	26	25	22	
4	100%	q53.05	1276	583	429	214	37	17	14	13	11	
4	KE_0	q53.05	1370	645	496	261	48	21	18	16	14	
4	SC_1	q53.05	1293	596	442	222	39	18	15	13	11	

13. LEJRE – DELOMRÅDE 5

13.1 Område præsentation

13.1.1 Indvindinger

Området det afgrænset så det dækker indvindinger til Lejre vandværk, svarende til kildepladserne: *Assermølle, Gevninge, Hulemølle, Kornerup, Lavring, Ledreborg og Ramsø*, herudover er der medtaget 46 kildepladser alle med en årlig indvinding på over 25.000 m³/år. Reference oppumpningen (abs_100%) svarer til en middel indvinding for perioden 1990-1999, hvor KE's kildepladser udgør ca. 10 mill. m³/år, svarende til ca 67 % af den årlige indvinding indenfor området, i alt indvindes der i reference situationen 14 mill. m³/år.

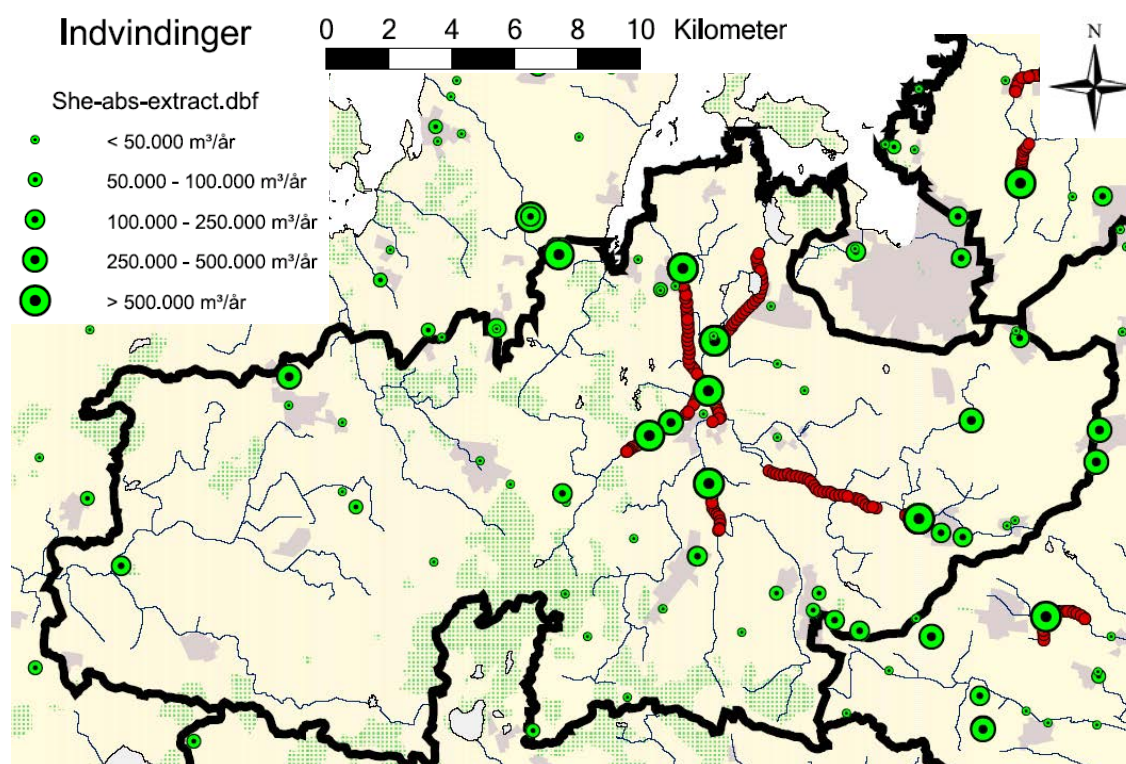
Tabel 51 Opgørelse over indvindinger medtaget i modellen indenfor delområde 5; Bemærk at alle indvindinger er angivet i 1000 m³/år

Kildeplads / vandværk	abs_100%	KE_0	SC_1
Lejre /Assermølle	1293	0	646
Lejre /Gevninge	1935	0	968
Lejre /Hulemølle	1948	0	974
Lejre /Kornerup	1634	0	817
Lejre /Lavring	992	0	496
Lejre /Ledreborg	433	0	216
Lejre /Ramsø	1375	0	688
Borrevejle-indvindingen	1352	1352	1352
Kvarmløse-Tølløse VV	355	355	355
matr.nr. 22dc Hedegårdene	333	333	333
Nørregade 41, Tune	328	328	328
Hvalsø VV	250	250	250
Vandværk ??	159	159	159
Viby Vandværk I/S	159	159	159
Osted Vandværk	143	143	143
I/S St. Merløse VV	138	138	138
Lindevej, Kr.Såby	134	133.8274	134
matr. nr. 5ad Gadstrup by, Gadstrup	113	113.3819	113
Lønbjærgvej 4B, Vindinge	110	109.6682	110
Gl.Gadstrup Vandværk I/S	106	106.2	106
Sum af mindre VV (under 100.000 m ³ /år) (33 stk)	1083	1083	1083

KE_0 svarer til den indvinding som er anvendt i KE_0 scenariet, dvs. det alternative nul-scenario hvor alle KE relaterede indvindinger er lukkede. SC_1 svarer til indvindingerne, der er anvendt under scenario 1, dvs. hvor indvindinger som ikke er relateret til KE er fastholdt på reference oppumpningen (abs_100%), mens KE's indvindinger i delområde 1 og 2 er forøget og KE's indvindinger i område 5 og 6 er formindsket.

Som en del af opgaven er indvindingerne fra KE's kildepladser blevet linie-fordelt efter placeringen af de enkelte borer på kildepladserne. Liniefordeling anvendes i modelsammenhæng når der ikke er de store forskelle på specifik indvinding fra de enkelte borer (eller usikre informationer), der indgår i linien, og så længe borerne er placeret langs en approksimativ line. Ved liniefordeling tilskrives alle model-celler langs linien en lige andel af kildepladsens totale indvinding, bestemt ud fra hvor mange celler der ligger langs linien.

De enkelte kildepladsers reference oppumpning er angivet med en grøn cirkel på nedenstående figur, hvor også placeringen af KE's borer på de enkelte kildepladser er angivet med røde prikker. Reference oppumpningen er for KE's kildepladser er fordelt langs linien som de røde prikker (KE-borer) danner, selvom det af figuren kan se ud som om at indvindingen er koncentreret for enden af de respektive kildepladser.



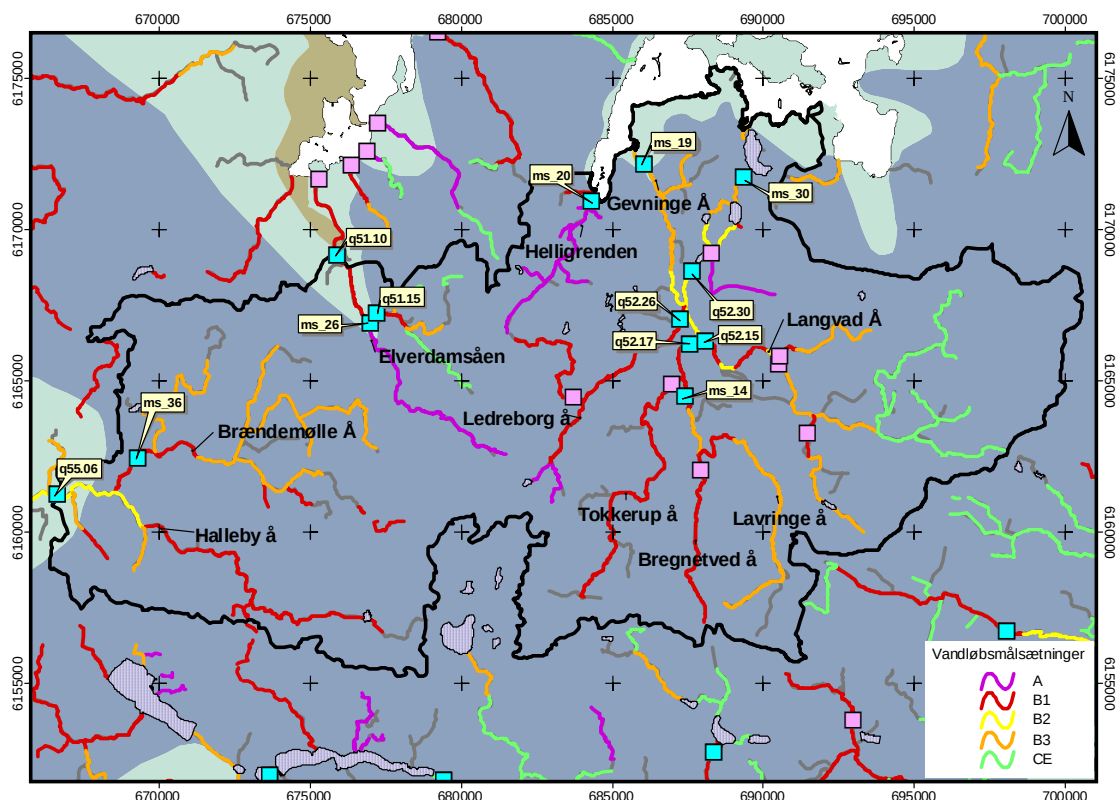
Figur 33 Afgrænsning af delolandet samt placering af størrelse af indvindinger

13.1.2 Vandløbssystem

Delolandet er afgrænset af det topografiske opland til hovedvandløbene Grevinge å, Helligrenden, Elverdamsåen og et deloeland til Susåen, nemlig Brændemølle å og Halleby å. Det topografiske opland til disse vandløb er større end det approksimative indvindingsopland til KE's indvindinger indenfor området, men svarer samtidigt til det mindste fællesareal som vandløbsoplandene og indvindingsoplandene danner. Bestemmelse af det approksimative indvindingsopland er dels baseret på partikelbane beregninger med DK-model Sjælland og dels baseret på tidligere opgørelser (KE kort materiale). Der er valgt at tage hensyn til vandløbsoplandene af to årsager, dels for at anvende samme principper, som blev brugt

under ressource opgørelsen i Ferskvandets kredsløb (Henriksen og Sonnenborg, 2003) og dels fordi der i opgaven fokuseres på indvindingens påvirkning af vandføringer i vandløbene.

Oplandet til Grevingen å dækker ca. ½ delen af hele oplandet og er for store dele målsat med B1 målsætninger. De mindre vandløb Elverdamsåen og Helligrenden er klasse A målsatte. Kun mindre dele af vandløbssystemet er ikke målsat (grå delstrækninger på figuren). Af figuren fremgår det også at stort set hele oplandet administrativt er udpeget som "område med særlig drikkevandsinteresser" (mørkeblåt).



Figur 33 Vandløb, vandløbs målsætninger og vandføringsstationer indenfor oplandet

Tabel 52 giver et overblik over hvilke stationer, som er medtaget i ressource beregningerne, samt arealet af de tilknyttede topografiske oplande. For flere af åerne er der medtaget flere end en vandføringsstation. Vandløbene er gennem placeringen af vandføringsstationerne opdelt i under-oplande, så det bliver muligt at bidrag og delbidrag fra både øvre og nedre dele af vandløbs netværket. Det er i dette opland, som i de øvrige oplande, forsøgt at finde balancen mellem en god opløsning af oplandets vandløbs netværk og en minimering af antallet af målestationer. Samtidigt er det tilstræbt at undgå under-oplande på mindre end 25 km², der forventes at udgøre den nedre grænse for modellens evne til at opløse vandbalancens del elementer, herunder vandløbsbidraget. Specielt for dette opland gælder det at flere af under-oplandene er mindre end 25 km², hvilket skyldes at der er flere mindre vandløbsstrækninger som er klasse A målsatte. Stationerne, der dækker disse mindre vandløbsstrækninger, er behæftet med små deloplande.

Stationer med Q betegnelse foran nummeret indgår i det nuværende måleprogram, dvs. at der eksisterer Q eller H data for hele eller dele af perioden 1989-2004. Stationerne med "ms_" betegnelse er enten stationer der indgår i fauna data programmet, men hvor der ikke eksisterer Q eller H data, eller stationer der kun optræder virtuelt, dvs. i den hydrologiske model.

Tabel 52 Oplandsstørrelser og vandføringsstationer

Netværk (størrelse)	Station
Brændemølle å (65 km ²)	ms_36
Elverdam å (14 km ²)	Q51.15
Elverdam å (16 km ²)	ms_26
Elverdam å (35 km ²)	Q51.10
Grevinge å (19 km ²)	ms_19
Helligrenden (12 km ²)	ms_20
Langvad å (143 km ²)	Q52.15
Langvad å (174 km ²)	Q52.30
Langvad å (188 km ²)	ms_30
Lavring å (32 km ²)	ms_14
Lavring å (66 km ²)	Q52.17
Ledreborg å (27 km ²)	Q52.26
Åmose å (112 km ²)	Q55.06

13.1.3 Overordnet vandbalance

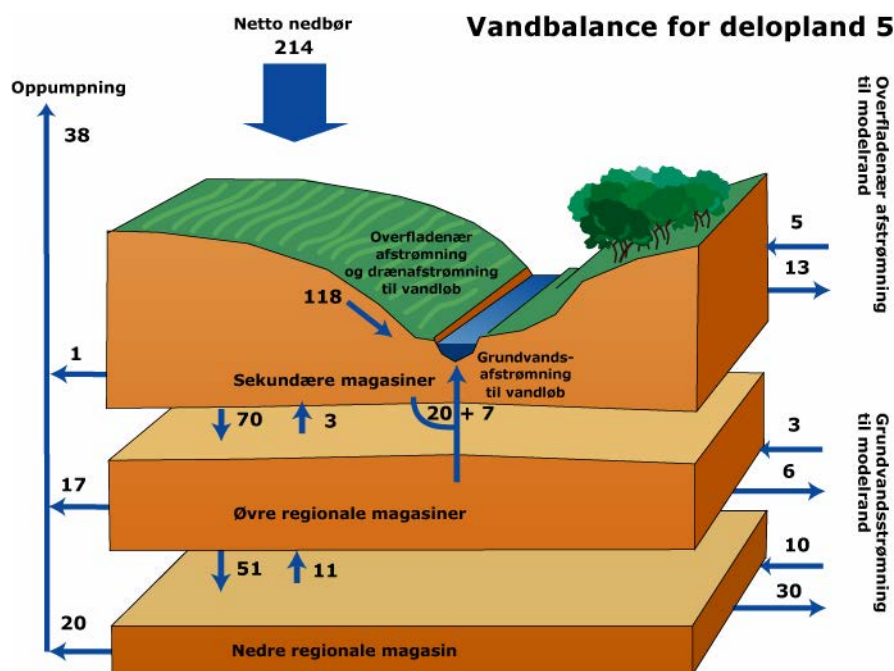
Vandbalancen for deloplandet er beregnet med en middelnedbør for perioden 1991-2000 med en stationær model (sjke-stat) og som en gennemsnits vandbalance for perioden 1991-2001 med en dynamisk model (sjke-dyn). I tabellen betyder "GVD" den positive grundvandsdannelse til de enkelte beregningslag. Alle tal er opgjort i mm/år.

Tabel 53 Overordnet vandbalance for deloplandet

WBL	B.Lag	Netnedbør	Rand-ind	Rand-ud	Magasin	GVD	Oppump	Dræn	Baseflow
sike-dyn 1991 - 2001	1	-207.4	4.3	11.4	3.2	0.0	0.9	108.6	22.9
	2	0.1	0.0	0.0	-0.4	67.3	0.0	0.0	1.0
	3	0.0	2.0	3.7	-0.4	66.6	0.6	0.0	6.3
	4	0.0	0.1	0.1	0.0	57.5	0.0	0.0	0.0
	5	0.0	0.9	1.6	0.0	57.5	1.6	0.0	0.0
	6	0.0	0.0	0.1	0.0	54.9	0.0	0.0	0.0
	7	0.0	0.2	0.2	0.0	54.9	15.0	0.0	0.0
	8	0.0	0.0	0.0	0.0	49.9	0.0	0.0	0.0
	9	0.0	9.5	29.2	-0.7	49.9	19.4	0.0	0.0
sike-stat 1991 - 2001	1	-213.7	4.5	12.6	0.0	0.0	0.9	118.1	18.7
	2	0.0	0.0	0.0	0.0	70.7	0.0	0.0	1.0
	3	0.0	2.0	3.8	0.0	69.6	0.6	0.0	7.2
	4	0.0	0.1	0.1	0.0	59.2	0.0	0.0	0.1
	5	0.0	0.9	1.7	0.0	59.2	1.6	0.0	0.0
	6	0.0	0.0	0.1	0.0	56.4	0.0	0.0	0.0
	7	0.0	0.2	0.2	0.0	56.4	15.2	0.0	0.0
	8	0.0	0.0	0.0	0.0	51.2	0.0	0.0	0.0
	9	0.0	9.6	29.5	0.0	51.2	19.6	0.0	0.0

Det fremgår af vandbalancen, at der indvindes ca 1/6 af nettonedbøren indenfor området. En stor del af det hydrologiske kredsløb foregår i de øvre sekundære magasiner, dvs. i mindre magasiner som ikke har den store betydning, indvindingsmæssigt. Ca. 90-95 % af vandløbsafstrømningen stammer fra dræn eller overfladenær afstrømning. Grundvandsdannelsen til de øvre beregningslag (GVD) er på ca. 1/3 af nettonedbøren og lidt mindre til de dybere magasiner.

Det fremgår ligeledes af vandbalancen at delområdets afgrænsning ikke er overensstemmende med det hydrologiske opland, hvilket kan ses af 10-20% af vandbalancen strømmer enten ind eller ud på tværs i dybden. Hoveddelen af ind og udstrømningen sker fra kalk magasinet (beregningsslag 9) og det øvre magasin direkte til havet (beregningsslag 1). Figur 34 viser de overordnede balance taget fra den stationære kørsel med reference oppumpningen.



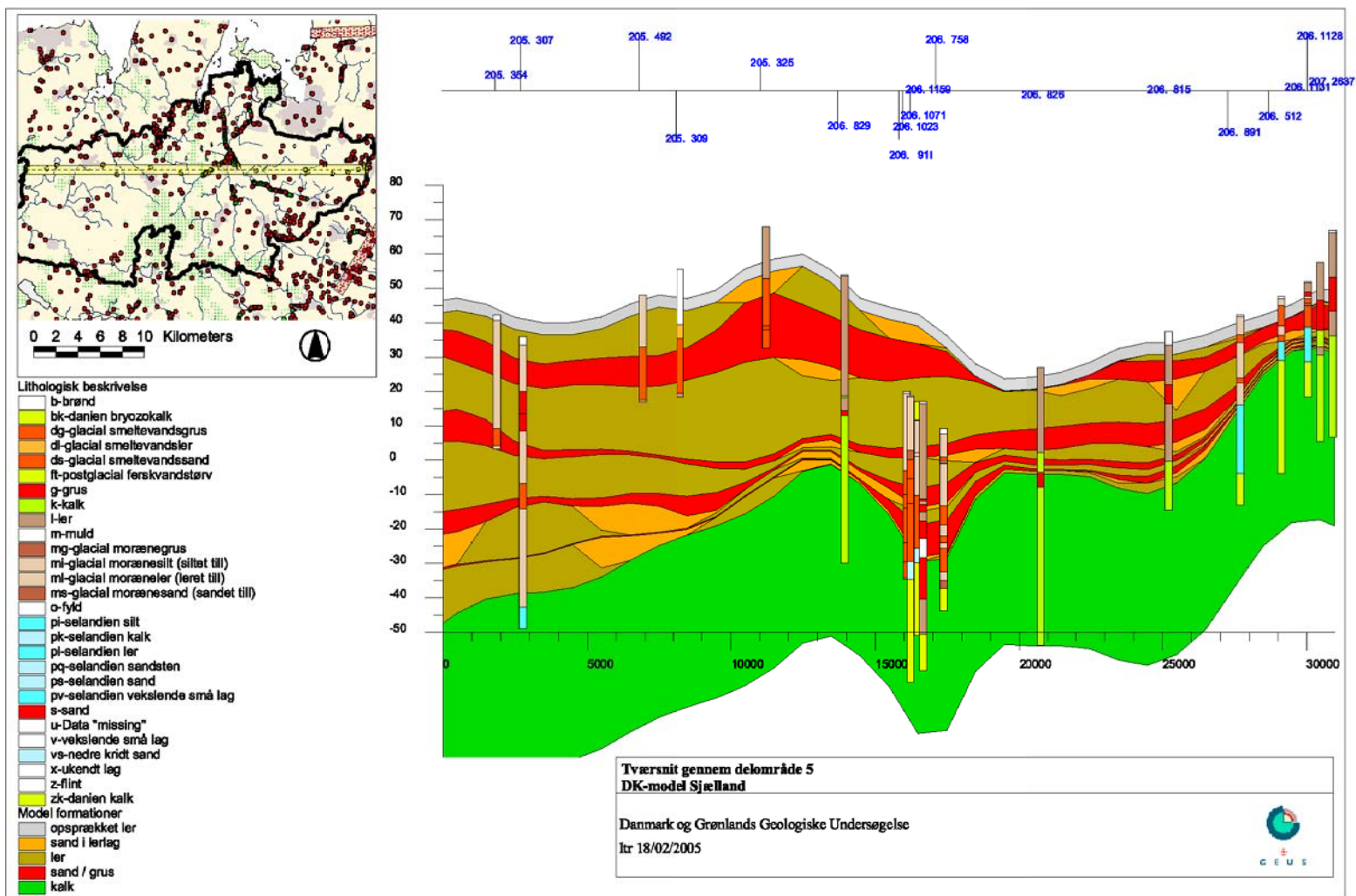
Figur 34 Vandbalance for delopland 5

13.1.4 Geologisk konceptualisering

Det prækvartære er det primære magasin indenfor deloplandet. Langt den overvejende del af indvindingerne er filtersat i det prækvartære magasin. En lille restgruppe af indvindinger er filtersat i sandmagasiner og i de tilfælde drejer det sig primært om det øvre sandmagasin, som i modellen svarer til beregningslag 7. På Figur 35 ses et øst-vest tværsnit gennem området med den i modellen anvendte geologiske tolkning. Det skal bemærkes at de tre øverste lag, hvoraf det ene er et forholdsvis udbredt sandmagasin, modelmæssigt er slået sammen til et enkelt beregningslag.

Modellen er opstillet i 1x1 km² grid, hvorfor der kan være indtil flere boringer indenfor et enkelt grid. De enkelte borigers geologiske logs er ikke overholdt direkte i modellen, derimod er de generelle tendenser forsøgt gengivet i modellen. Figuren er dannet ved at projekte borigsinformationer fra dybere boringer indenfor et 900 meter bælte langs et øst-vest gående transekt. Boringernes variation både topografisk og lithologisk i forhold til modellen kan ses som et udtryk for den generelle variabilitet, der ikke er repræsenteret som følge af den skala modellen dækker.

