

# Effekt af ændringer i klima og arealanvendelse på vandkredsløbet i Vestjylland

Klimaændringerne forventes at påvirke vandkredsløbet i Danmark kraftigt i indeværende århundrede. Der er imidlertid andre faktorer, hvoraf nogle er direkte styret af os selv, som har indflydelse på vandbalancerne. I det følgende beskrives, hvilken effekt drivhusgassernes påvirkning af klima og fordampning samt lokale antropogene ændringer i vanding og arealanvendelser har på det hydrologiske kredsløb i Vestjylland

LIEKE VAN ROOSMALEN,  
TORBEN OBEL SONNENBORG &  
KARSTEN HØGH JENSEN

Klimaændringerne, dvs. ændringer i primært temperatur, nedbør, vindhastighed og skydække, forventes at få en markant effekt på vandkredsløbet i Danmark. Det forventes imidlertid også, at andre fremtidige ændringer vil påvirke vandets kredsløb. F.eks. kan faktorer som planternes transpiration i en CO<sub>2</sub>-beriget atmosfære, markvanding, samt ændringer i arealanvendelse forventes at påvirke vandkredsløbet. Nogle af de nævnte påvirkninger vil forstærke hinanden, mens andre vil udligne hinanden. På nuværende tidspunkt er vi imidlertid ikke i stand til nøjagtigt at forudsige, hvor signifikante de enkelte effekter vil blive.

I nærværende projekt, som er baseret på /1/, er undersøgt, hvilke faktorer der har størst betydning for hydrologiske størrelser som grundvandsdannelse, grundvandsstand samt vandløbsafstrømning.

## Hydrologisk model

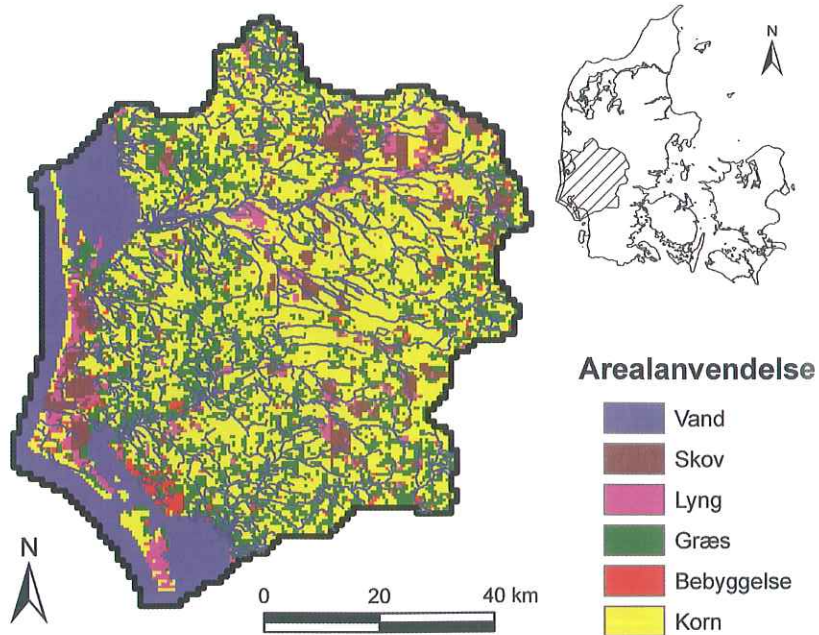
Der er anvendt en integreret hydrologisk model for oplandene til Skjern, Varde og Sneum Å, se figur 1, som er baseret på DK-modellen /2/. Rodzonen i området består primært af sand og på bakkeøerne findes der mindre områder med sandet moræne. Modellen beskriver de vigtigste arealanvendelser, herunder skov (7%), lyng (5%), græs (29%), korn (56%) og byområder (2%). Arealanvendelsen korn dækker over både majs samt

kornsorter som hvede og byg. Hver arealanvendelse er modelmæssigt set karakteriseret ved et bladarealindeks (LAI), en roddebyde samt en afgrødekoefficient. Fordampningen fra de forskellige arealanvendelser bestemmes vha. en relativ simpel to-lags vandbalancemodel, som fordeler det infiltrerende vand til hhv. evapotranspiration og grundvandsdannelse. Den styrende parameter er her rodzonekapaciteten, som er produktet af roddebyden og forskellen mellem vandindholdet ved hhv. markkapacitet og visnegrænse. Der er specificeret en rodzonekapacitet for hver af de to jordtyper i modelområdet. Markvanding

styres automatisk af modellen, og der påføres vanding i en grid-celle, når vandindholdet i rodzonen falder for langt under markkapacitet. Vandet, der bruges til vandingen, oppumpes fra grundvandszonen fra samme grid, som hvor det bruges.