Figur 35 Geologisk tværsnit gennem deloplandet



13.2 Model performance

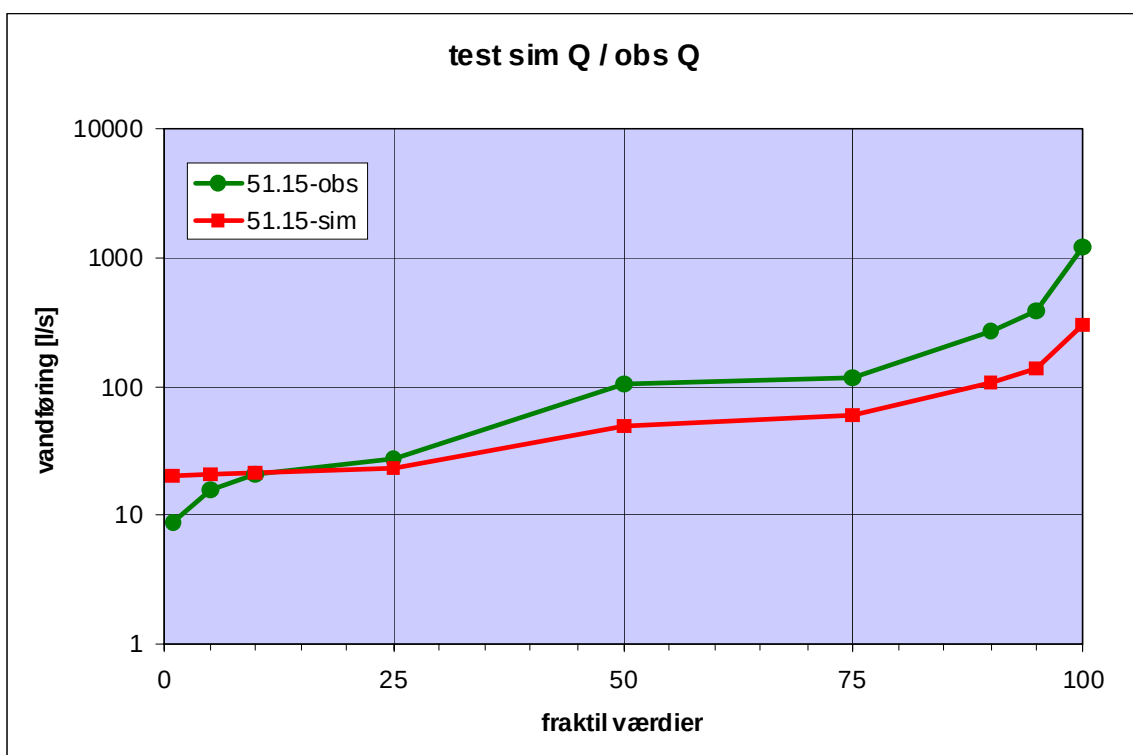
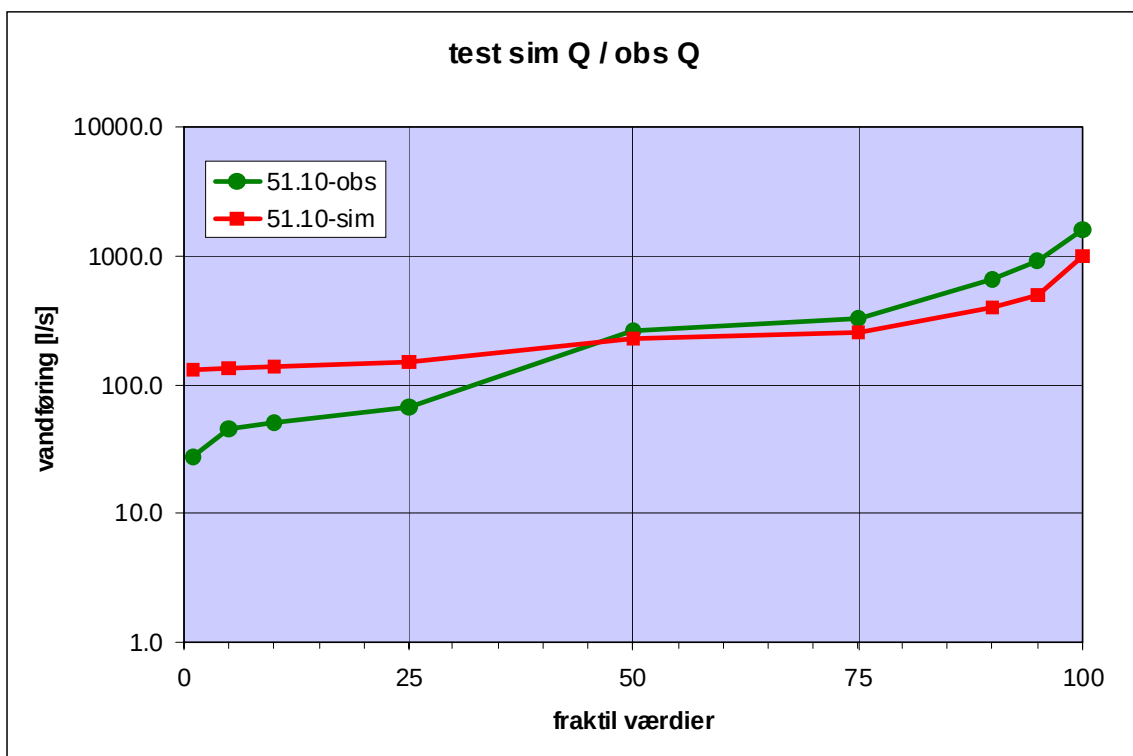
Der er ikke gennemført nogen egentlig kalibrering i forhold til deloplande, men modellen er generelt kalibreret for hele Sjælland herunder også deloplandene. Der er ikke noget i modellen evne til at simulere grundvandsstande og vandløbsafstrømninger der giver anledning til at udpege enkelte underområder som særligt problematiske. Indenfor dette delopland er kun vandføringsstation Q51.10, Q52.17 og Q55.06, der er blevet brugt direkte i kalibreringen. Ved dette valg dækkes ca. ½ delen (213 km²) oplandet (375 km²), men de resterende stationer er enten vurderet som havende et for lille tilknyttet opland eller med forstyrrende reguleringer – begge dele er problematisk at simulere direkte. I ressource opgørelsen og scenarierne er det således blevet valgt at fokusere på relative forandringer som følge af ændrede betingelser.

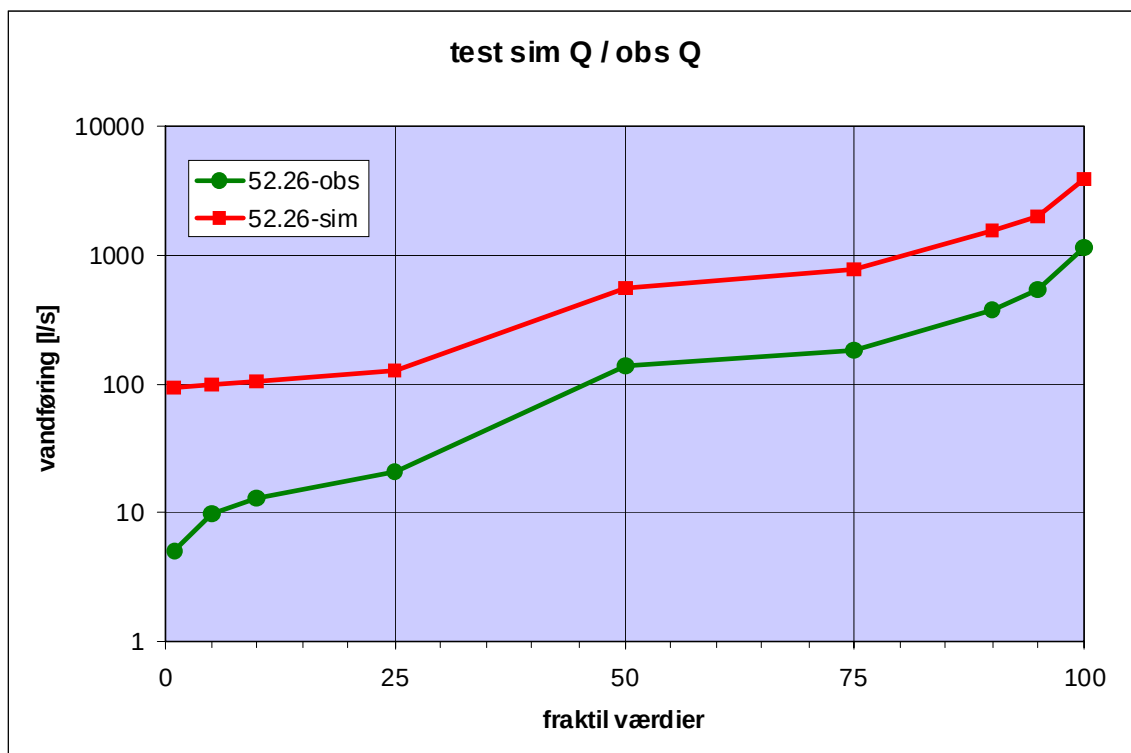
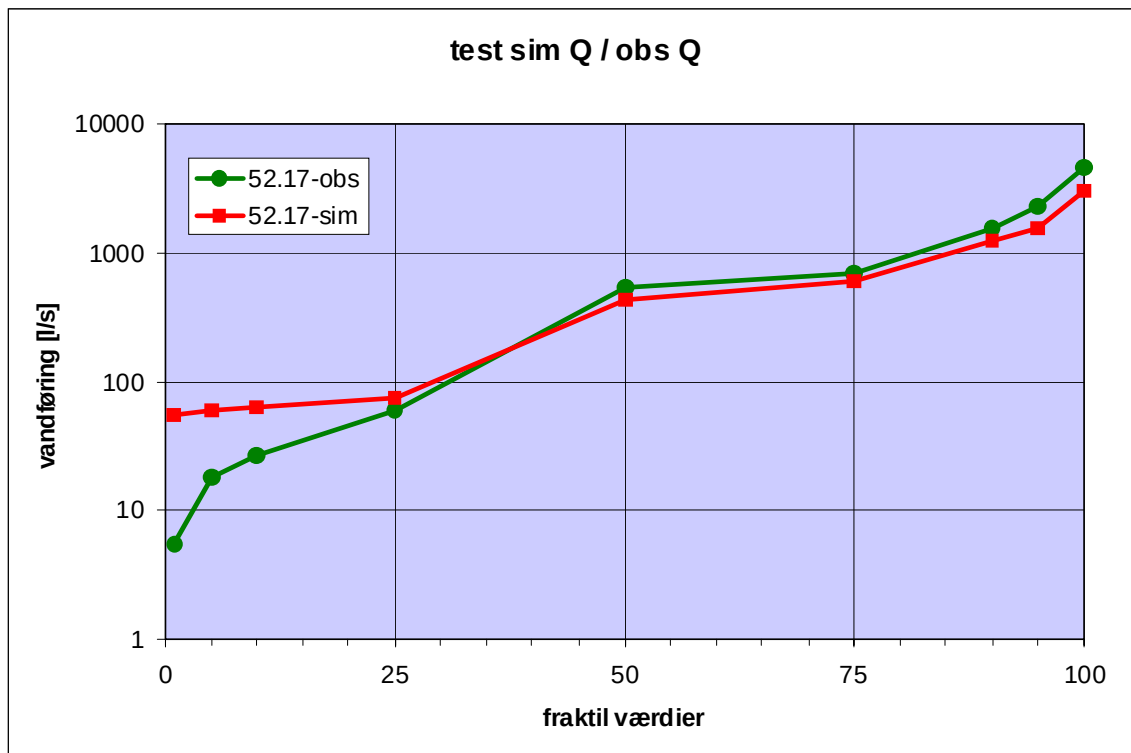
For at vurdere modellens evne til at simulere varighedskurver for de enkelte vandføringsstationer, er der foretaget visuelle sammenligninger af varighedskurver for de vandføringsstationer hvor vandføringsdata var tilgængelige. Varighedskurverne dækker valideringsperioden (1988-1996) i det omfang at der var data for hele perioden.

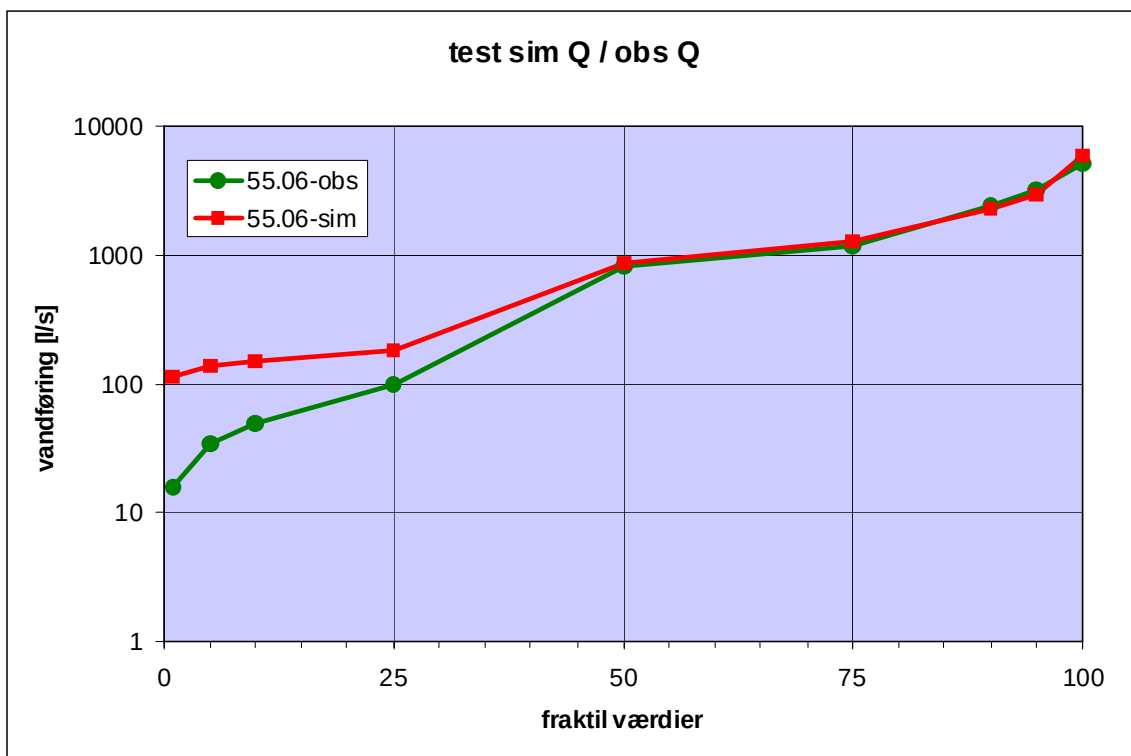
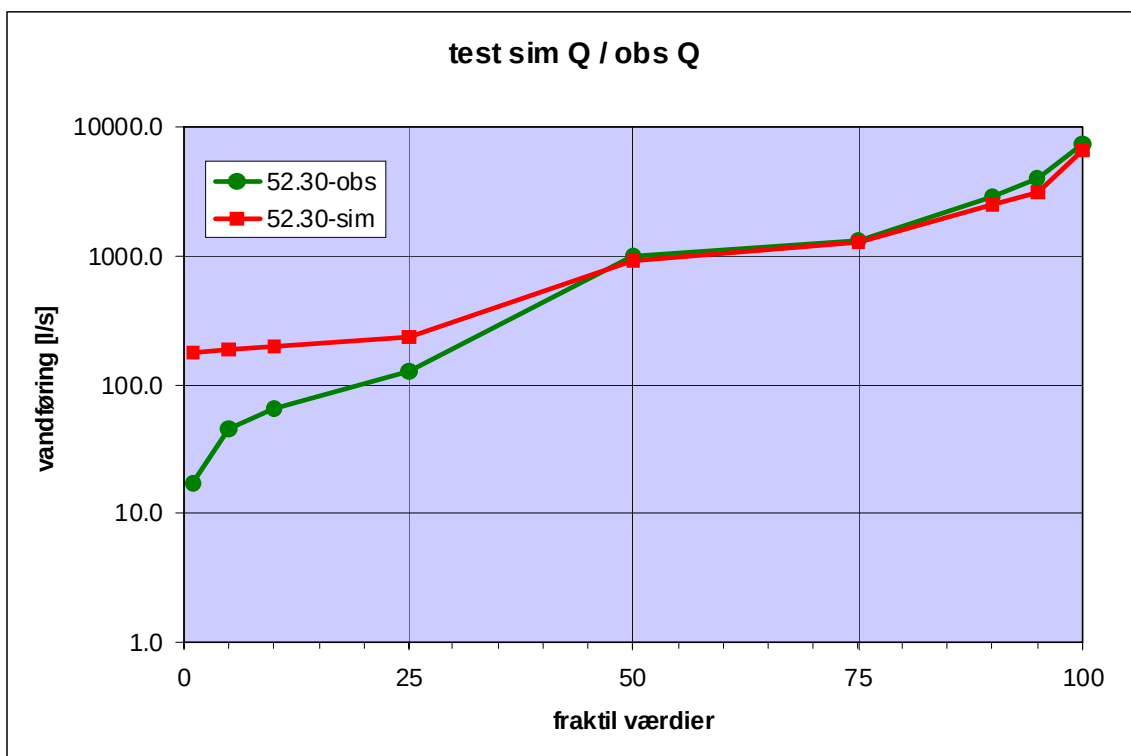
Tabel 54 Modellens evne til at simulere vandføringer

Mål	Stationer					
	Q51.10	Q51.15	Q52.17	Q52.26	Q52.30	Q55.06
<i>R²</i>	0.61	0.29	0.81	-13.61	0.86	0.91
<i>Obs-95% fraktil</i>	45	16	18	10	46	34
<i>Sim-95% fraktil</i>	134	21	60	98	187	139
<i>Obs-90% fraktil</i>	51	21	27	13	65	49
<i>Sim-90% fraktil</i>	137	21	63	104	195	150
<i>Obs-75% fraktil</i>	67	27	59	21	128	99
<i>Sim-75% fraktil</i>	148	23	74	128	232	182
<i>Obs-25% fraktil</i>	329	116	700	182	1310	1164
<i>Sim-25% fraktil</i>	256	60	610	782	1275	1267
<i>Obs-10% fraktil</i>	658	266	1556	379	2869	2397
<i>Sim-10% fraktil</i>	397	108	1237	1540	2462	2289
<i>Obs-5% fraktil</i>	910	385	2295	537	3954	3206
<i>Sim-5% fraktil</i>	496	139	1563	1965	3149	2937

Fælles for alle stationerne er at modellen tilsyneladende har sværest ved at ramme de lave vandføringer. To stationer skiller sig ud; station Q51.15 konsekvent rammer noget under den observerede vandføring og Q52.26 konsekvent rammer noget over den observerede vandføring.







13.3 Indikator mål og ressource opgørelse

I ressource opgørelsen er der beregnet grundvandsdannelser til øvre det primære magasin (beregningsslag 3) ved forskellige indvindings scenarier. Som i Ferskvandets kredsløb er

grundvandsdannelsen beregnet ved indvindinger svarende til 0, 50, 80, 100, 120 og 150 % af reference indvindingen. Herudover er regnet på to scenarier, et hvor KE's kildepladser er slukkede (KE_0) og et hvor KE's kildepladser indenfor dette område har overtaget halvdele af reference indvindingen fra delområde 5 (SC_1). Ud over ændringer i indvindingen og indvindingsstrukturen er det blevet regnet varige klimatiske variationer, svarende til det anden tørreste år indenfor 10 års perioden 1991-2000, samt det tredje vådeste år indenfor samme periode.

Tabel 55 Ressource opgørelse for deloplandet (indikator 1 – 3)

Omåde	sjke-opl 5			
Areal	375 km²			
Reference oppumpning (100%)	38 mm/år			
Periode		Middel	Tør	Våd
Nettonedbør		214 mm/år	116 mm/år	279 mm/år
Bæredygtigt indvinding (procent af oppumpning)				
Indikator 1(abs/gvd_uop<35%)		44%	38%	47%
Indikator 2(abs/gvd<30%)		40%	40%	40%
Indikator 3 (middel.afst.)		50%	20%	70%
Indikator 3_relativt til Nu		140%	110%	160%
Scenario Oppumpning [mm/år] Grundvandsdannelse til beregningslag 3 [mm/år]				
KE_0	12	55	48	58
SC_1	25	63	56	67
0%	0	48	41	51
50%	19	58	52	62
80%	30	65	57	69
100%	38	70	61	73
120%	46	74	65	78
150%	57	81	69	85
Middelfafstrømning til vandløb [mm/år]				
KE_0	12	166	74	229
SC_1	25	154	62	217
0%	0	177	85	241
50%	19	161	70	225
80%	30	152	61	215
100%	38	145	55	208
120%	46	139	49	202
150%	57	129	44	192

Grundvandsdannelsen og ændringer i grundvandsdannelsen bruges i beregning af indikator 1 og 2. Både indikator 1 og 2 peger i retningen af at grundvandsdannelsen til de øvre magasiner påvirkes noget af indvindingen inden for området, med noget følsomhed overfor tørre og våde klimatiske situationer. Ændringer i middelfafstrømningen bruges i beregning af indikator 3. Indikator tre viser ved hvilken procentvis udnyttelse af reference indvindingen at der sker netop 10% ændring af middelfafstrømningen i forhold til den upåvirkede situation (dvs. uden indvinding). Indikator 3 antyder at ændringer i middelfafstrømningerne ikke er det største problem indenfor området, og at middelfafstrømningerne er meget følsomme overfor klimatiske ændringer. Indikator 4 (highlighted) antyder at det specielt er de klasse A målsatte vandløb, som begrænser i ressource opgørelsen. I beregning af indikator 3' er det antaget at den nuværende vandføring er acceptabel, hvorfor denne bruges som udgangspunkt for beregninger, dvs. den maksimale påvirkning er 10% af nuværende vandføring. Indikator 3' viser at den bæredygtige indvinding kan øges med op til 40% i forhold til den nuværende situation, igen med megen følsomhed overfor klimatiske variationer.

Tabel 56 Ressource opgørelse for deloplandet (indikator 4)

opl_5		A	B1	B2	B3	CE	X
Areal	375 km ²	45 km ²	140 km ²	10 km ²	119 km ²	56 km ²	5 km ²
Afstrømning [%]	0.95 m ³ /s	17%	34%	7%	33%	8%	0%
Afstrømnings ændringer [% i forhold til situation uden oppumpning]							
SC_1 / KE_0	11%	13%	6%	10%	16%	17%	41%
SC_1 / NON	20%	24%	11%	16%	25%	27%	90%
SC_1 / REF	-8%	-8%	-4%	-10%	-11%	-8%	-1%
abs_non	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
abs_50%	14%	17%	8%	13%	16%	18%	82%
abs_100%	26%	29%	15%	24%	33%	33%	90%
abs_150%	37%	37%	23%	36%	50%	43%	90%

Tabel 56 viser at B1 målsatte vandløbsstrækninger har et opland der dækker ca. 1/3 del af hele oplandet. Klasse A målsatte vandløbsstrækninger har et opland der dækker ca. 17% af hele oplandet. Samtidigt er klasse A målsatte vandløbsstrækninger (primært Helligrenden og Elverdamsåen) dem som er mest følsomme overfor ændringer i indvinding (når der ses bort fra klasse X), hvilket *ikke* umiddelbart kan forklares ved at KE's indvindingsboringer ligger langs de klasse A målsatte delstrækninger.

13.4 Baggrundstal

13.4.1 Grundvandsdannelse og middel afstrømning

Tabel 57 viser beregnede grundvandsdannelser og middel vandføringer ved forskellige indvindings scenarier og forskellige nedbørs situationer. Nedbørs "året" henviser ikke til et bestemt års situation, men udelukkende at beregningerne er foretaget med en nettonedbør, der svarer til de enkelte år. Det er i beregningerne antaget at der er opnået steady-state, dvs. at grundvandsstanden og nettonedbøren er uforandret i længere tid.

Tabellen indikerer, at klimatiske variationer vil have noget indflydelse på grundvandsdannelse i forhold til ændringer i indvindinger. Til gengæld udviser middelaflstrømningerne betydelig følsomhed overfor klimatiske variationer. De tilsyneladende variationer i grundvandsdannelse og middelaflstrømning er ikke et udtryk for år til år variationer, men skal ses som en situation der vil kunne opstå ved stationære tilstande med de tilhørende nedbørsmængder.

En total lukning af KE's kildepladser (scenario KE_0) resulterer i en grundvandsdannelse og middelaflstrømning, der svarer til grundvandsdannelsen og middelaflstrømningen ved en total neddrøsling til 30-35%. Der er således ikke noget der tyder på at grundvandsdannelse eller vandføring er mere følsom overfor ændringer på KE's kildepladser end på de resterende kildepladser i området, idet KE's kildepladser indvinder godt 70 % (26 mm/år) af den totale indvundne mængde indenfor området (Tabel 51). Dette bekræftes delvist af scenario 1 (SC_1) hvor KE's indvindinger inden for området er neddrøsllet til halvdelen af reference indvindingen (indvindes totalt lidt mindre end 80% af reference indvindingen [25 mm/år i forhold til 30 mm/år]) (se Tabel 55). Model simuleringerne KE_0 og SC_1 antyder at KE's

indvindings struktur ikke giver større påvirkninger af vandføringer og grundvandsdannelser, i hvert fald ikke større "årlig opgjorte" påvirkninger.

Tabel 57 Grundvandsdannelse og afstrømning til vandløb

Basis parametre for området		Areal 375 km ²		Oppump 38 mm/år		Opgørelse for opland 5					
Nedbør [årstal]	1991-2000	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Nedbør [mm]	214	209	195	279	345	165	77	116	291	240	206
Grundvandsdannelse til øvre regionale magasin [mm/år]											
KE_0	55	54	54	58	60	52	42	48	59	56	55
SC_1	63	63	62	67	69	61	50	56	67	64	63
0%	48	47	46	51	53	45	36	41	51	48	48
50%	58	58	57	62	64	56	45	52	62	59	58
80%	65	65	64	69	71	62	50	57	69	66	65
100%	70	69	68	73	75	67	53	61	74	71	70
120%	74	73	72	78	80	71	55	65	79	75	74
150%	81	80	79	85	88	78	57	69	86	82	81
Middel afstrømning til vandløb [mm/år]											
KE_0	166	161	148	229	294	119	40	74	241	191	158
SC_1	154	149	136	217	282	107	28	62	228	179	146
0%	177	173	159	241	306	130	50	85	252	203	170
50%	161	157	144	225	289	114	36	70	236	187	154
80%	152	147	134	215	280	105	27	61	226	177	144
100%	145	141	128	208	273	99	23	55	220	171	138
120%	139	135	121	202	266	92	20	49	213	164	131
150%	129	125	112	192	256	83	17	44	203	155	122

13.4.2 Sommervandføring

Tabel 58 viser fordelingen af sommervandføringen på delområder opgjort efter vandløbsmålsætninger. Sommervandføringen (eller minimums vandføringen) sammenholdt med vandbalancen viser at en stor del af afstrømningen (op til 80%), selv om sommeren, foregår fra øvre sekundære magasiner, hvor det bliver ledt over til dræn systemet før det bliver ledt ud i vandløbet. Forskellen i afstrømning mellem scenariet hvor der ikke indvindes (0%) og scenariet hvor der indvindes 100% er på godt 20 mm, hvilket svarer til lidt under halvdelen af "100% indvindingen" (38 mm). Sommervandføringen er tilsyneladende ikke påvirket mere KE's indvindinger end de resterende indvindinger i området, idet scenario KE_0, hvor KE's kildepladser er lukkede, og scenario SC_1, hvor KE's kildepladser er neddroset til halv styrke, medfører sommerafstrømninger kan simuleres med tilsvarende indvindingsprocenter på 35 og 80% af reference indvindingen, jf. diskussionen ovenfor.

Tabel 58 Minimums vandføring fordelt efter vandløbs målsætninger

Sommerafstrømning [mm/år] opland 5							
Areal	Total	A	B1	B2	B3	CE	X
Afstrømning [%]	375 km ²	45 km ²	140 km ²	10 km ²	119 km ²	56 km ²	5 km ²
KE_0	0.95 m ³ /s	17%	34%	7%	33%	8%	0%
SC_1	72	99	69	192	74	37	1
0% (nul-ref)	64	87	65	174	62	31	1
50%	79	114	73	207	84	42	7
100%	69	94	67	181	70	35	1
150%	59	81	62	158	56	28	1
	50	72	57	132	41	24	1

13.4.3 Afsækning i forhold til kalkoverfladen

Tabel 59 viser de beregnede grundvandssækninger i forhold til kalkoverfladen indenfor delområdet. Der er på den skala modellen arbejder ikke noget der tyder på at der vil være og/eller opstå overordnede problemer af denne type. Set i forhold til den relativt tykke kvar-tære pakker (ofte 50-100 meter), der dækker det prækvartære magasin er det heller ikke forventet at der skulle være nogen overordnede problemer af denne type i dette område. Til trods for dette antyder areal opgørelserne, der er opsummeret i tabellen, at selv uden ind-vinding vil 2-3 % af oplandets areal have et grundvandsspejl der ligger under kalkoverfla-den. Dette areal øges fra 3% til 7% (svarende til 10-20 km²) ved kraftig indvinding (abs_150% svarer til 57 mm/år eller ca. 22 mill.m³/år). Det skal bemærkes at modellen ikke er konstrueret til at forudsige lokale afsækninger, og at beregning af lokale afsækninger kan være behæftet med betydelig usikkerheder. Desuden er der ikke taget højde for sæ-sonmæssige variationer nettonedbør eller lokale fluktuationer i indvinding mønsteret.

Tabel 59 Afsækninger i forhold til kalkoverfladen

Afsækning i procent									
opl_5		abs_150	abs_120	abs_100	abs_80	abs_50	abs_0	KE_0	SC_1
Afs_kalk	> 5 m	5.6	4.3	3.7	3.5	2.9	2.1	2.4	3.5
	2 - 5 m	0.5	0.0	0.5	0.3	0.5	0.8	0.5	0.5
	0.5 - 2 m	0.0	0.5	0.0	0.3	0.0	0.0	0.5	0.3
	0 - 0.5 m	0.3	0.3	0.0	0.3	0.3	0.0	0.0	0.0
	< 0 m	93.6	94.9	95.7	95.7	96.3	97.1	96.5	95.7

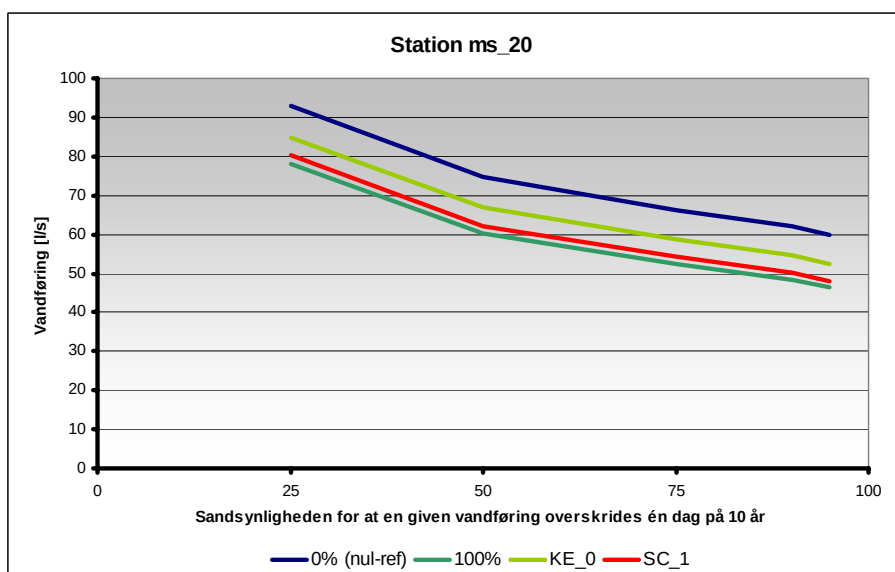
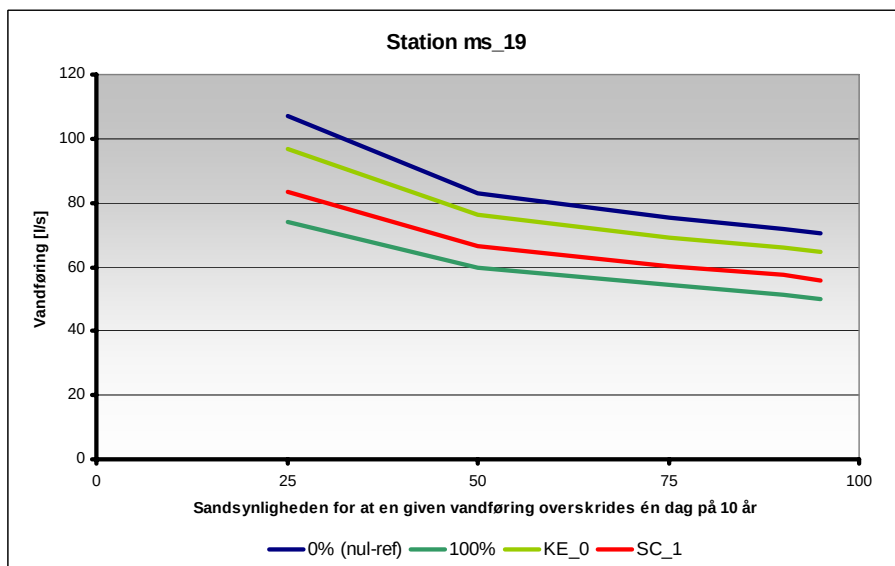
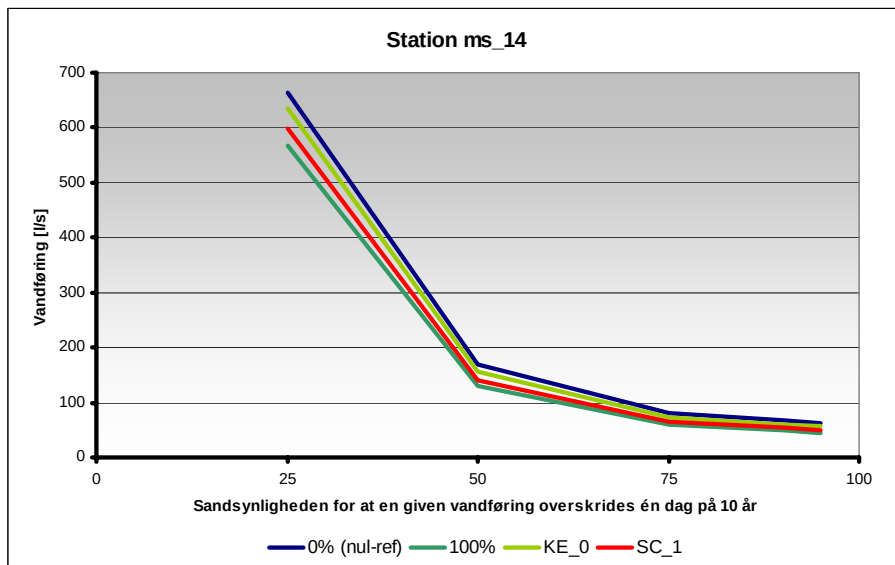
13.4.4 Varighedskurver for vandføringsstationer

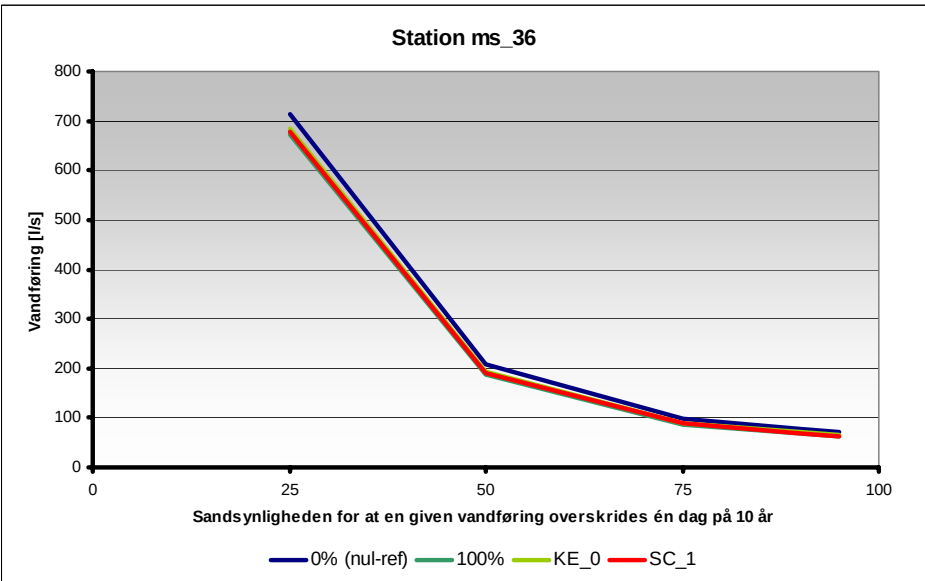
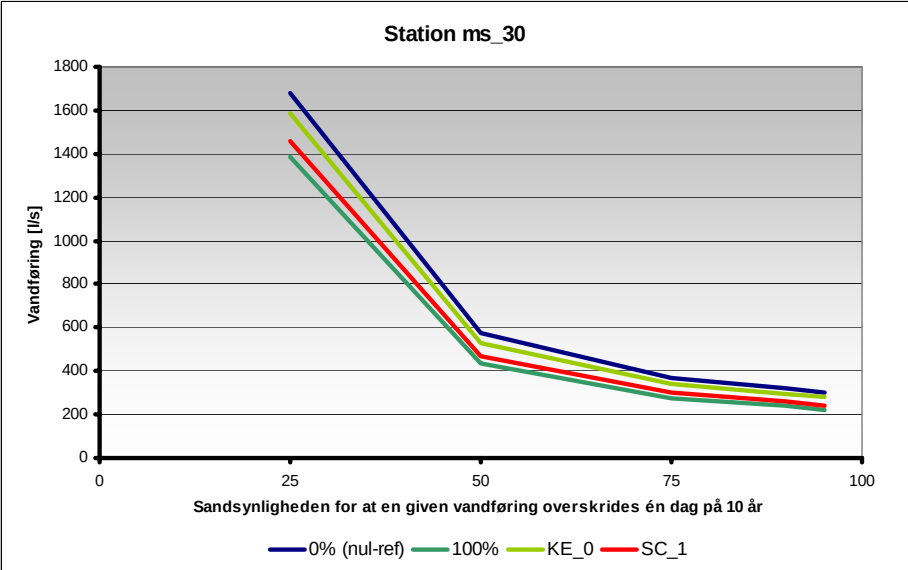
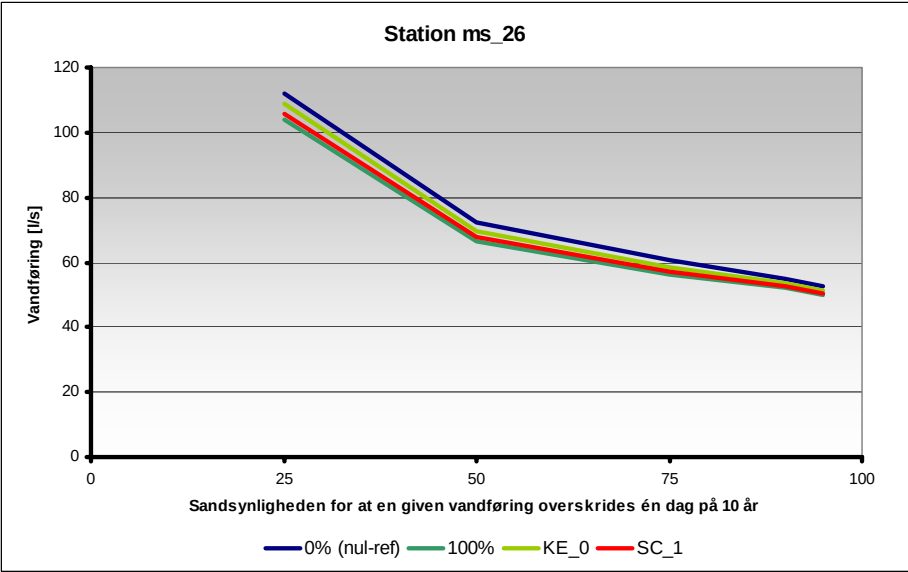
Varighedskurverne for de forskellige scenarier og forskellige vandføringsstationer indenfor delområdet er vist i det følgende. Stationerne Q52.26 og Q52.30 udviser de største relative påvirkning som følge af ændringer i indvinding. For de resterende vandføringsstationer er der kun meget beskedne påvirkninger, som er størst i den høje ende af skalaen, dvs. ved store vandføringer.

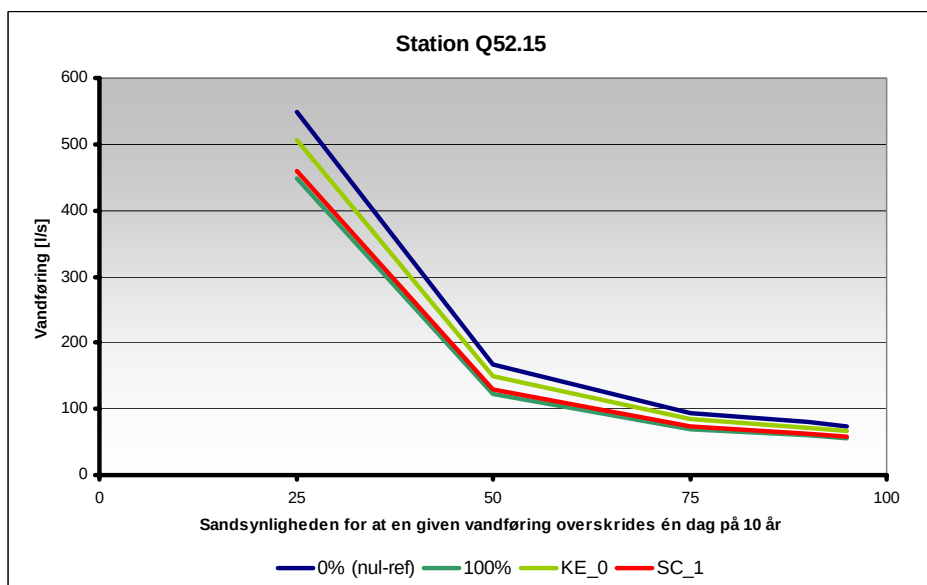
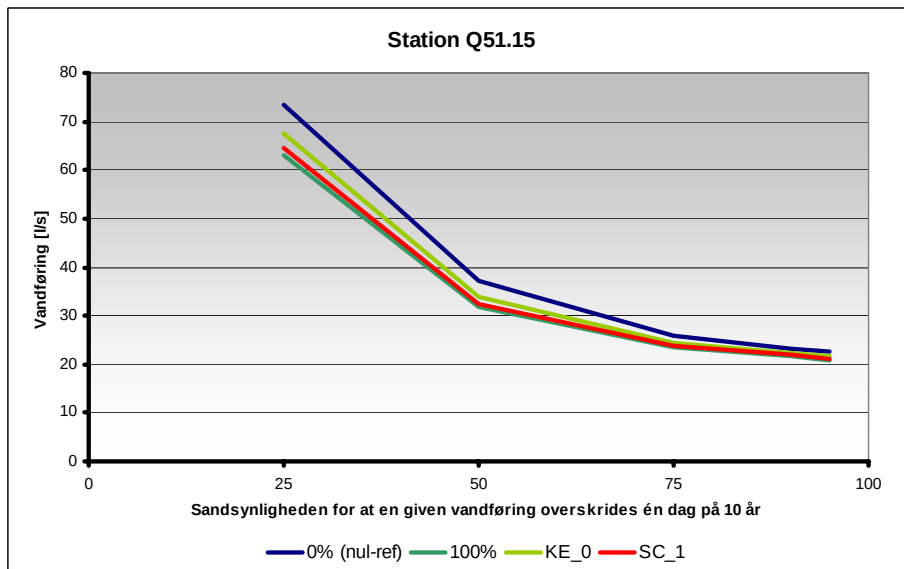
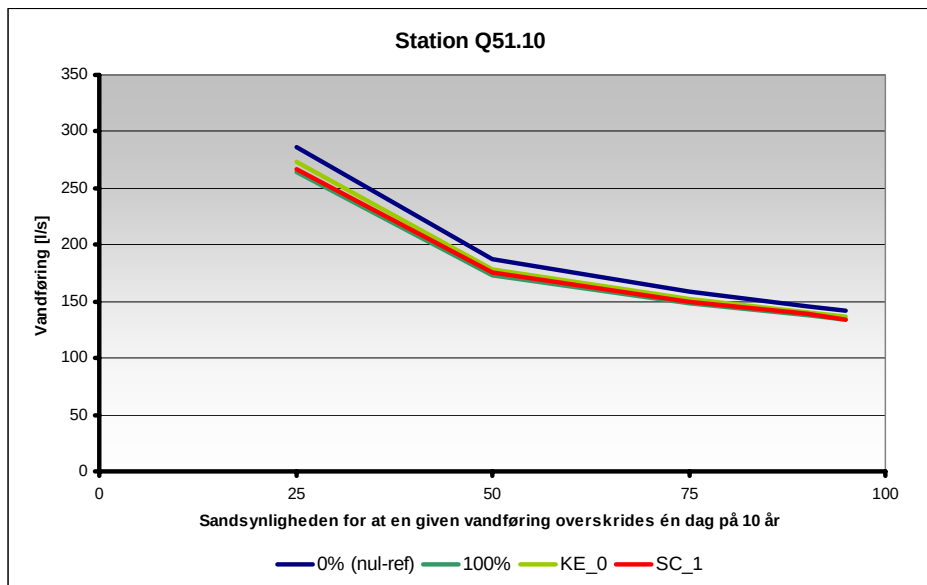
Tabel 60 indeholder en liste med værdierne, som danner baggrund for nedenstående figu-rer over varighedskurver. Det skal bemærkes igen, at DK-modellen formodentligt har svært ved at simulere de eksakte vandføringsværdier, mens der nok er bedre muligheder for at simulere de relative forandringer i vandføringer.