## Udviklingsscenarier

Ved hjælp af modellen er det undersøgt, hvordan den aktuelle fordampning, grundvandsdannelse, grundvandsstanden samt vandløbsafstrømningen påvirkes af forskellige ændringer, som med en vis sandsynlighed vil forekomme i et klima under forandring. Dels undersøges effekten af to klimascenarier, hhv. IPCC emissionsscenarierne A2 og B2 for perioden 2071-2100 (model 2 og 3). I figur 2 ses, hvordan nedbøren og evapotranspirationen udvikler sig i de to scenarier. Nedbøren stiger i begge scenarier og særligt i perioden november til marts, hvor der optræder stigninger på mellem 25% og 51%. Til gengæld vil nedbøren blive mindre om sommeren, specielt i A2-scenariet, hvor der optræder fald på 8 - 37% i perioden juli-september. Den årlige stigning i nedbøren er på hhv. 12% og 16% i A2- og B2-scenarierne. Reference-fordampningen, som



Figur 1 Området i Vestjylland som den hydrologiske model dækker. Arealanvendelsen af angivet med farver.

angiver den potentielle fordampning fra en kortklippet græsoverflade, øges mest i A2-scenariet, hvor den største temperaturstigning på i gennemsnit 3,2 °C sker. I store dele af vækstsæsonen (april-juli) forøges evapotranspirationen i A2-scenariet med 9 – 13%, mens stigningen er højere i august (28%) og september (33%). I vinterhalvåret er den relative stigning forholdsvis stor, men da den absolute fordampning her er beskeden, har det en ubetydelig effekt på vandkredsløbet. På årsbasis stiger reference-fordampningen med hhv. 19% og 14% i A2- og B2-scenarierne.

Den stigende CO<sub>2</sub>-koncentration vil udover at påvirke klimaet også have en indflydelse på planternes transpiration. Når CO<sub>2</sub>-koncentrationen i atmosfæren stiger, vil planterne få lettere ved at optage den mængde kulstof, som de har behov for. De behøver derfor ikke at åbne deres stomata (bladenes spalteåbninger) så meget, som under nutidige forhold. Det medfører, at der ikke slipper lige så meget vanddamp ud fra planterne, hvilket alt andet lige resulterer i en mindre transpiration. I boks 1 ses, hvordan denne reduktion i transpiration kan omsættes til en faktor, som bestemmer, hvor meget den potentielle fordampning reduceres.

Afhængig af afgrødevalg vil evapotranspiration blive reduceret med af størrelsesorden 4-7% for græs, mens der for majs kan optræde fald på op til 10-17%. Den samlede effekt på oplandsniveau vil derfor afhænge af, hvordan arealanvendelsen på et givet tidspunkt er fordelt. I Danmark øges arealet med majs i disse år på bekostning af andre afgrøder, da klimaet bliver mere favorabelt for denne afgrøde /4/, og det er muligt, at energiafgrøder vil vinde frem indenfor de kommende årtier. For at isolere CO<sub>2</sub>-effekten antages det imidlertid her, at areal-anvendelsen er den samme i nutid og fremtid. Hvis CO<sub>2</sub>-effekten på fordampningen sammenholdes med den stigning, som de klimatiske ændringer giver anledning til (se ovenfor), er det rimeligt som udgangspunkt at antage, at de to modsat rettede effekter ophæver hinanden, således at den potentielle fordampning forbliver mere eller mindre uændret i et fremtidigt klima. Model 4 repræsenterer en sådan antagelse, hvor kun nedbør og temperatur udvikler sig i henhold til A2-scenariet, mens den potentielle fordampning bibeholdes på nutidigt niveau.