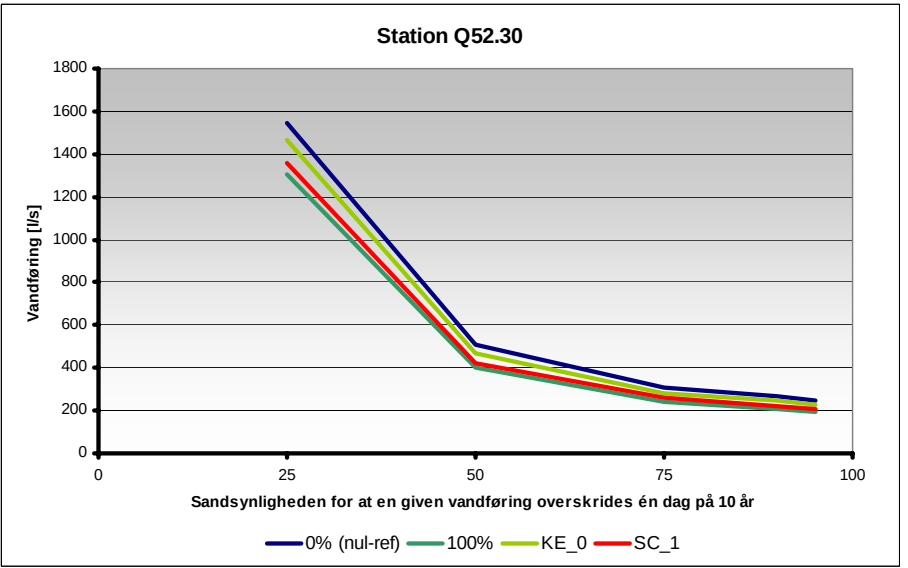
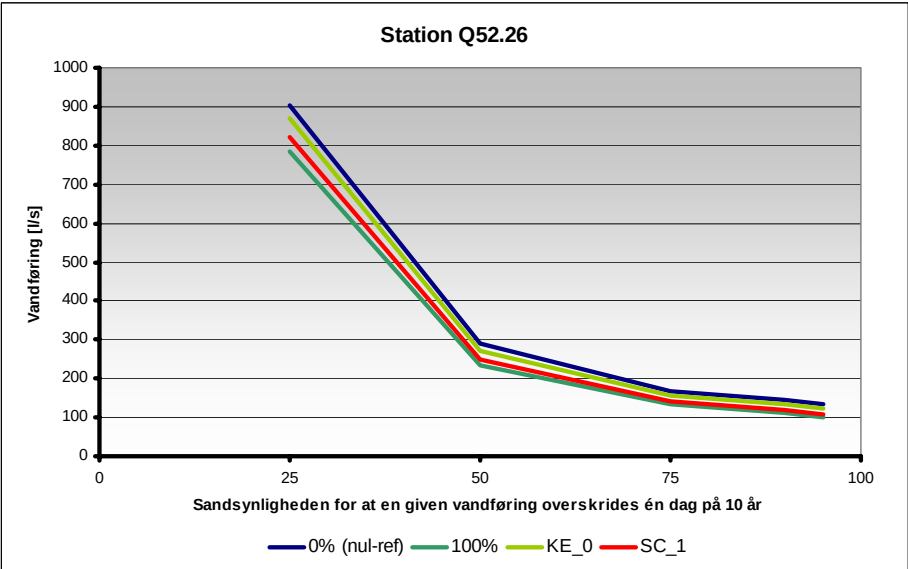
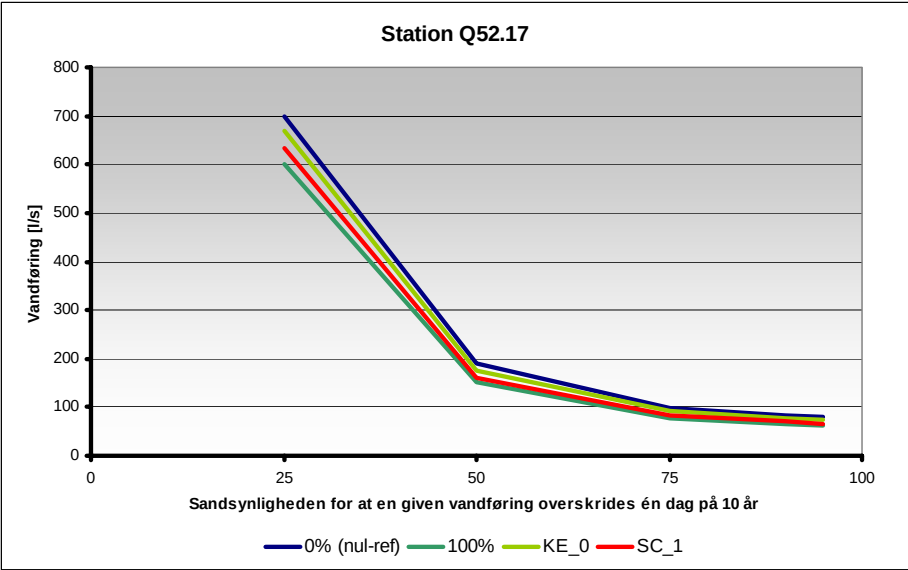
Tabel 60 Varighedskurve data for vandføringsstationer

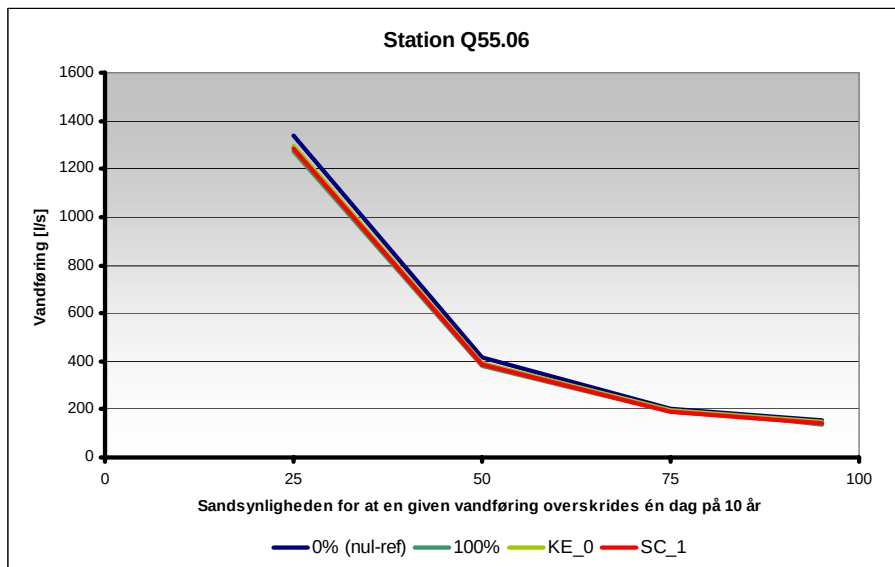
Scenario	Q-station	Hydrograf statistik								
		Maks	Perc_05	Perc_10	Perc_25	Perc_50	Perc_75	Perc_90	Pec_95	Min
0% (nul-ref)	ms_14	3179	1422	1131	664	168	80	67	62	56
100%	ms_14	2966	1309	1018	568	129	61	49	45	38
KE_0	ms_14	3115	1395	1097	636	155	73	61	56	49
SC_1	ms_14	3032	1349	1052	599	140	66	54	50	42
0% (nul-ref)	ms_19	318	165	138	107	83	75	72	70	67
100%	ms_19	285	126	102	74	60	54	51	50	46
KE_0	ms_19	309	154	128	97	76	69	66	65	61
SC_1	ms_19	295	137	113	83	66	60	57	56	52
0% (nul-ref)	ms_20	382	156	125	93	75	66	62	60	57
100%	ms_20	367	142	110	78	60	52	48	47	43
KE_0	ms_20	373	148	117	85	67	59	55	52	49
SC_1	ms_20	369	144	112	80	62	54	50	48	45
0% (nul-ref)	ms_26	486	202	163	112	72	60	55	53	49
100%	ms_26	480	193	154	104	67	56	52	50	46
KE_0	ms_26	483	198	159	109	70	58	54	51	47
SC_1	ms_26	481	195	156	106	68	57	53	50	47
0% (nul-ref)	ms_30	8394	3312	2674	1681	576	368	322	304	284
100%	ms_30	7287	2936	2299	1384	437	276	239	223	203
KE_0	ms_30	8038	3188	2548	1584	529	338	296	279	258
SC_1	ms_30	7555	3020	2382	1456	466	298	258	242	222
0% (nul-ref)	ms_36	3358	1389	1147	715	207	97	77	70	54
100%	ms_36	3245	1339	1094	673	187	86	68	61	45
KE_0	ms_36	3288	1355	1110	685	193	90	71	65	48
SC_1	ms_36	3264	1347	1101	679	189	88	69	63	47
0% (nul-ref)	q51.10	1085	489	399	286	187	158	146	142	135
100%	q51.10	1003	459	373	264	173	148	138	134	126
KE_0	q51.10	1030	471	383	273	178	152	141	137	130
SC_1	q51.10	1008	463	377	267	175	149	139	135	128
0% (nul-ref)	q51.15	336	141	112	73	37	26	23	23	22
100%	q51.15	300	128	99	63	32	24	22	21	19
KE_0	q51.15	311	133	104	68	34	25	22	22	21
SC_1	q51.15	302	130	101	64	33	24	22	21	20
0% (nul-ref)	q52.15	2979	1094	876	548	167	93	79	74	68
100%	q52.15	2472	931	742	447	122	70	60	55	50
KE_0	q52.15	2781	1030	824	507	150	84	72	67	62
SC_1	q52.15	2542	949	755	460	128	74	62	58	53
0% (nul-ref)	q52.17	3286	1473	1175	700	190	98	84	80	73
100%	q52.17	3070	1356	1059	601	150	78	66	61	54
KE_0	q52.17	3221	1448	1141	670	176	91	78	73	67
SC_1	q52.17	3136	1399	1094	633	161	84	71	66	59
0% (nul-ref)	q52.26	4286	1865	1479	903	290	169	143	133	121
100%	q52.26	3946	1723	1330	784	235	133	110	101	88
KE_0	q52.26	4191	1833	1431	868	271	156	132	122	110
SC_1	q52.26	4059	1774	1372	820	250	143	119	110	97
0% (nul-ref)	q52.30	7683	3087	2477	1546	507	306	265	249	230
100%	q52.30	6814	2791	2188	1307	401	243	207	193	174
KE_0	q52.30	7384	2971	2385	1467	468	284	245	230	211
SC_1	q52.30	7002	2855	2248	1361	422	258	220	205	187
0% (nul-ref)	q55.06	7145	2664	2175	1339	414	204	168	155	118
100%	q55.06	6827	2564	2086	1272	378	187	152	139	104
KE_0	q55.06	6985	2608	2122	1299	391	194	159	146	111
SC_1	q55.06	6897	2582	2101	1286	384	190	156	143	107











14. REGNEMARK – DELOMRÅDE 6

14.1 Område præsentation

14.1.1 Indvindinger

Området det afgrænset så det dækker indvindinger til Regnemark vandværk, svarende til kildepladserne: *Almsgård, Bøstofte, Gummersmark, Kimerslev, Nr_Dalby, Ravneshave, Slimminge, Spanager, Svenstrup, Valsømagle, Vigersted*, herudover er der medtaget 45 kildepladser alle med en årlig indvinding på over 25.000 m³/år. Reference oppumpningen (abs_100%) svarer til en middel indvinding for perioden 1990-1999, hvor KE's kildepladser udgør ca. 15 mill. m³/år, svarende til ca 72 % af den årlige indvinding indenfor området, i alt indvindes der i reference situationen godt 21 mill. m³/år.

Tabel 61 Opgørelse over indvindinger medtaget i modellen indenfor delområde 5; Bemærk at alle indvindinger er angivet i 1000 m³/år

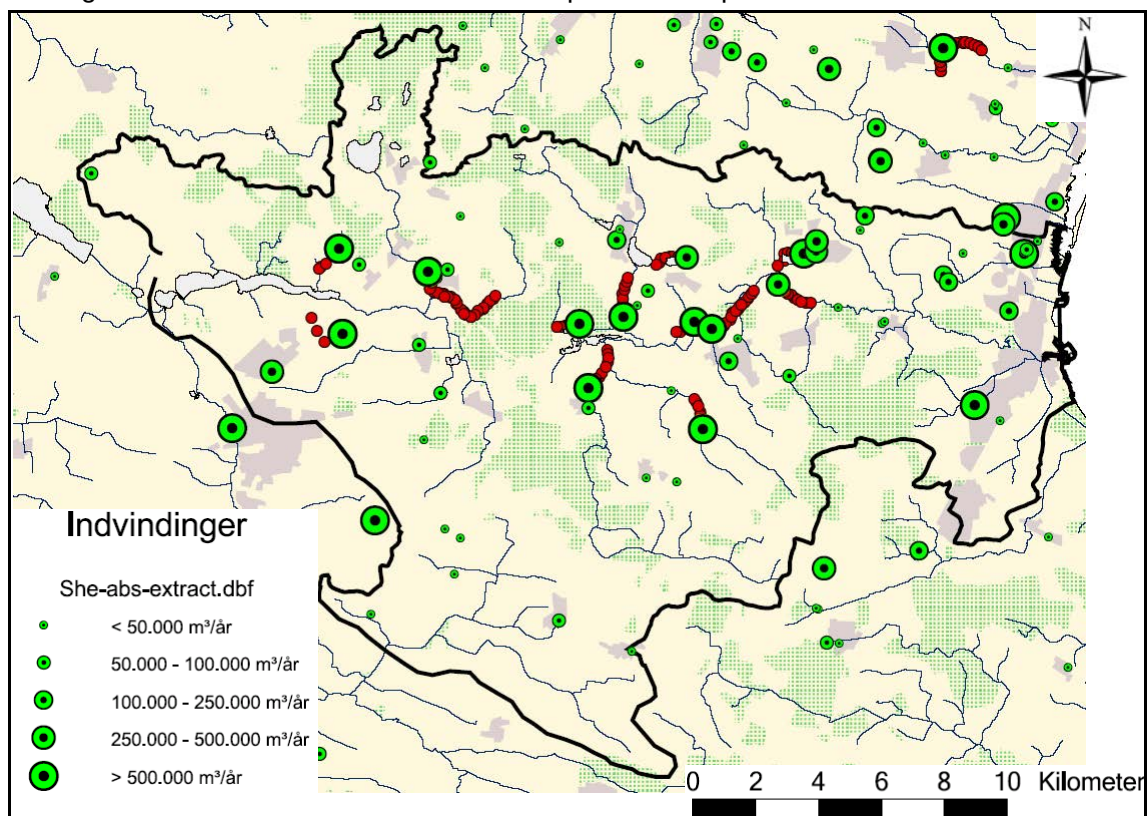
Kildeplads / vandværk	abs_100%	KE_0	SC_1
Regnemark /Almsgård	547	0	274
Regnemark /Bøstofte	513	0	256
Regnemark /Ejby	527	0	263
Regnemark /Gummersmarke	515	0	257
Regnemark /Kimerslev	1259	0	630
Regnemark /Nr_ Dalby	484	0	242
Regnemark /Ravneshave	2692	0	1346
Regnemark /Slimminge	1675	0	838
Regnemark /Spanager	402	0	201
Regnemark /Svenstrup	514	0	257
Regnemark /Valsømagle	618	0	309
Regnemark /Vigersted	5159	0	2580
Søndre alle` 6, Køge	1940	1940	1940
Matr.nr. 19-a, Ølby by, Højelse.	645	645	645
Benløse Runding VV	341	341	341
Ejby Vandværk	281	281	281
matr. nr 2b, 4a, 11 a-g-æ Ejby by	264	264	264
Asemose Vandværk almen	247	247	247
Vandværk ?	194	194	194
Vandværk ?	189	189	189
Junkers Industrier A/S	176	176	176
8-a, Ølby by, Højelse	157	157	157
Copenhagen Pectin A/S	113	113	113
Sum af mindre VV (under 100.000 m ³ /år) (34 stk)	1331	1331	1331

KE_0 svarer til den indvinding som er anvendt i KE_0 scenariet, dvs. det alternative nul-scenario hvor alle KE relaterede indvindinger er lukkede. SC_1 svarer til indvindingerne, der er anvendt under scenario 1, dvs. hvor indvindinger som ikke er relateret til KE er fast-

holdt på reference oppumpningen (abs_100%), mens KE's indvindinger i delområde 1 og 2 er forøget og KE's indvindinger i område 5 og 6 er formindsket.

Som en del af opgaven er indvindingerne fra KE's kildepladser blevet linie-fordelt efter placeringen af de enkelte borer på kildepladserne. Liniefordeling anvendes i modelsammenhæng når der ikke er de store forskelle på specifik indvinding fra de enkelte borer (eller usikre informationer), der indgår i linien, og så længe borerne er placeret langs en approksimativ line. Ved liniefordeling tilskrives alle model-celler langs linien en lige andel af kildepladsens totale indvinding, bestemt ud fra hvor mange celler der ligger langs linien.

De enkelte kildepladsers reference oppumpning er angivet med en grøn cirkel på nedenstående figur, hvor også placeringen af KE's borer på de enkelte kildepladser er angivet med røde prikker. Reference oppumpningen for KE's kildepladser er fordelt langs linien som de røde prikker (KE-borer) danner, selvom det af figuren kan se ud som om at indvindingen er koncentreret for enden af de respektive kildepladser.



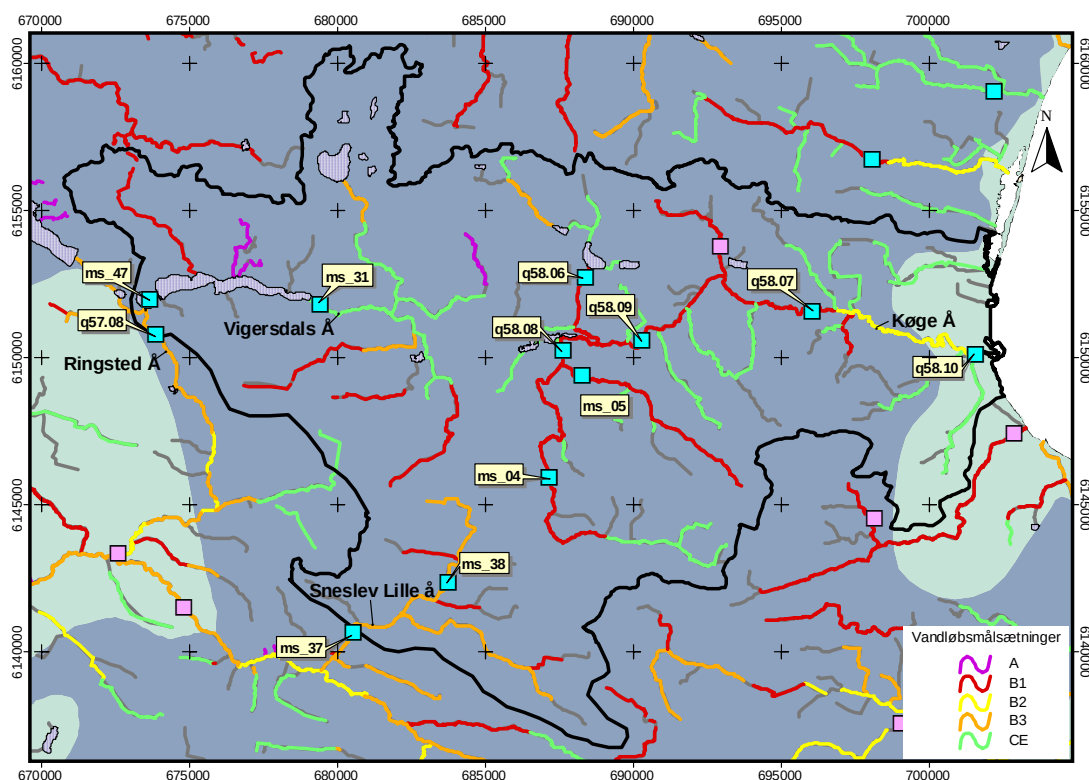
Figur 36 Afgrænsning af delolandet samt placering af størrelse af indvindinger

14.1.2 Vandløbssystem

Delolandet er afgrænset af det topografiske opland til hovedvandløbet Køge å og et delopland til Susåen, nemlig dele af Ringsted å og Sneslev Lille å. Det topografiske oplandet til disse vandløb er større end det approksimative indvindingsopland til KE's indvindinger indenfor området, men svarer samtidigt til det mindste fællesareal som vandløbsoplandene og indvindingsoplandene danner. Bestemmelse af det approksimative indvindingsopland er

dels baseret på partikelbane beregninger med DK-model Sjælland og dels baseret på tidligere opgørelser (KE kort materiale). Der er valgt at tage hensyn til vandløbsoplandene af to årsager, dels for at anvende samme principper, som blev brugt under ressource opgørelsen i Ferskvandets kredsløb (Henriksen og Sonnenborg, 2003) og dels fordi der i opgaven fokuseres på indvindingens påvirkning af vandføringer i vandløbene.

Oplandet til Køge å dækker ca. 1/3 del af hele oplandet og er for store dele målsat med B1 målsætninger. De mindre bi-vandløb til Ringsted Å er klasse A målsætte. Kun mindre dele af vandløbssystemet er ikke målsat (grå delstrækninger på figuren). Af figuren fremgår det også at stort set hele oplandet administrativt er udpeget som "område med særlig drikkevandsinteresser" (mørkeblåt).



Figur 37 Vandløb, vandløbs målsætninger og vandføringsstationer indenfor oplandet

Tabel 62 giver et overblik over hvilke stationer, som er medtaget i ressource beregningerne, samt arealet af de tilknyttede topografiske oplande. For flere af åerne er der medtaget flere end en vandføringsstation. Vandløbene er gennem placeringen af vandføringsstationerne opdelt i under-oplande, så det bliver muligt at bidrag og delbidrag fra både øvre og nedre dele af vandløbs netværket. Det er i dette opland, som i de øvrige oplande, forsøgt at finde balancen mellem en god opløsning af oplandets vandløbs netværk og en minimering af antallet af målestationer. Samtidigt er det tilstræbt at undgå under-oplande på mindre end 25 km², der forventes at udgøre den nedre grænse for modellens evne til at opløse vandbalancens del elementer, herunder vandløbsbidraget.

Stationer med Q betegnelse foran nummeret indgår i det nuværende måleprogram, dvs. at der eksisterer Q eller H data for hele eller dele af perioden 1989-2004. Stationerne med "ms_" betegnelse er enten stationer der indgår i fauna data programmet, men hvor der ikke

eksisterer Q eller H data, eller stationer der kun optræder virtuelt, dvs. i den hydrologiske model.

Netværk (størrelse)	Station
Køge å (134 km ²)	Q58.07
Køge å (17 km ²)	Q58.06
Køge å (181 km ²)	Q58.10
Køge å (98 km ²)	Q58.09
Ringsted å (Suså) (201 km ²)	Q57.08
Slimminge å (23 km ²)	ms_04
Slimminge å (55 km ²)	Q58.08
Sneslev li. Å (11 km ²)	ms_38
Sneslev li. Å (47 km ²)	ms_37
Sølvbækken (17 km ²)	ms_05
Vigerdals å (Suså) (120 km ²)	ms_47
Vigerdals å (Suså) (82 km ²)	ms_31

Tabel 62 Oplandsstørrelser og vandføringsstationer

14.1.3 Overordnet vandbalance

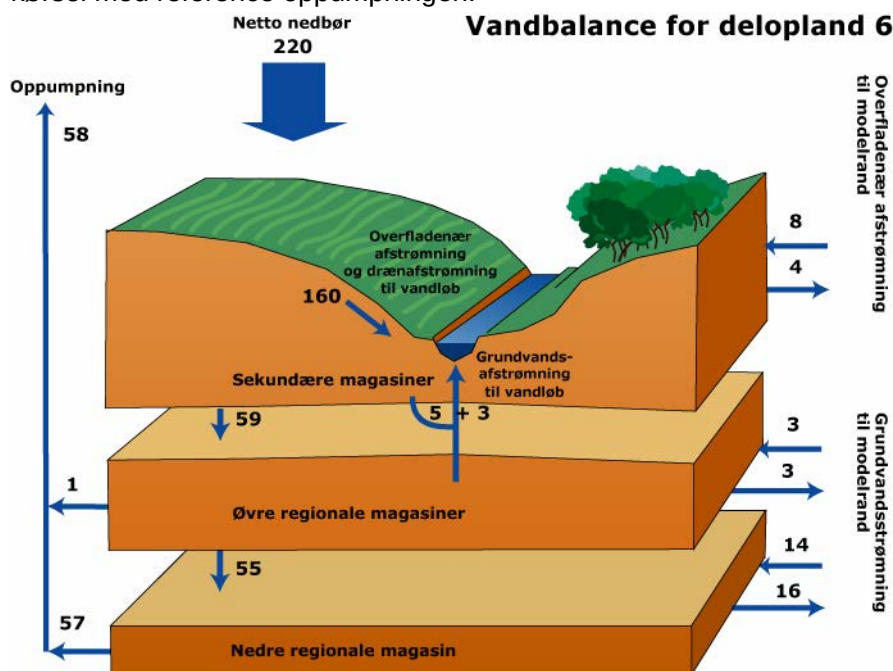
Vandbalancen for deloplandet er beregnet med en middelnedbør for perioden 1991-2000 med en stationær model (sjke-stat) og som en gennemsnits vandbalance for perioden 1991-2001 med en dynamisk model (sjke-dyn). I tabellen betyder "GVD" den positive grundvandsdannelse til de enkelte beregningslag. Alle tal er opgjort i mm/år.

Tabel 63 Overordnet vandbalance for deloplandet

WBL	B.Lag	Netnedbør	Rand-ind	Rand-ud	Magasin	GVD	Oppump	Dræn	Baseflow
sjke-dyn 1991 - 2001	1	-215.7	7.3	3.4	1.7	0.0	0.0	152.6	7.6
	2	0.4	0.0	0.0	-0.3	58.1	0.0	0.0	0.3
	3	0.0	2.2	2.2	-0.1	57.8	0.3	0.0	2.5
	4	0.0	0.0	0.1	0.0	54.6	0.0	0.0	0.0
	5	0.0	0.3	0.8	0.0	54.6	0.0	0.0	0.2
	6	0.0	0.0	0.0	0.0	53.9	0.0	0.0	0.0
	7	0.0	0.1	0.1	0.0	53.9	0.0	0.0	0.0
	8	0.0	0.0	0.0	0.0	53.9	0.0	0.0	0.0
	9	0.0	16.2	13.4	0.0	53.9	56.7	0.0	0.0
sjke-stat 1991 - 2001	1	-219.5	8.0	3.6	0.0	0.0	0.0	159.6	5.1
	2	0.0	0.0	0.0	0.0	59.5	0.0	0.0	0.4
	3	0.0	2.3	2.2	0.0	59.1	0.3	0.0	2.6
	4	0.0	0.1	0.1	0.0	55.8	0.0	0.0	0.0
	5	0.0	0.3	0.9	0.0	55.8	0.0	0.0	0.2
	6	0.0	0.0	0.0	0.0	55.0	0.0	0.0	0.0
	7	0.0	0.1	0.1	0.0	55.1	0.0	0.0	0.0
	8	0.0	0.0	0.0	0.0	55.0	0.0	0.0	0.0
	9	0.0	16.3	13.9	0.0	55.0	57.5	0.0	0.0

Det fremgår af vandbalancen, at der indvindes ca 1/4 af nettonedbøren indenfor området. En stor del af det hydrologiske kredsløb foregår i de øvre sekundære magasiner, dvs. i mindre magasiner som ikke har den store betydning, indvindingsmæssigt. Ca. 90-95 % af vandløbsafstrømningen stammer fra dræn eller overfladenær afstrømning. Grundvandsdannelsen til de øvre beregningslag (GVD) er på ca. 1/4 af nettonedbøren og lidt mindre til de dybere magasiner. Grundvandsdannelsen til de enkelte beregningslag (GVD) er tæt på at være konstant fra beregningslag 2 og ned, hvilket indikerer at der er en ekstrem styring af grundvandsdannelsen til kalken gennem beregningslag 2-8. Beregningslag 9 (prækvar-tæret) er det primære magasin inden for området og samtidigt det eneste magasin af væ-sentlig udbredelse. Der indvindes godt 120% af grundvandsdannelsen til dette magasin, og grundvandsdannelsen til beregningslag 9 øges fra ca. 15 mm/år til ca. 55 mm/år ved refe-rence indvindingen i forhold til en situation uden indvinding (nul-reference).

Det fremgår ligeledes af vandbalancen at delområdet hydrologiske afgrænsning ikke sam-stemmende med det hydrologiske opland til vandløbene, hvilket dels kan ses ved at indvin-dingen overstiger grundvandsdannelsen indenfor området og dels kan ses på at 10-20% af vandbalancen strømmer enten ind eller ud på tværs i dybden. Hoveddelen af ind og ud-strømningen sker fra kalk magasinet (beregningsslag 9) og det øvre magasin direkte til ha-vet (beregningsslag 1). Figur 38 viser de overordnede balance taget fra den stationære kørsel med reference oppumpningen.



Figur 38 Vandbalance for delopland 6

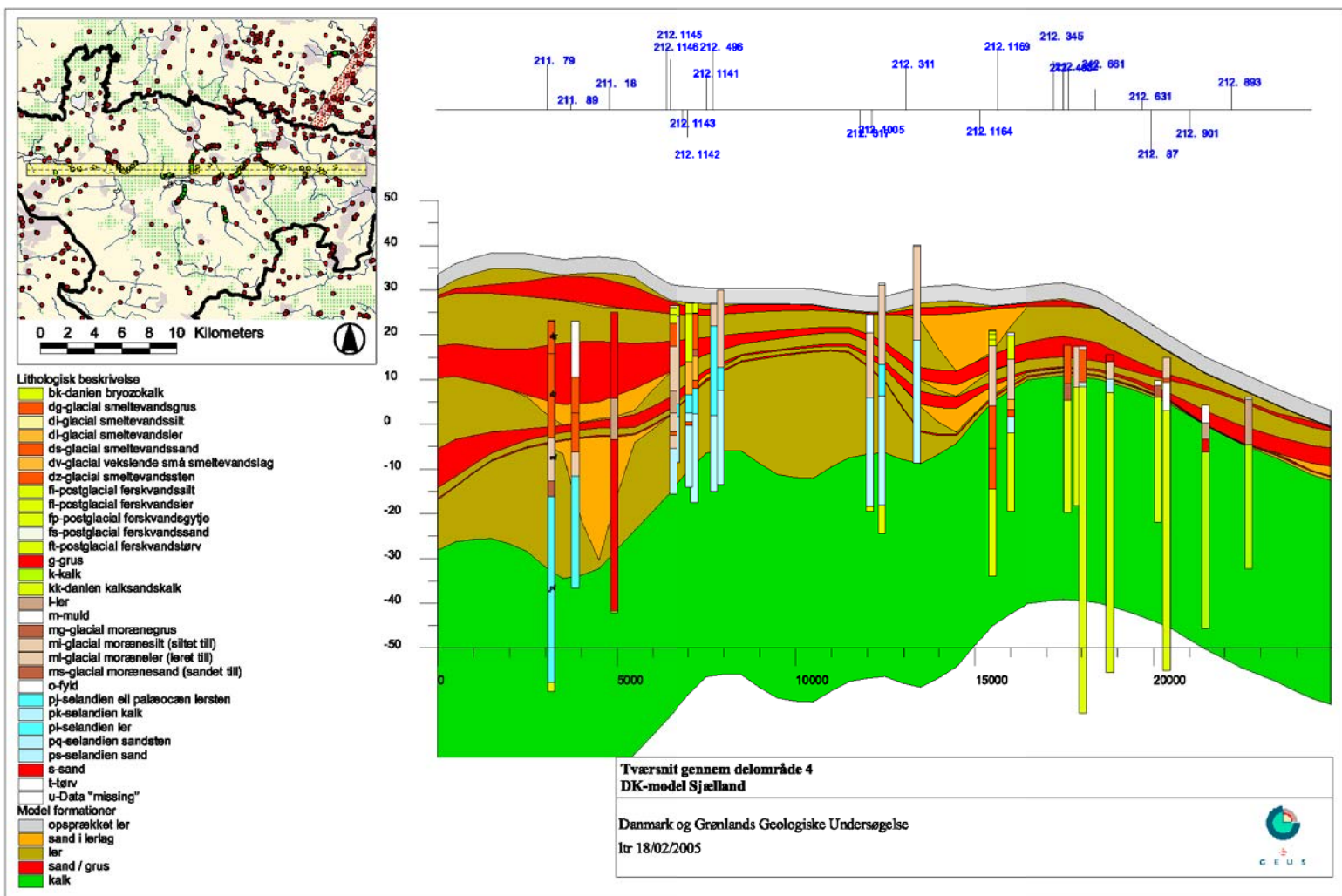
14.1.4 Geologisk konceptualisering

Det prækvar-tære er det primære magasin indenfor deloplandet. Langt den overvejende del af indvindingerne er filtersat i det prækvar-tære magasin. En lille restgruppe af indvindinger er filtersat i sandmagasiner og i de tilfælde drejer det sig primært om det øvre sandmaga-sin, som i modellen svarer til beregningslag 3. På Figur 39 ses et øst-vest tværsnit gennem området med den i modellen anvendte geologiske tolkning. Det skal bemærkes at de tre

øverste lag, hvoraf det ene er et forholdsvis udbredt sandmagasin, modelmæssigt er slået sammen til et enkelt beregningslag.

Modellen er opstillet i 1x1 km² grid, hvorfor der kan være indtil flere boringer indenfor et enkelt grid. De enkelte boringers geologiske logs er ikke overholdt direkte i modellen, derimod er de generelle tendenser forsøgt gengivet i modellen. Figuren er dannet ved at projicere boringsinformationer fra dybere boringer indenfor et 900 meter bælte langs et øst-vest gående transekt. Boringernes variation både topografisk og lithologisk i forhold til modellen kan ses som et udtryk for den generelle variabilitet, der ikke er repræsenteret som følge af den skala modellen dækker.

Figur 39 Geologisk tværsnit gennem deloplandet



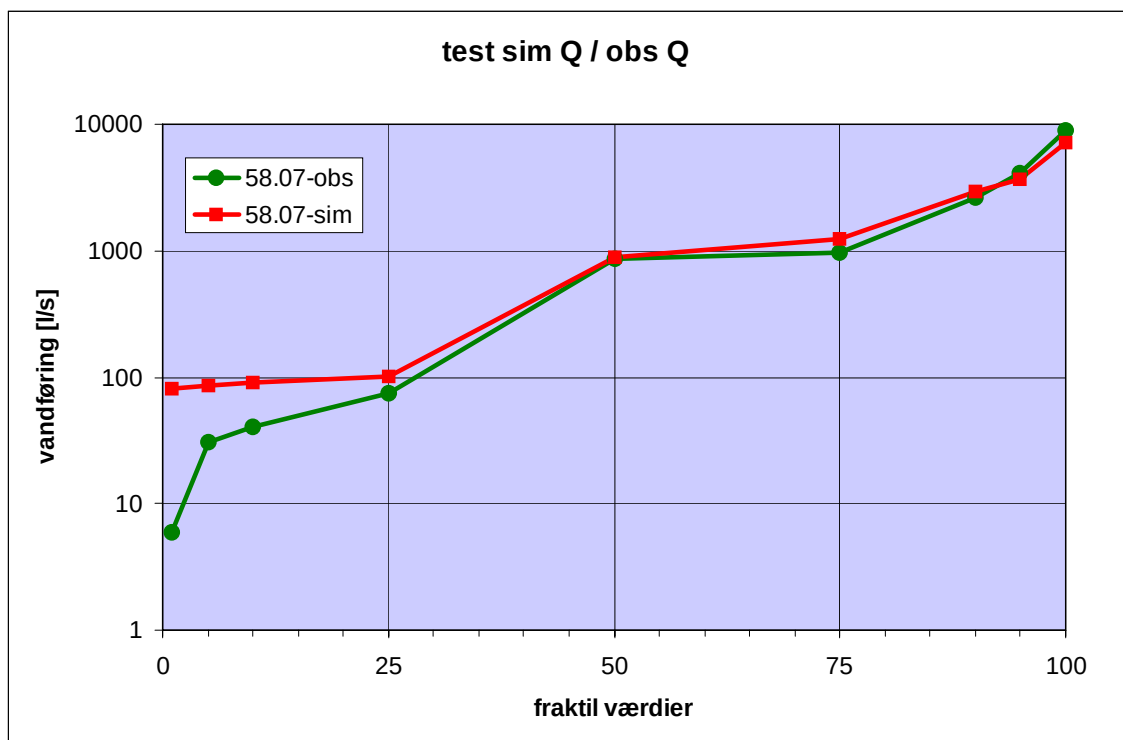
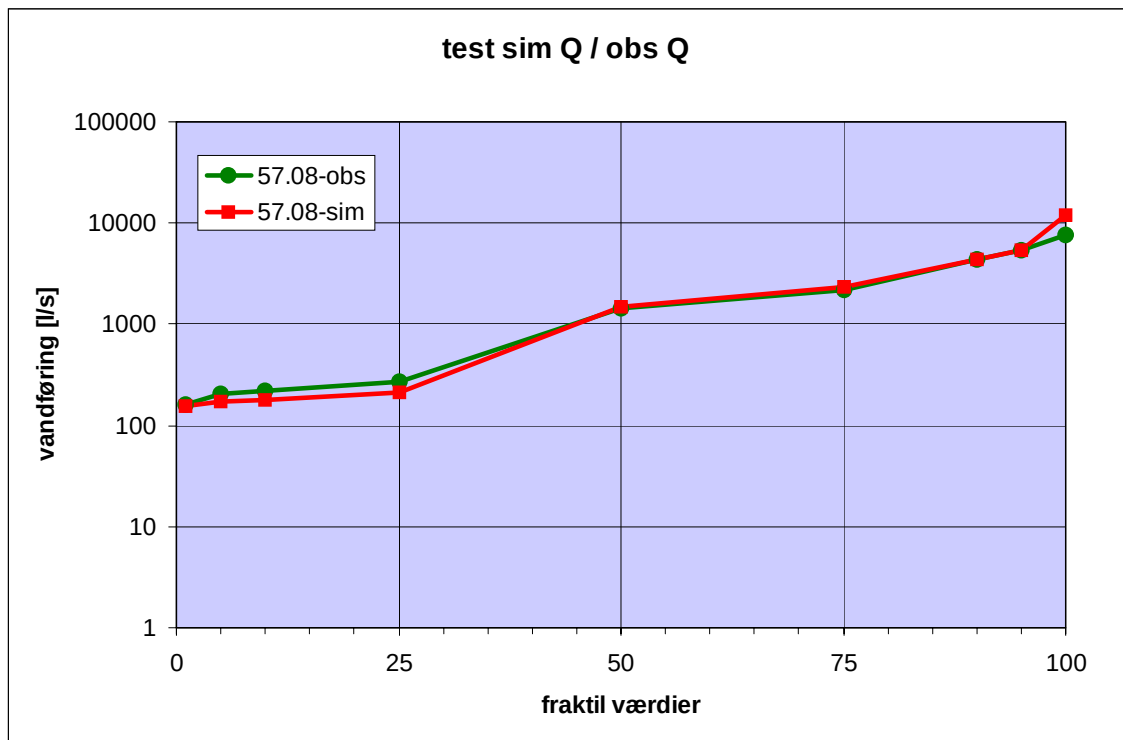
14.2 Model performance

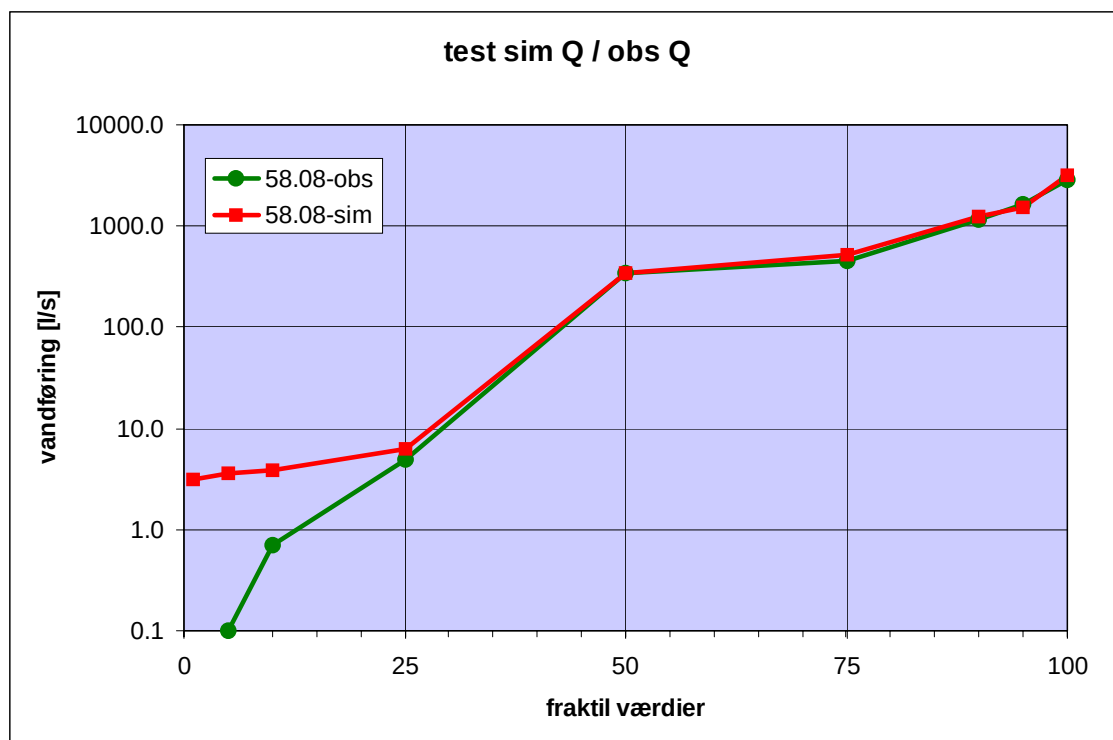
Der er ikke gennemført nogen egentlig kalibrering i forhold til deloplande, men modellen er generelt kalibreret for hele Sjælland herunder også deloplandene. Der er ikke noget i modellens evne til at simulere grundvandsstande og vandløbsafstrømninger der giver anledning til at udpege enkelte underområder som særligt problematiske. Indenfor dette delopland er kun vandføringsstation Q58.08, der er blevet brugt direkte i kalibreringen. Ved dette valg dækkes ca. 1/7 del (55 km²) af oplandet (375 km²), men de resterende stationer er enten vurderet som havende et for lille tilknyttet opland eller med forstyrrende reguleringer – begge dele er problematisk at simulere direkte. Hertil kommer at de gamle modelgrænser krydsede tværs gennem opland 6, hvorfor de fleste af vandløbene har været vurderet mindre egnede til modelkalibrering. I ressource opgørelsen og scenarierne er det således blevet valgt at fokusere på relative forandringer som følge af ændrede betingelser.

For at vurdere modellens evne til at simulere varighedskurver for de enkelte vandføringsstationer, er der foretaget visuelle sammenligninger af varighedskurver for de vandføringsstationer hvor vandføringsdata var tilgængelige. Varighedskurverne dækker valideringsperioden (1988-1996) i det omfang at der var data for hele perioden.

Tabel 64 Modellens evne til at simulere vandføringer

Mål	Stationer		
	Q57.08	Q58.07	Q58.08
<i>R²</i>	0.80	0.86	0.88
<i>Obs-95% fraktil</i>	205	31	0
<i>Sim-95% fraktil</i>	169	87	4
<i>Obs-90% fraktil</i>	218	40	1
<i>Sim-90% fraktil</i>	179	91	4
<i>Obs-75% fraktil</i>	268	75	5
<i>Sim-75% fraktil</i>	208	102	6
<i>Obs-25% fraktil</i>	2216	961	447
<i>Sim-25% fraktil</i>	2310	1251	522
<i>Obs-10% fraktil</i>	4356	2606	1172
<i>Sim-10% fraktil</i>	4367	2942	1236
<i>Obs-5% fraktil</i>	5403	4130	1628
<i>Sim-5% fraktil</i>	5341	3690	1535





14.3 Indikator mål og ressource opgørelse

I ressource opgørelsen er der beregnet grundvandsdannelser til øvre det primære magasin (beregningsslag 3) ved forskellige indvindings scenarier. Som i Ferskvandets kredsløb er grundvandsdannelsen beregnet ved indvindinger svarende til 0, 50, 80, 100, 120 og 150 % af reference indvindingen. Herudover er regnet på to scenarier, et hvor KE's kildepladser er slukkede (KE_0) og et hvor KE's kildepladser indenfor dette område har overtaget halvdel af reference indvindingen fra delområde 5 (SC_1). Ud over ændringer i indvindingen og indvindingsstrukturen er det blevet regnet varige klimatiske variationer, svarende til det andet tørreste år indenfor 10 års perioden 1991-2000, samt det tredje vådeste år indenfor samme periode.

Tabel 65 Ressource opgørelse for deloplandet (indikator 1 – 3)

Omåde		sjke-opl_6			
Areal		359 km ²			
Reference oppumpning (100%)		58 mm/år			
Periode					
Nettonedbør		Middel	Tør	Våd	
		221 mm/år	117 mm/år	335 mm/år	
Bæredygtigt indvinding (procent af oppumpning)					
Indikator 1(abs/gvd_uop<35%)		13%	14%	13%	
Indikator 2(abs/gvd<30%)		20%	20%	10%	
Indikator 3 (middel.afst.)		40%	20%	60%	
Indikator 3_relativt til Nu		140%	110%	170%	
Scenario		Grundvandsdannelse til beregningslag 3 [mm/år]			
Oppumpning [mm/år]					
KE_0		16	35	36	35
SC_1		37	48	49	47
0%		0	22	23	22
50%		29	39	39	38
80%		46	51	51	51
100%		58	59	59	59
120%		69	67	66	67
150%		87	77	73	78
		Middelafstrømning til vandløb [mm/år]			
KE_0		16	194	89	308
SC_1		37	180	74	295
0%		0	215	109	329
50%		29	191	85	305
80%		46	177	71	291
100%		58	168	62	282
120%		69	159	54	273
150%		87	148	47	261

Grundvandsdannelsen og ændringer i grundvandsdannelsen bruges i beregning af indikator 1 og 2. Både indikator 1 og 2 peger i retningen af at grundvandsdannelsen til de øvre magasiner påvirkes noget af indvindingen inden for området, med ringe følsomhed overfor tørre og våde klimatiske situationer. Begge indikatorer antyder at der indvindes 5-8 gange for meget. Dette bekræftes til dels af indikator 3 og 4. Ændringer i middelafstrømningen bruges i beregning af indikator 3. Indikator tre viser ved hvilken procentvis udnyttelse af reference indvindingen at der sker netop 10% ændring af middelafstrømningen i forhold til den upåvirkede situation (dvs. uden indvinding). Indikator 3 antyder at ændringer i middelafstrømningerne ikke er det største problem indenfor området, og at middelafstrømningerne er meget følsomme overfor klimatiske ændringer. Indikator 4 (highlighted) antyder at det specielt er de klasse B1 målsatte vandløb, som begrænser i ressource opgørelsen. I beregning af indikator 3' er det antaget at den nuværende vandføring er acceptabel, hvorfor denne bruges som udgangspunkt for beregninger, dvs. den maksimale påvirkning er 10% af nuværende vandføring. Indikator 3' viser at den bæredygtige indvinding kan øges med op til 40% i forhold til den nuværende situation, igen med megen følsomhed overfor klimatiske variationer.

Tabel 66 Ressource opgørelse for deloplandet (indikator 4)

opl_6		A	B1	B2	B3	CE	X
Areal	359 km ²	24 km ²	135 km ²	9 km ²	56 km ²	124 km ²	11 km ²
Afstrømning [%]	0.54 m ³ /s	10%	27%	6%	19%	38%	1%
Afstrømnings ændringer [% i forhold til situation uden oppumpning]							
SC_1 / KE_0	13%	9%	15%	2%	12%	15%	32%
SC_1 / NON	32%	16%	31%	50%	30%	35%	58%
SC_1 / REF	-14%	-8%	-13%	-2%	-10%	-19%	-41%
abs_non	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
abs_50%	24%	12%	25%	30%	23%	26%	42%
abs_100%	40%	22%	39%	51%	37%	45%	70%
abs_150%	52%	32%	50%	57%	46%	61%	86%

Tabel 66 viser at B1 målsatte vandløbsstrækninger har et opland der dækker ca. 1/3 del af hele oplandet. Klasse X målsatte vandløbsstrækninger (primært øvre strækninger af Køge å) dem som er mest følsomme overfor ændringer i indvinding, men set i forhold til målsætningsklassen er det alligevel B1 målsatte vandløbsstrækninger, som vil udgøre den begrænsende faktor.

14.4 Baggrundstal

14.4.1 Grundvandsdannelse og middel afstrømning

Tabel 67 viser beregnede grundvandsdannelser og middel vandføringer ved forskellige indvindings scenarier og forskellige nedbørs situationer. Nedbørs "året" henviser ikke til et bestemt års situation, men udelukkende at beregningerne er foretaget med en nettonedbør, der svarer til de enkelte år. Det er i beregningerne antaget at der er opnået steady-state, dvs. at grundvandsstanden og nettonedbøren er uforandret i længere tid.

Tabellen indikerer, at klimatiske variationer vil have ringe indflydelse på grundvandsdannelse i forhold til ændringer i indvindinger. Til gengæld udviser middelaflstrømningerne betydelig følsomhed overfor klimatiske variationer. De tilsyneladende variationer i grundvandsdannelse og middelaflstrømning er ikke et udtryk for år til år variationer, men skal ses som en situation der vil kunne opstå ved stationære tilstande med de tilhørende nedbørsmængder.

En total lukning af KE's kildepladser (scenario KE_0) resulterer i en grundvandsdannelse og middelaflstrømning, der svarer til grundvandsdannelsen og middelaflstrømningen ved en total neddrogning til 30-35%. Der er således ikke noget der tyder på at grundvandsdannelse eller vandføring er mere følsom overfor ændringer på KE's kildepladser end på de resterende kildepladser i området, idet KE's kildepladser indvinder godt 70 % (48 mm/år) af den totale indvundne mængde indenfor området (Tabel 61). Dette bekræftes delvist af scenario 1 (SC_1) hvor KE's indvindinger inden for området er neddroglet til halvdelen af reference indvindingen (indvindes totalt 74% af reference indvindingen) (se Tabel 65). Model simuleringerne KE_0 og SC_1 antyder at KE's indvindings struktur ikke giver større påvirkninger

af vandføringer og grundvandsdannelser, i hvert fald ikke større "årlig opgjorte" påvirkninger.

Tabel 67 Grundvandsdannelse og afstrømning til vandløb

Opgørelse af grundvandsdannelse Indikator 1, 2 og 3		Opgørelse for opland 6									
Basis parametre for området		Areal	359 km ²	Oppump	58 mm/år						
Nedbør [Årstal]	1991-2000	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Nedbør [mm]	221	217	189	335	373	167	84	117	277	240	181
Grundvandsdannelse til øvre regionale magasin [mm/år]											
KE_0	35	35	35	35	35	35	36	36	35	35	35
SC_1	48	48	48	47	47	48	49	49	47	47	47
0%	22	22	22	22	22	22	23	23	22	22	22
50%	39	39	39	38	38	39	40	39	38	39	39
80%	51	51	51	51	50	51	51	51	50	51	51
100%	59	59	59	59	59	59	58	59	59	59	59
120%	67	67	67	67	67	67	62	66	67	67	67
150%	77	77	76	78	78	76	66	73	77	77	76
Middel afstrømning til vandløb [mm/år]											
KE_0	194	190	163	308	347	140	54	89	251	213	155
SC_1	180	176	149	295	333	126	39	74	237	199	141
0%	215	210	183	329	367	161	74	109	272	233	175
50%	191	187	160	305	344	137	50	85	248	210	152
80%	177	173	146	291	330	123	37	71	234	196	138
100%	168	163	137	282	321	114	29	62	225	187	129
120%	159	155	128	273	312	105	24	54	216	178	120
150%	148	144	118	261	300	96	20	47	205	167	110

14.4.2 Sommervandføring

Tabel 68 viser fordelingen af sommervandføringen på delområder opgjort efter vandløbsmålsætninger. Sommervandføringen (eller minimums vandføringen) sammenholdt med vandbalancen viser at en stor del af afstrømningen (op til 80%), selv om sommeren, foregår fra øvre sekundære magasiner, hvor det bliver ledt over til dræn systemet før det bliver ledt ud i vandløbet. Forskellen i afstrømning mellem scenariet hvor der ikke indvindes (0%) og scenariet hvor der indvindes 100% er på godt 19 mm, hvilket svarer til godt 1/3 del af "100% indvindingen" (58 mm). Sommervandføringen er tilsyneladende påvirket marginalt mere af KE's indvindinger end de resterende indvindinger i området, idet scenario KE_0, hvor KE's kildepladser er lukkede, og scenario SC_1, hvor KE's kildepladser er neddroglet til halv styrke, medfører sommerafstrømninger kan simuleres med tilsvarende indvindingsprocenter på 45% og 75% af reference indvindingen, jf. diskussionen ovenfor.

Tabel 68 Minimums vandføring fordelt efter vandløbs målsætninger

Sommerafstrømning [mm/år] opland 6							
	Total	A	B1	B2	B3	CE	X
Areal	359 km ²	24 km ²	135 km ²	9 km ²	56 km ²	124 km ²	11 km ²
Afstrømning [%]	0.54 m ³ /s	10%	27%	6%	19%	38%	1%
KE_0	37	62	27	55	45	40	7
SC_1	32	57	23	54	40	34	4
0% (nul-ref)	47	67	34	107	57	53	11
50%	36	59	25	75	44	39	6
100%	28	52	21	53	36	29	3
150%	23	46	17	46	31	21	2

14.4.3 Afsækning i forhold til kalkoverfladen

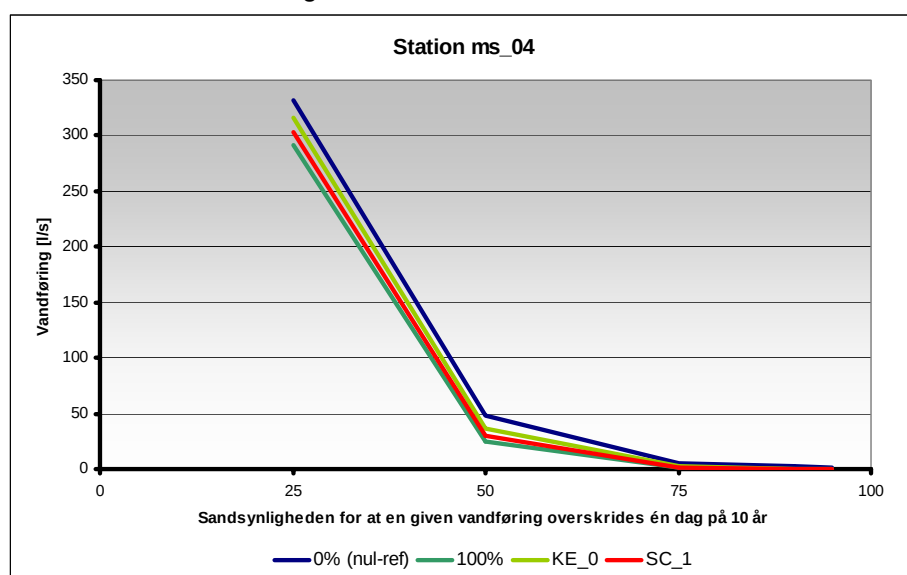
Tabel 69 viser de beregnede grundvandssækninger i forhold til kalkoverfladen indenfor delområdet. Der er på den skala modellen arbejder ikke noget der tyder på at der vil være og/eller opstå overordnede problemer af denne type. Set i forhold til den relativt tykke kvar-tære pakker (ofte 50-100 meter), der dækker det prækvartære magasin er det heller ikke forventet at der skulle være nogen overordnede problemer af denne type i dette område. Til trods for dette antyder areal opgørelserne, der er opsummeret i tabellen, at den nuværende indvinding kan øges op til 120% uden at det der afsækkes til under kalkoverfladen. Men ved kraftig øget indvinding (øget fra 120% indvinding til 150% indvinding svarende til fra 25 mill.m3/år til 31 mill.m3/år) vil det afsækede areal øges fra 1% til 15% (svarende til fra 3 km² til 50-60 km²). Det skal bemærkes at modellen ikke er konstrueret til at forudsige lokale afsækninger, og at beregning af lokale afsækninger kan være behæftet med betydelig usikkerheder. Desuden er der ikke taget højde for sæsonmæssige variationer nettonedbør eller lokale fluktuationer i indvinding mønsteret.

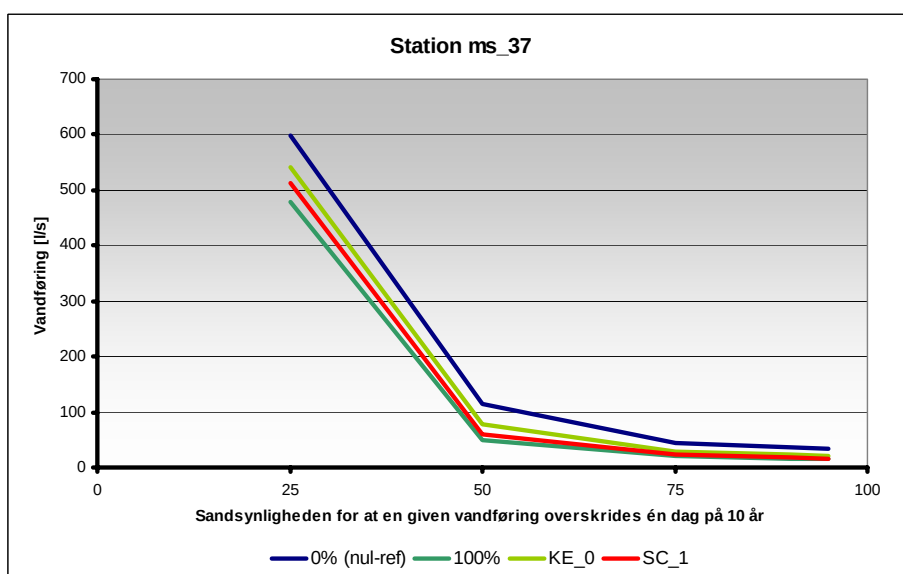
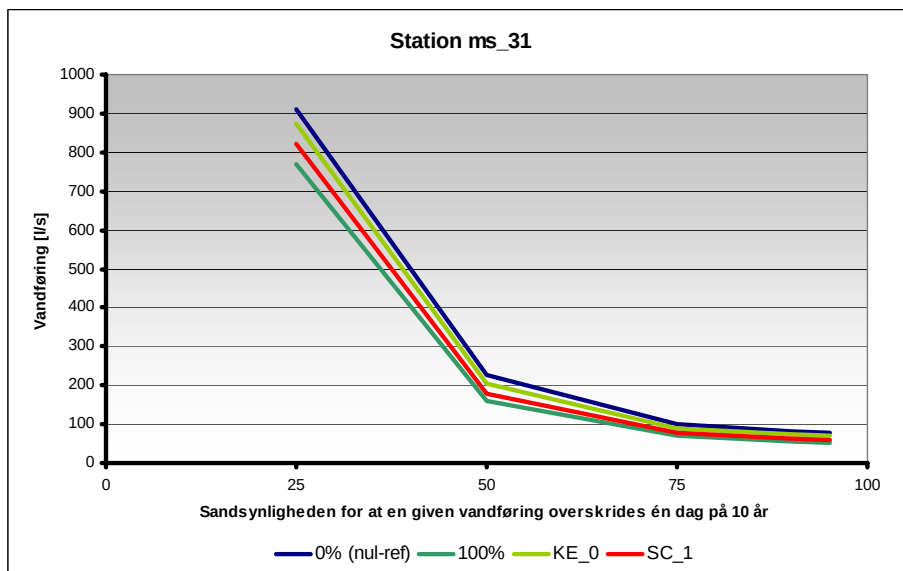
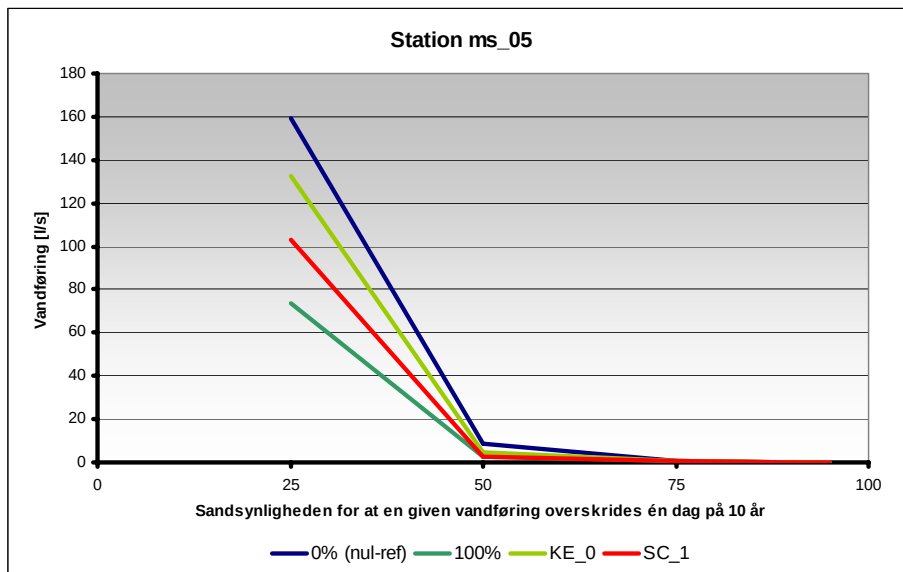
Tabel 69 Afsækninger i forhold til kalkoverfladen

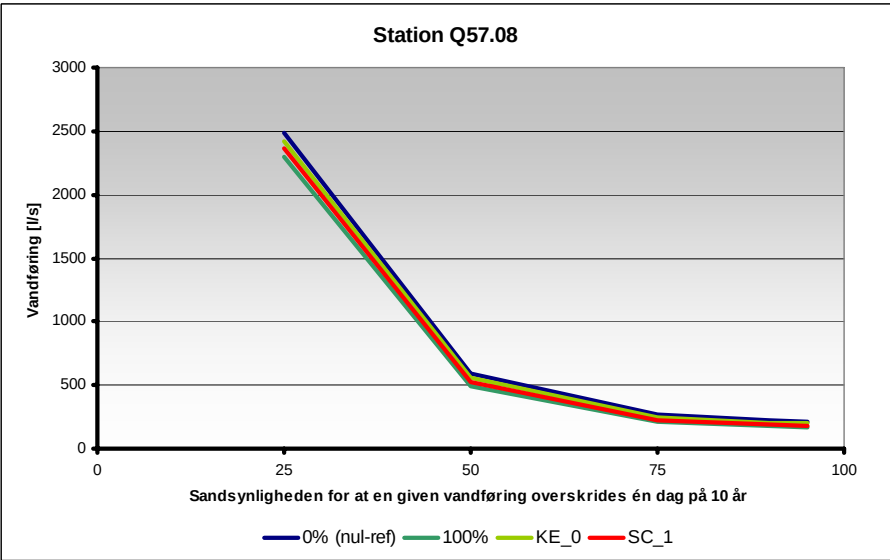
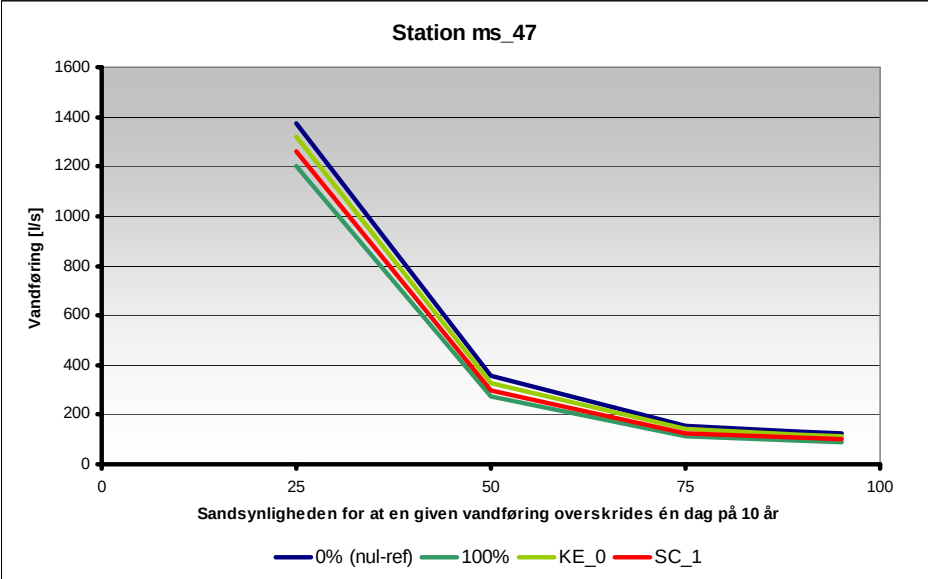
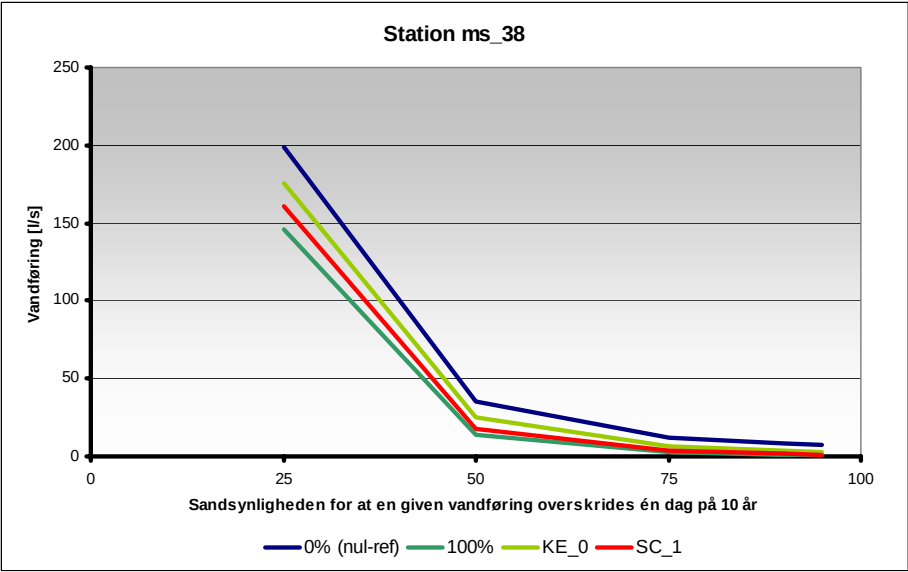
Afsækning i procent									
opl_6		abs_150	abs_120	abs_100	abs_80	abs_50	abs_0	KE_0	SC_1
Afs_kalk	> 5 m	0.3	0.3	0.3	0.0	0.0	0.0	0.3	0.3
	2 - 5 m	3.9	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.5 - 2 m	7.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0 - 0.5 m	2.2	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	< 0 m	85.8	99.4	99.7	99.7	100.0	100.0	99.7	99.7

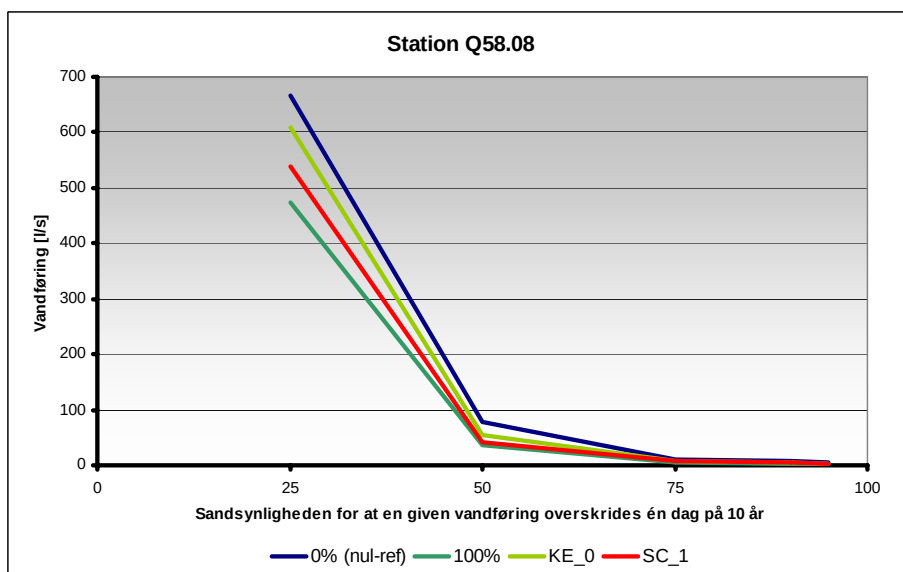
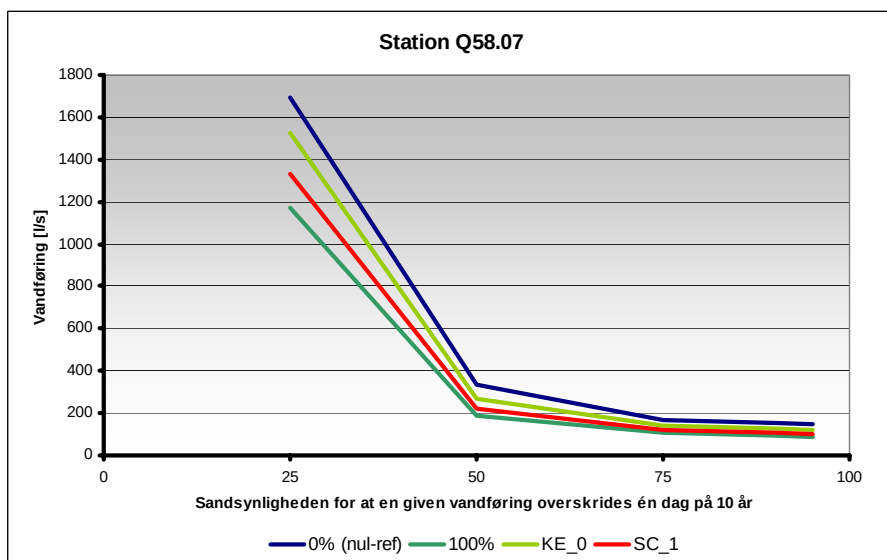
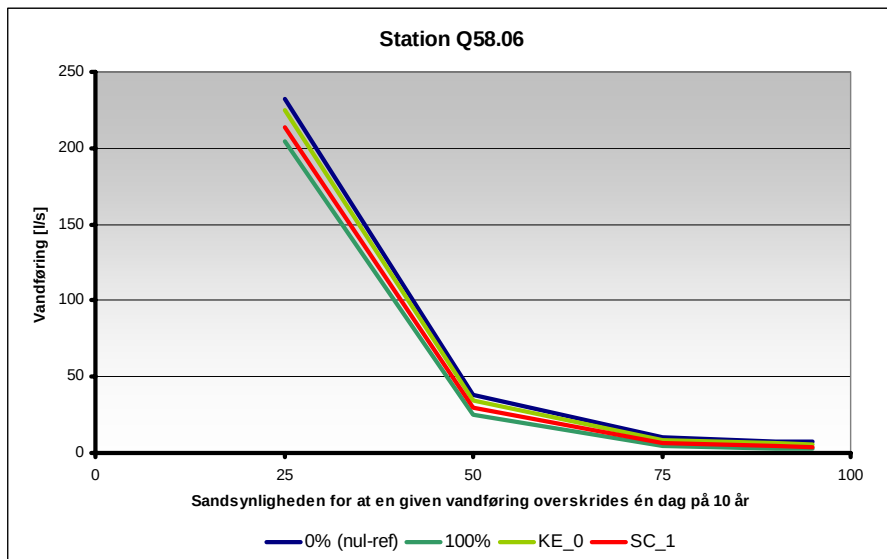
14.4.4 Varighedskurver for vandføringsstationer

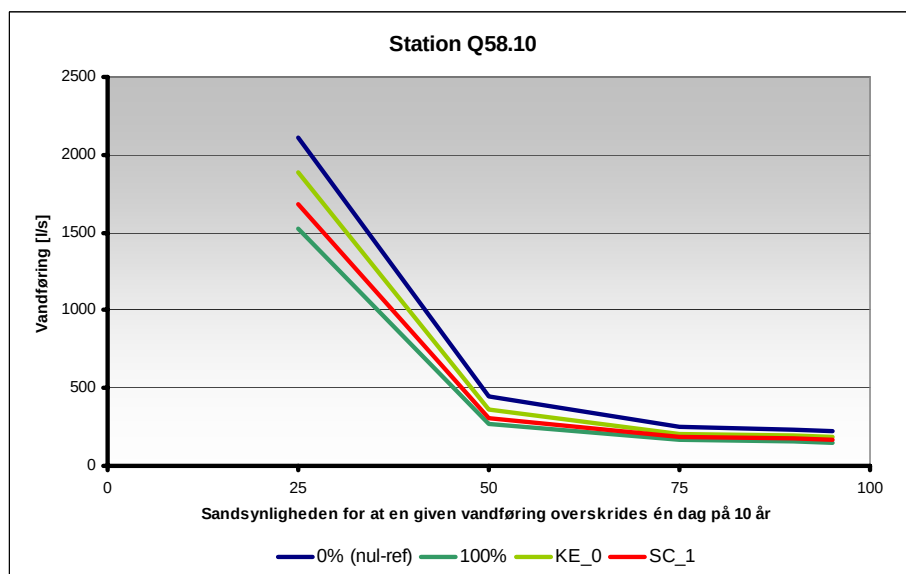
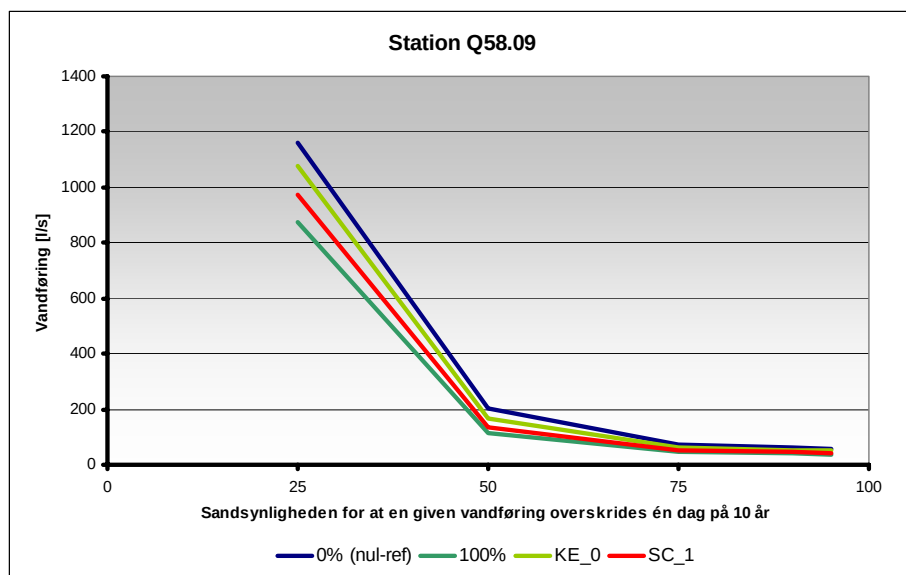
Varighedskurverne for de forskellige scenarier og forskellige vandføringsstationer indenfor delområdet er vist i det følgende. Stationerne ms_05, ms_37 og Q58.07 udviser de største relative påvirkning som følge af ændringer i indvinding. For de resterende vandføringsstationer er der kun meget beskedne påvirkninger, som er størst i den høje ende af skalaen, dvs. ved store vandføringer.











Tabel 70 indeholder en liste med værdierne, som danner baggrund for nedenstående figurer over varighedskurver. Det skal bemærkes igen, at DK-modellen formodentligt har svært ved at simulere de eksakte vandføringsværdier, mens der nok er bedre muligheder for at simulere de relative forandringer i vandføringer.

Tabel 70 Varighedskurve data for vandføringsstationer

Scenario	Q-station	Hydrograf statistik								
		Maks	Perc_05	Perc_10	Perc_25	Perc_50	Perc_75	Perc_90	Perc_95	Min
0% (nul-ref)	ms_04	1729	706	590	332	48	5	2	2	1
100%	ms_04	1524	663	542	292	25	1	0	0	0
KE_0	ms_04	1600	685	575	316	37	3	1	0	0
SC_1	ms_04	1559	676	559	303	30	2	0	0	0
0% (nul-ref)	ms_05	1039	412	324	159	9	1	0	0	0
100%	ms_05	867	338	221	73	3	0	0	0	0
KE_0	ms_05	970	385	283	133	4	0	0	0	0
SC_1	ms_05	918	360	250	103	3	0	0	0	0
0% (nul-ref)	ms_31	4469	1881	1547	912	227	100	84	78	69
100%	ms_31	4061	1726	1381	769	161	71	57	53	45
KE_0	ms_31	4323	1835	1491	872	204	90	75	69	60
SC_1	ms_31	4179	1779	1444	821	180	79	65	60	51
0% (nul-ref)	ms_37	3898	1378	1110	599	114	44	36	34	30
100%	ms_37	3451	1234	977	479	50	20	16	15	12
KE_0	ms_37	3723	1316	1059	542	78	28	23	21	17
SC_1	ms_37	3545	1277	1021	512	61	22	18	16	12
0% (nul-ref)	ms_38	1133	459	371	199	36	12	8	7	6
100%	ms_38	980	397	302	146	14	3	1	1	0
KE_0	ms_38	1102	434	343	176	25	6	4	3	2
SC_1	ms_38	996	413	320	161	18	4	2	1	0
0% (nul-ref)	ms_47	6560	2699	2263	1375	356	157	132	126	114
100%	ms_47	6064	2519	2065	1204	271	115	94	89	77
KE_0	ms_47	6381	2639	2195	1320	325	142	119	112	101
SC_1	ms_47	6210	2567	2130	1260	295	127	105	99	87
0% (nul-ref)	q57.08	13439	4899	4119	2489	595	262	225	214	194
100%	q57.08	12801	4666	3880	2301	495	211	179	170	151
KE_0	q57.08	13170	4812	4031	2424	555	241	206	196	177
SC_1	q57.08	12969	4735	3943	2360	523	225	191	182	162
0% (nul-ref)	q58.06	1255	528	423	232	38	10	8	7	6
100%	q58.06	1109	496	392	204	26	5	3	3	2
KE_0	q58.06	1194	521	414	225	34	8	6	6	5
SC_1	q58.06	1155	507	404	214	30	6	4	4	3
0% (nul-ref)	q58.07	8417	3748	3068	1692	337	170	155	150	140
100%	q58.07	7255	3152	2347	1173	188	104	94	89	80
KE_0	q58.07	8048	3566	2830	1524	270	139	127	122	112
SC_1	q58.07	7619	3347	2556	1331	221	119	108	102	93
0% (nul-ref)	q58.08	3630	1496	1239	666	79	11	7	6	4
100%	q58.08	3243	1332	987	474	36	6	4	4	3
KE_0	q58.08	3444	1437	1162	608	55	8	4	4	3
SC_1	q58.08	3343	1384	1064	539	42	7	4	4	3
0% (nul-ref)	q58.09	5875	2545	2106	1160	202	72	61	57	51
100%	q58.09	5199	2250	1705	874	115	46	40	37	31
KE_0	q58.09	5687	2459	2006	1076	167	62	53	50	43
SC_1	q58.09	5452	2348	1853	971	136	53	45	42	36
0% (nul-ref)	q58.10	10776	4799	3907	2113	447	251	232	225	211
100%	q58.10	9414	4097	3067	1521	273	171	157	150	136
KE_0	q58.10	10277	4530	3590	1896	362	208	192	186	170
SC_1	q58.10	9788	4316	3299	1679	309	187	172	165	150

15. PERSPEKTIVERING

15.1 Environmental flow og habitatmodeller (Bente Clausen)

Vandindvinding giver i første omgang anledning til en lokal ændret magasinerings i grundvandsmagasinet lige omkring boringen. Denne første afsenkning breder sig efterfølgende gennem hele det hydrologiske system som følge af at sænkningstragten udbredes i større afstand fra pumpeboringen for til slut at indstille sig i en ny ligevægt, hvor også nogen af systemets randbetingelser kan influeres direkte, eksempelvis ved en ændring af grundvandsskel eller en 'tørlægning' af vådområder eller i ekstreme tilfælde, ved opsivning- eller indtrængning af saltvand fra havet (Alley et al., 2002).

Det betyder at vandindvinding kan påvirke afstrømningsregimet på en måde der afhænger af grundvandsmagasinsystemets karakteristika, den dybde der indvindes vand fra, og afstand til vandløb og andre randbetingelser.

Afstrømningsregimet har vital betydning for den tidslige variabilitet af vanddybde og hastighed, vandløbsmorfologi, sediment transport og transport af bundsedimenter/substrat, og dermed for de grundlæggende forhold der har betydning for både vandkvalitet og det økosystem der udvikles (Clausen et al., 2004):

- *Vanddybden og bredden af strømmenden* er vigtige faktorer da disse geometriske størrelser definerer det tilgængelige fysiske rum, som er en vigtig forudsætning og del af habitat. For eksempel, foretrækker voksne ørreder vanddybder på mindst 50 cm for ophold og opvækst (Hayes & Jowett, 1994), og de kræver som minimum 15 cm vanddybde for passage (Bell, 1986)
- *Vandhastigheden* er vigtig for transport af ressourcer (materie) til organismer, det være sig lige fra opløste næringsstoffer til periphytiske alger eller små byttedyr for fisk. Men hastigheden er samtidig en stressfaktor for fisk og smådyr, idet dyrene bruger energi til at modstå de kræfter der virker i det strømmende vand. Hastigheden kan ligefrem være en potentiel katastrofal kilde; når hastigheden overskrider et bestemt niveau, så skyller strømmen organismer væk, ødelægger dem, eller begrænser deres vækst
- *Bundsubstratet* har vigtig betydning for biota i det strømmende vand idet de fleste organismer er tæt forbundet til sedimentet (bentisk biota). Groft substrat (såsom sten og grus) giver en stabil overflade hvor alger og invertebrater vil kunne knytte sig til substratet. Det giver også mulighed for invertebrater og fisk for at søge skjul og ly mod byttedyr, og i forhold til stærk strøm i oversvømmelsessituationer. Sand regnes normalt for et dårligt substrat for periphyton og invertebrater, selvom nogle dog, har specialiseret sig i at udnytte denne habitat. Imidlertid, udgør sand et meget egnet materiale for macrofytter, idet sandet kan supportere meget høj tæthed af invertebrater (Armitage & Cannan, 2000). Visse fisk er mindre specifikke med hensyn til substrat, selvom laksefisks ynglemulighed for det meste forudsætter et groft substrat (grus), hvor æggene er godt beskyttede og gennem hvilket vandstrømningen er stor nok til at supportere tilstrækkeligt med ilt til æggene
- *Temperaturen* har betydning for vækstraten og fordelingen af mange organismer, og ekstreme temperaturer (høj og lav) kan være direkte dødelige. Laksefisk er generelt tilpassede kølige vandtemperaturer og er relative følsomme overfor høje temperaturer.

Udover de fysiske faktorer beskrevet ovenfor, så har vandkvaliteten også meget stor betydning. Opløst ilt, pH og ammonium udgør faktorer af betydning for de fleste organismer, og nogle tolererer ikke koncentrationer under eller over specifikke tærskelværdier. Ørreder er specielt følsomme overfor lave iltindhold, lave pH værdier og selv moderate ammonium koncentrationer, og ørreder anvendes derfor i nogen situationer som indikatorerorganismer for vandkvaliteten. Nogen organismer er tilpassede livet i stærkt iltholdigt vand og dermed afhængige af iltindholdet, hvorimod andre organismer er i stand til at justere deres metaboliske rate og endog opnå en konkurrencemæssig fordel ved varierende iltindhold, fx som følge af forurening med organisk stof. I tilgift hertil, så kan biologiske interaktioner såsom fødekæder og konkurrencer mellem arter (inter-specific competition), og mellem individer (intra-specific competition), begrænse fordeling eller størrelse af en given art.

Den største betydning af vandindvinding for 'environmental flow requirements' er relateret til sommerafstrømningen. Reduktion af grundvandstilstrømningen fører her til en mindre vanddybde og vandhastighed og til en forøget temperatur, samtidig med at fortyndingen af evt. forurening reduceres. I nogle tilfælde kan vandløbet evt. helt tørre ud i sådanne situationer ('low flow events').

Reduceret vanddybde og hastighed fører til et tab af vandløbshabitat, som igen påvirker biota på samtlige niveauer. Fragmentering af habitatsystemet påvirker specielt vandrende fisk (migratory fish), men hindrer generelt muligheden for dyrs bevægelighed i systemet. Generelt vil reduceret afstrømning påvirke ilt koncentrationen negativt og dette er specielt kritisk for en stor del af invertebrat samfundet idet de fleste vandløbsinvertebrater ikke er i stand til at regulere deres iltoptagelse (Clausen et al., 2004; Golubkov & Tiunova, 1989).

Nogle vandløb har minimumsafstrømning (baseflow) det meste af året og kun oversvømmelser i bestemte sæsoner, hvorimod andre har store og små afstrømninger hele året. Nogle vandløb har mere sjældne, men ekstreme oversvømmelser, adskilt af langvarige perioder med 'low flow', mens andre har mere moderate, men også oftere forekommende oversvømmelser og ingen længerevarende 'tørkeperioder'. Andre vandløb tørrer ud hvert år, et forhold der resulterer i mere ekstreme livsbetingelser for vandløbsbiotaen (Clausen et al., 2004).

Variabiliteten i afstrømning og bundsediment bevægelser har dyb indvirkning på vandløbs-økosystemet. Fisk og planter der er tilpassede til stabile grundvandsfødte vandløb er ofte ikke i stand til at udvikle sig eller overleve i mindre stabile miljøer. På den anden side, så er vandløb med grusbund og tilhørende biota i en konstant 'forandringssituation', der skyldes ekstreme afstrømningsforhold (stor og lille afstrømning) og mere mobile bundsedimenter. Ekstrem afstrømning har normalt en kortvarig men betydelig effekt på biotaen, selvom dette evt. er en del af en langtids 'normal'. Oversvømmelser kan ødelægge biotaen på grund af den høje vandhastighed og den potentielle mobilisering af sedimenter. Tørke og low flow kan være ødelæggende på grund af tilhørende fysiske og kemiske ændringer, fx at vanddybden bliver kritisk lav og dermed begrænsende for fiskemobilitet eller overlevelse. Forurenende komponenter kan blive så koncentreret at de er direkte dødelige for organismer. Vandløbsorganismers respons i forhold til oversvømmelser, og konsekvenser for økosystemet, vil afhænge af biota'ens karakteristika, timing og frekvens af de ekstreme events, og interaktioner mellem biota og andre komponenter af økosystemet (Clausen et al., 2004).

Indtil nu, har megen ferskvandsøkologisk forskning koncentreret sig om 'high flow events' hvorimod effekterne af tørke og 'low flow events' kun har tiltrukket mindre forskningsmæssig opmærksomhed (Jowett, 1997a). Det er til dels et resultat af den vigtige betydning som oversvømmelser har haft for vandløbsøkologi og flow management. På en lang tidsskala, så har afstrømnings og oversvømmelses hændelser stor betydning for hvordan biota påvirkes, og varierer fra vandløb til vandløb, og det er i dag anset som en af de vigtigste hydrologiske faktorer for strukturen af vandløbssamfund (Resh et al., 1988; Lake, 2000).

Gennem de sidste 30 år, har der været en stigende interesse for forståelse af vandløbsmiljøer og beskyttelse af disse mod skadelige menneskelige påvirkninger. 'Instream flow management' (IFM) er en kompleks proces, der normalt involverer en kombination af viden-skabelig, offentlig og lovgivningsmæssig overvejelse. For at være effektiv, bør IFM forholde sig til både den naturlige og nuværende tilstand af et vandløb og dets tilhørende økosystem, og desuden, i konsultation med offentlighed og institutionelle organisationer, opstille mål og formål, før der etableres egentlige krav til f.eks. vandføring (regimet). Der findes et stort antal metoder hertil, uden dog at der foreligger egentlige standardiserede metoder. Per tradition, har nogen af disse metoder fokuseret på definition af faste minimumsafstrømning, hvorunder afstrømningen ikke må påvirkes fx som følge af vandindvinding. Den nuværende trend går dog væk fra at fastsætte en 'endimensional' minimumsafstrømning, og i retning af metoder der i stedet søger at forholde sig til hele flow regimet, incl. variationen i flow, med henblik på at understøtte både morfologiske forhold og økosystemet (Clausen et al., 2004).

IFM metodikker opdeles ofte i tre typer: Historiske flowmetoder, hydrauliske metoder og habitat metoder. Metoderne er nærmere beskrevet i Jowett (1997b) og Clausen et al. (2004):

- *Historiske flow metoder* som er de simpleste og letteste at anvende. Stalnaker et al. (1995) beskriver denne type metoder som 'standard setting', fordi de er generelt anvendelige skrivebordsmetoder (eller tommelfinger metoder) som benyttes til at fastsætte en minimumsvandføring
- *Hydrauliske metoder* som er mere tidskrævende at bruge og baseret på hydrauliske data (beskyttet perimeter, bredde, dybde og hastighed) fra en eller flere vandløbstværsnit. Formålet med de hydrauliske metoder er at maksimere 'biomasseproduktion' ved at holde så stor en del af det biomasseproducerende areal under vand. Da vandløbsbunden anses for at være det vigtigste element for biomasseproduktion (alger og invertebrater), så er det normalt den beskyllende perimeter eller bredden der benyttes som den hydrauliske parameter
- *Habitat metoder* som er de mest avancerede og som udgør en videreudvikling af de hydrauliske metoder. Deres styrke er at de er i stand til at kvantificere tabet af habitat der skyldes forandringer i det naturlige flowregime, og dermed kan bidrage til at evaluere alternative 'afstrømnings proposals'. Habitat metoderne regnes for de mest pålidelige metoder (Dunbar et al., 1998)

Ferskvandsøkosystemerne er således en integreret del af miljø- og humankultur. Kvantitet og timing er kritiske komponenter for vandforsyning, vandkvalitet og økologisk integritet. Vandrammedirektivet forudsætter at forbruget af vand, incl. grundvand, ikke negativt må påvirke overfladevandsøkologien. Det er nødvendigt at tage højde herfor i forbindelse med

forvaltning af grundvandsressourcen og vandindvinding, idet Vandrammedirektivet giver bindende mål.

Diskussionerne i projektgruppe har vist følgende:

- Der er ikke enighed om hvilke faktorer der har størst betydning for vandløbsøkologien, og det er uklart hvor stor betydning tilstrømning af grundvand har i det samlede billede
- Habitatmodeller vurderes nødvendige såfremt der skal opstilles mere konkrete vurderinger af hvilken påvirkning af vandløbsregimet der vil være tålelig for bestemte vandløbsstrækninger (og dertilhørende målsætninger), men habitatmodellerne tager ikke udgangspunkt i scenariebaserede modelsimuleringer, og er således ikke umiddelbart mulige at koble til de modelberegninger der fx er lavet med DK model KE i nærværende undersøgelse
- Habitatmodellerne vurderes i højere grad egnede til fastlæggelse af mere konkrete mål for et givent vandløb, og tager udgangspunkt i observationsdata (vandføring, vandstand, fysiske forhold osv.) og kræver detailkortlægning og feltundersøgelser før de kan anvendes på et rimeligt sikkert grundlag (der foreligge stort set ingen data eller afprøvning af habitatmodeller under danske forhold). Der foreligger således ikke tilstrækkelige feltdata til at opstilles mere generelle krav til vandløbspåvirkning, der vil kunne afløse eller forbedre de påvirkningsgrader der fx er anvendt i forbindelse med Ferskvandets Kredsløb og indikator 3 og 4 (pct-reduktioner på hhv. 5, 10, 15, 25 og 50 % for A, B1, B2, B3 og C-E vandløbsmålsætning) vurderet i forhold til sommer minimumsvandføring ved vandindvinding med reference i vandføringen uden indvinding, anvendt i Ferskvandets kredsløb dvs. påvirkningsgrader vurderet jf. et forsigtighedsprincip)
- Grundvandsmodeller giver ofte en ret usikker simulering af medianminimumsvandføring og forudsætter dermed dels en mere detaljeret beskrivelse af de geologiske forhold i ådale, detaljeret simulering af afstrømning fra øvre magasiner men også regulering og udledning af fx spildevand. Dermed kræves en større detaljering end anvendt i forbindelse med DK-model KE, og dermed brug af lokalmodeller der dog skal være koblet til den overordnede model, hvis der skal opnås forbedringer
- En mere robust simulering opnås ved brug af fraktilværdier og varighedskurver (f.eks. mere fokus på 5, 10, 50, 90 og 95 % fraktilværdier, der kan simuleres direkte med DK model KE med rimelig nøjagtighed). Problemet er så at kombinere disse størrelser og de simulerede ændringer ved forskellige scenarier, med feltdata om habitater og habitatmodeller. Der er meget stor afstand i tankegang og praksis mellem de faggrupper der arbejder med habitatmodeller og grundvandsmodellører – tværfagligt samarbejde om innovative løsninger er derfor en nødvendighed, idet såvel modellører som habitatforskere skal finde en 'fælles platform'

15.2 Input fra remote sensing (Eva Bøgh)

Satellitbilleder kan indgå til modellering af vandbalancen. Der er en årlig variation i anvendelsen af arealer, som kan kortlægges ved hjælp af satellitdata, og indgå i opsætning af en vandbalancemodel, f.eks. til en løbende justering af modelberegninger (Bøgh et al., 2003).

Når solens stråler rammer jordoverfladen vil en del af strålingen reflekteres. Denne del registreres af satellitbaserede sensorer der måler mængden af reflekteret stråling i separate

spektrale intervaller, fx måles ofte i blå, grønne, røde og nær-infrarøde spektrale kanaler. Da den spektrale refleksion er forskellig for forskellige overfladetyper, kan disse data bruges til kortlægning af arealanvendelsen på jordoverfladen.

En god klassificering kræver 3-4 skyfrie observationer gennem vækstsæsonen. En sidegevinst ved at anvende jordobservationer til arealanvendelseskortlægning (Figur 40) er at man kan bruge de samme observationer til at bestemme vigtige agro-hydrologiske parametre, som fx bladarealindeks (LAI). Planterne har en karakteristisk stor refleksion af nær-infrarød stråling og en lille refleksion af rødt lys der er fotosyntetisk aktiv stråling. Disse egenskaber udnyttes til beregning af en såkaldt vegetationsindeks som er eksponentielt relateret til bladarealindekset (Bøgh et al., 2003).

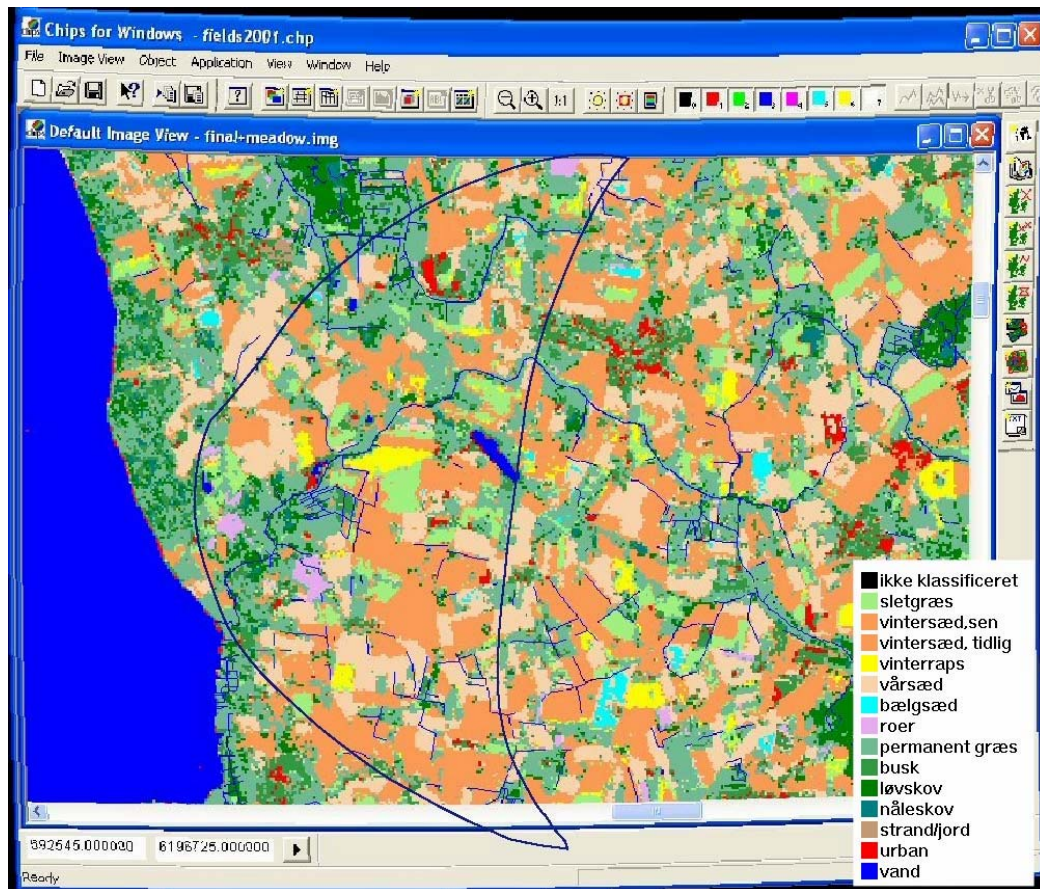
Remote sensing billeder af vegetationsindeks /LAI muliggør ved en kombination med modellen, et yderligere (uafhængigt) input, som kan indgå til identifikation af usikkerheder på modellen og simuleringer af vandløbspåvirkninger / samspil med ånære områder som følge af vandindvinding. Der er også muligheder for at tolke 'vandindhold' i f.eks. ånære arealer og egentlige oversvømmelser ved at kombinere remote sensing observationer af LAI og infrarød (overflade) temperatur og derigennem skaffe dokumentation for konsekvenser på arealer, bygværker og akvatisk og terrestrisk miljø som følge af oversvømmelser.

Til bestemmelse af fx oversvømmede områder, fordampning, vegetationsdække og arealanvendelse er data fra satellitterne ASTER (15 m grid), Landsat TM og Landsat 7 (30 m grid) samt fra EOS/MODIS (250, 500 og 1000 m grid) mest interessante. Landsat satellitterne passerer DK hver uge, mens EOS/MODIS har daglige passager. Vi kan forvente at få ca. 3 – 5 skyfri Landsat scener om året (prisen er ca. 5-7000 kr) og 1-3 ASTER scener (pris ca. 500 kr). Skyfri MODIS data kan leveres hver 14. dag (gratis). Landsat data fås 20-30 år tilbage i tiden (til reduceret pris) mens ASTER og MODIS data er tilgængelige for de sidste 4-5 år.

I forbindelse med et EU projekt har Daisy GIS modellen været anvendt til en detaljeret beregning af den aktuelle fordampning fra jord og planter på time basis (van der Keur et al., 2001). Transpirationen beregnes ved Penman-Montieth metoden, hvorimod jordfordampningen beregnes som –en funktion af potentiel jordfordampning og jordhydrauliske parametre på basis af Richards formel. Bladarealindekset er en vigtig faktor for beregning af fordampningen fordi det udtrykker det overfladeareal hvorigennem transpirationen foregår. Kendskabet hertil er specielt vigtigt når vegetationen ikke dækker jorden fuldstændigt fordi fordampningen fra jord og planter kan være meget forskellig (Bøgh et al., 2003).

Information om landbrugsarealanvendelsen muliggør således simulering af en række temaer som er værdifulde for en bedre dokumenteret hydrologisk overflademodel fx vegetationsudvikling (LAI), afgrødeproduktion (høstudbytte som også kan indgå i validering af Daisy), og input til områder med potentiel fordampning og høj jordfugtighed. De foreløbige resultater viser en tendens til at fordampningen stiger, og at model effektiviteten forbedres når satellitdata anvendes til justering af modelberegningerne (i stedet for brug af Daisy GIS standard opsætning), og det kan så måske være en medvirkende forklaring til at der ofte er problemer med 'for meget vand' i de Daisy GIS opsætninger der har været lavet forskellige steder i landet. En alternativ hypotese til problemet med nedbørskorrektion (specielt fast nedbør i perioder uden frost), kunne derfor være, at fordampningen ikke i tilstrækkeligt omfang beskrives korrekt ved brug af standard parametre til Daisy, eller fordi de områder der

reelt har potentiel fordampning året rundt, ikke er medtaget i tilstrækkeligt omfang i modelopsætningen.



Figur 40 Eksempler på anvendelse af remote sensing data. Tolkning af arealanvendelse for 2001 ud fra Landsat TM 30m. Kilde: Eva Bøgh, RUC. Havelse kildeplads's opland er vist samt et vandløbstema fra AIS

15.3 Eksamensprojekt (Maria Ondracek)

I forbindelse med eksamensprojektet med titlen "*Mike She modelling of flooding and low flows. Case study: Havelse and Græse river catchments*" (Ondracek 2005) af, blev der opstillet en lokal model, med DK-modellen som udgangspunkt, hvormed konsekvenser af ændrede indvindings forhold er undersøgt for et afgrænset område. Modellen dækkede oplandene omkring Havelse å og Græse å (250km²). I dette område indvinder Københavns Energi (KE) ca. 9 mio. m³ grundvand per år fra fem kildepladser; Hørup, Havelse, Strø, Attemose og Æbelholt. I 2001 afvikledes indvinding fra Havelse kildeplads, hvor de 1999 pumpede 1,3 mio. m³ vand. Beboere i nærheden klagede derefter over oversvømmede have og lagde dermed delvis grund til interessen for at stille op en integreret hydrologisk model med høj detaljeringsgrad for at undersøge lokale effekter af ændrede indvindingsforhold. Hensigten med modellen var også at belyse problemstillingen med simulering af minimumsvandføring ved hjælp af fraktilværdier, ligesom at det blev vurderet om en detaljering fra 1x1 km grid til 0,1 x 0,1 km grid kunne give forbedrede simuleringer af minimums-

afstrømningen. Projektet undersøgte også betydning af at flytte kildepladser væk fra ådalen.

Modellen er opstillet i MIKE SHE, version 2004, og koblet med et MIKE 11. Den er beskrevet i 100x100m grid og har en geologisk model som er identisk med DK-modellens for området (11 geologiske lager og 9 beregningslag). Som nedbørs input er det anvendt DK-modellens rodzonemodul og som en for en lille sideopgave er det blevet testet hvorledes nettonedbørs input beregnet med Daisy GIS og remote sensing data kan bruges. Modellen blev kalibreret mod observerede afstrømningsdata og trykniveauer. Simuleringer af forskellige scenarier blev udført og resultaterne for trykniveau og oversvømmede arealer blev vurderet mod et reference scenario med nul indvinding. Simuleret vandføring blev holdt op imod indikatorerne 3 og 4 fra "Ferskvandets kredsløb" samt mod observerede data, og desuden flygtigt med en habitatmodel metode.

Simuleringerne viser interaktion mellem de dybere magasiner og de mere overfladenære magasiner, således at hvis kildepladserne flyttes væk fra ådalen er det større områder der bliver påvirket af det sænkede trykniveau. Det vises at et større areal har potentiale til at blive oversvømmet ved afvikling af Havelse kildeplads, og også dette indikerer at den lokale model simulerer en sammenhang mellem indvinding af grundvand i det primære magasin og forholdene på overfladen. Resultaterne for de simulerede vandføringer er ujævne, hvor der for nogle områder simuleres meget tæt på de observerede data er der andre steder dårlig overensstemmelse. Generelt simuleres median minimum højere end observerede værdier. Der er ikke påvist nogen stor betydning af at flytte indvindingerne væk fra ådalen med hensyn til vandføringen, undtagen Græse å hvor det indtræffer en væsentlig øgning. Med hensyn til de forskellige nedbørs inputs er det konstateret at de har betydning for afstrømnings dynamikken, men også at der kræves yderligere undersøgelser for at konkludere til hvilken grad. Der blev forsøgt anvendt input fra Eva Bøgh (beregnet nettonedbør ved hjælp af Daisy hvor der også indgik remote sensing data). Daisy GIS data fra Eva Bøgh var tilgængelig for 2001-2002, og gav betydelig forbedrede resultater i beskrivelse af afstrømningsdynamik, i forhold til input baseret på standardparameter for Daisy GIS. En begrænsning er det dog at data kun er tilgængelige fra 2001 og frem.

Eksamens projektet kan hjemtages fra KTH's hjemmeside:
http://www.lwr.kth.se/Publikationer/PDF_Files/LWR_EX_05_10.PDF

16. REFERENCER

- Abbott, M.B., Bathurst, J.C., Cunge, J.A., O'Connell, P.E. and Rasmussen, J. (1986a): An introduction to the European Hydrological System - Systeme Hydrologique Europeen, "SHE", 1: History and Philosophy of a Physically-Based, Distributed Modelling System. J. Hydrol. 87, 45-59.
- Abbott, M.B., Bathurst, J.C., Cunge, J.A., O'Connell, P.E. and Rasmussen, J. (1986b): An introduction to the European Hydrological System - Systeme Hydrologique Europeen, "SHE", 1: Structure of a Physically-Based, Distributed Modelling System. J. Hydrol. 87, 61-77.
- Allerup, P. and Madsen, H. (1979): Accuracy of Point Precipitation Measurements. Klimatologiske Meddelelser No. 5, Danmarks Meteorologiske Institut.
- Allerup, P., Madsen, H. og Vejen, F. (1998) Standardværdier (1961-90) af nedbørskorrekationer. DMI tech. Rep. 98-10, København
- Alley WM, Healy RW, LaBaugh JW and Reilly TE (2002) Flow and storage in groundwater systems. Science 296, 1985-1990.
- Andersen, J. (1996): Application of GIS in hydrological models. MSc. Thesis, Department of Geography, University of Copenhagen.
- Andersen, L.J. (1973): Cyclogram techniques for geological mapping of borehole data. Danmarks Geologiske Undersøgelse. 3. række, nr. 41, 25 pp.
- Armitage PD and Cannan CE (2000) Annual changes in summer patterns of mesohabitat distribution and associated macroinvertebrate assemblages. Hydrol. Processes 14, 3161-3179.
- Bell MC (1986) Fisheries handbook of engineering requirements and biological criteria. U.S. Corps of Engineers, Portland.
- Beven, K. (1989): Changing ideas in hydrology - the case of physically based models. Journal of Hydrology 105, 157-172.
- Beven, K.J. (1996): A discussion of distributed hydrological modelling. In: Abbott, M.B., Refsgaard, J.C. (Ed.), Distributed Hydrological Modelling. Kluwer Academic. pp. 255-278.
- Bøgh, E., Butts, M., Hansen, S. og Søgaard, H. (2003) Satellitbilleder til modellering af vandbalance. Vand & Jord, 10. årgang nr. 2, maj 2003. p. 72-76.
- Bøgh, E. (2005) Studier af Sjællands vandbalance. Vandseminar. RUC. Februar 2005.
- Bøgh, E., Poulsen, R.N., Butts, M., Hansen, S., Abrahamsen, P., Dellwik, E., Hasager, C.B., Jensen, N.O., Loerup, J.-K., Pilegaard, K., Søgaard, H. (2005) Upscaling the water balance using multiple spatial resolution Earth observations and GIS based agro/eco-hydrological modeling (In prep.)
- Carlsson, L. & G. Gufstafson (1984): Provpumpning som geohydrologisk undersøgelsesmetodik. Byggeforskningsrådet, Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg. R41:1984.
- Christensen, BSB og Henriksen, HJ (2000) Test af DK-modellens rodzonemodul. www.vandmodel.dk
- Clausen B, Jowett IG, Biggs BJF and Moeslund B. (2004) Stream ecology and flow management. Chapter 10 in: Ed. Tallaksen, L. and van Lanen H (2004) Hydrological

- drought – Processes and estimation methods for streamflow and groundwater. Developments in water sciences, no. 48.
- Dahl, M., Harrar, W.G., Henriksen, H.J. and Knudby, J.K. (1998): Integrated Hydrological Modelling of Fresh Water Resources in Denmark – Distribution of Aquifer-River Exchange Parameters. IAHA/IAH Joint Conference. Gambling with Groundwater. Las Vegas Sept.-Oct. 1998.
- DGU (1992): Variationer i grundvandsspejlet 1950-90. Revideret udgave. DGU data-dokumentation nr. 2.
- DHI (1997): MIKE SHE User Guide and Technical Reference Manual. Edition 1.1. June 1997.
- Dunbar, MJ, Gustard A, Acreman, MC and Elliot CRN (1998) Overseas approaches to setting river flow objectives. R&D Technical Report W6-161. Environment Agency and Institute of Hydrology, Wallingford, 83 p.
- Frich, P., Rosenørn, S., Madsen, H., Jensen, J.J. (1997): Observed Precipitation in Denmark, 1961-1990. Technical Report 97-8. Dansk Meteorologisk Institut.
- Fuglsang, L. og P.B. Olsen (2005) Videnskabsteori i samfundsvidenskaberne. På tværs af fagkulturer og paradigmer. Roskilde Universitetsforlag.
- Fyns Amt (1995): Bestemmelse af medianminimum i Fyns Amt, 1995. Hedeselskabet.
- Fyns Amt (1997, a): De fynske vandløb. Tema: Ferskvand. Vandkvalitet og biologiske forhold. Naturgivne og kulturskabte forhold. Forureningskilder. Årsager og udvikling 1976-96. Maj 1997.
- Fyns Amt (1997, b): Kortlægning af grundvandsressourcen. Forslag til udpegning af områder med særlige drikkevandsinteresser. Maj 1997.
- Ganoulis, J. G. (1994): Engineering Risk Analysis of Water Pollution. Probabilities and Fuzzy Sets. VCH forlag.
- Golubkov, SM and Tiunova TM (1989) Dependence of respiration rate upon oxygen concentration in water for some rheophilous mayfly larvae (Ephemeroptera). Aquatic Insects 11: 147-151.
- Grayson, R.B., Blöschl, G., Moore, I.D. (1995): Distributed parameter hydrologic modelling using vector elevation data: THALES and TAPES-C. In: Singh, V.P. (Ed.), Computer Models of Watershed Hydrology, Water Resources Publications, pp. 669-696.
- Green, I.R.A. and Stephenson, D. (1986): Criteria for comparison of single event models. Hydrol. Sci. J. 31(3), 395-411.
- Harrar, William G. og Nilsson, Bertel (1998): Seasonal Variation in fracture flux through a glacial till. 1998 GSA Annual Meeting. ISSN 0016-7592.
- Hayes JW and Jowett IG (1994) Microhabitat models of large drift-feeding brown trout in three New Zealand rivers. North American Journal of Fisheries Management 14, 710-725.
- Henriksen, H.J. (2001) GEOLOGI Nyt fra GEUS. Nr. 3. November 2001. Fra boringsdatabasen "JUPITER" til DK-grundvandsmodellen (<http://www.geus.dk/publications/geo-nyt-geus/gi013.htm>).
- Henriksen, H.J. og Sonnenborg, A. (eds.) (2003), Ferskvandets Kredsløb, NOVA 2003 Temarapport, Danmark og Grønlands Geologiske Undersøgelse, ISBN 87-7871-114-2
- Henriksen, H.J., Knudby, C., Rasmussen, P., Nyegaard, P (1997): National vandressourcemodel. Modelopstilling og kalibrering for Fyn. GEUS rapport nr. 1997/139.

- Henriksen, H.J., Trolborg, L., Knudby, C., Dahl, M., Nyegaard, P., Jacobsen, P.R., Rasmussen, P. (1998) National Vandressource Model. Sjælland, Lolland, Falster og Møn. GEUS undersøgelsesrapport 1998/109.
- Henriksen, H.J., Trolborg, L., Nyegaard, P., Sonnenborg, T.O., Refsgaard, J.C. and Madsen, B. (2003) Methodology for construction, calibration and validation of a national hydrological model for Denmark. *Journal of Hydrology* (280) 52-71.
- Henriksen, H.J., Trolborg, L., Knudby, C., Dahl, M., Jakobsen, P.R. og Nyegaard, P. (1998): National vandressourcemodel. Sjælland, Lolland, Falster og Møn. GEUS rapport nr. 1998/109.
- Jeppensen, Jan (2001) Vandbalancen for rodzonen på Als – opfølgning på Alsundersøgelsen, 1986. Specialrapport. Geomorfologisk afdeling. Århus Universitet. 25. november 2001
- Jowett IG (1997a) Environmental effects of extreme flows. In: *Floods and droughts: the New Zealand experience* (ed by MP Mosley and CP Pearson), 103-116. The New Zealand Hydrological Society, Christchurch, New Zealand.
- Jowett IG (1997b) Instream flow methods: a comparison of approaches. *Regulated Rivers: Research and Management* 14, 115-127.
- Klemes, V. (1986): Operational Testing of Hydrological Simulation. *Hydr. Sci. J.* 31(1), 13-24.
- Lake PS (2000) Disturbance, patchiness, and diversity in stream. *J. North Am. Benthol Soc.* 19, 573-592. Kinzelbach, W. (1986) *Groundwater Modeling. An introduction with sample programs in BASIC.* Elsevier.
- Madsen, B., Henriksen, H.J., Knudby, C.J. (1998): The National Water-Resources Model Developed for the Assessment of the Distribution and Protection of the Danish Groundwater Resources. IAHA/IAH Joint Conference in Las Vegas. Gambling with Groundwater. Sept.-Oct. 1998.
- Mikkelsen, H. E. og Olesen, J.E. (1991): Sammenligning af metoder til bestemmelse af potentiel vandfordampning. Beretning nr. S 2157 - 1991.
- Nielsson, B., R.C. Sidle, K.E. Klint, C.E. Bøgild and K. Broholm (1997): Mass transport and scale-dependent hydraulic tests in a heterogenous till and sand aquifer system". *Journal of Hydrology*
- Ondracek, M. (2005) Mike She modelling of flooding and low flows. Case study: Havelse and Græse river catchments. Eksamensprojekt ved KTH – Mark och vattenteknik, Sverige, ISSN 1651-064X http://www.lwr.kth.se/Publikationer/PDF_Files/LWR_EX_05_10.PDF
- Plauborg, F. og Olesen, J.E. (1991): Udvikling og validering af modellen MARKVAND til vandingstyring i landbruget. Beretning nr. S 2113. Afdelingen for Jordbrugsmeteorologi.
- Refsgaard, J.C. og Henriksen H.J. (2004) Modelling guidelines – terminology and guiding principles. *Advances of Water Resources.* 27 (1) s. 71-82.
- Refsgaard, J.C. & Knudsen, J. (1996): Operational Validation and Intercomparison of Different Types of Hydrological Models. *Water Resources Research.* 32(7), 2189-2202.
- Refsgaard, J.C. (1997): Parameterisation, calibration and validation of distributed hydrological models. *Journal of Hydrology* 198, pp 69-97. Elsevier.
- Refsgaard, J.C. (1998): Personlig kommentar.
- Resh VH, Brown AV, Covitch AP, Gurtz ME, Li HW, Minshall GW, Reice SR, Sheldon AL, Wallace JB and Vissmar R (1988) The role of disturbance in stream ecology. *J. North Am. Benthol. Soc.* 7, 433-455.

- Rosso, R. (1994): An introduction to spatially distributed modelling of basin response. In: Rosso, R., Peano, A., Becchi, I., Bemporad, G.A. (Eds.), *Advances in Distributed Hydrology*. Water Resources Publications, pp. 3-30.
- Stalnarker CB, Lamb, L, Henriksen, J, Bovee, K and Bartholow J (1995) The instream flow incremental methodology: a primer for IFIM. National Biological Service, Fort Collins, Biological Report 29, 399-418.
- Thorsen, M. (2000) Agricultural Input Data and Scenarios for Regional Modelling, Vårby and Karup Stream Catchments. DHI Water & Environment.
- Troldborg, L. (in press), Simulering af nuværende og historiske strømnings- og potentialeforhold i kalkmagasinerne i Nordøstsjælland, *fra rapport serien "Saltvandsgrænsen i kalkmagasinerne i Nordøstsjælland – delrapport 4"*, GEUS rapport #####
- van der Keur, P., Hansen, S., Schelde, K., and Thomsen, A. (2001) Modification of Daisy SVAT model for potential use of remotely sensed data. *Agricultural and Forest Meteorology* 106, 215-231.
- Vandplan Sjælland (1993): Statusrapport. Frederiksborg Amt, Københavns Amt, Københavns kommune, Frederiksborg Kommune, Roskilde Amt, Vestsjællands Amt og Storstrøms Amt.
- Vandplan Sjælland (1995): Hovedrapport 2. fase.
- Vandplan Sjælland (1996): Vandplan Sjælland 1996-2020.
- Vandrådet (1992): Danmarks fremtidige vandressource. Rapport fra arbejdsgruppe 1. Ferskvandsressourcens naturlige kvantitet og kvalitet. December 1992.
- Wood, S.R. (1974): A catchment simulation model developed for urbanizing catchments with particular reference to the use of automatic optimisation techniques. In: Proc. of IFPF Conference on Computer Simulation of Water Resources Systems (Ghent, Belgium), 209-217.