I et varmere klima med mindre sommer-nedbør må det forventes, at markvandingsbehovet stiger. For nutids- og A2-scenarierne er det derfor undersøgt, hvor meget vand der er behov for til markvanding (model 5 og 6). Den automatiske vandings-algoritme er anvendt på græs- og kornarealer. Græsset

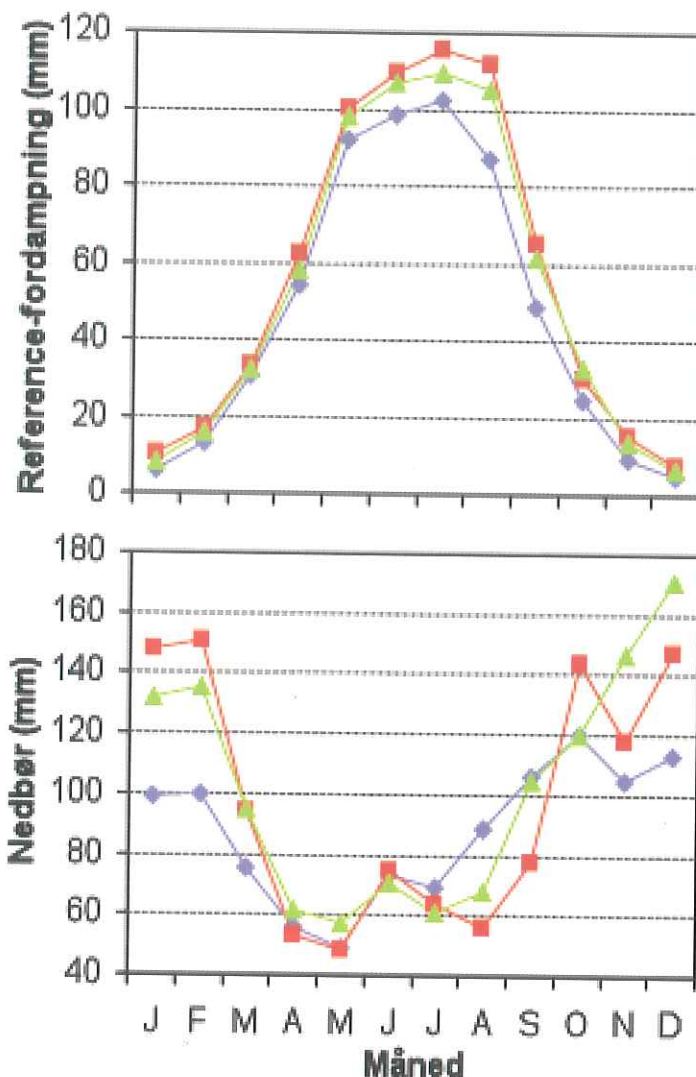
vandes i hele sommerhalvåret, mens korn kun vandes i vækstsæsonen frem til midt i august, hvor det høstes.

Endelig er effekten af ændringer i arealanvendelse undersøgt. I 1989 besluttede Folketinget, at skovarealet i Danmark skal fordobles i indeværende århundrede. Skovarealet er derfor fordoblet på bekostning af græs, hvilket indebærer at afgrødekoeficienten, bladarealindekset og roddybden ændres fra græs-værdier (som varierer over året) til konstante værdier for skov (nåleskov); f (se boks 1) øges fra 1,0-1,15 til 1,2, roddybden stiger fra 0,1-1,0 til 1,0, og LAI øges fra 2,0-5,0 til 6,0. Desuden er der foretaget beregninger af effekterne, når vækstsæsonen starter 15 dage tidligere på året og bliver 5 dage kortere.

### Resultater

Med udgangspunkt i en model, hvor der anvendes nutidsklima og hvor der hverken indvindes vand til vandværker eller markvanding (model nr. 1), undersøges det, hvor stor

effekt de enkelte påvirkninger af vandkredsløbet har. I tabel 1 ses resultater for hhv. nedbør, aktuel fordampning, grundvandsdannelse, markvanding, grundvandsstand i modellens primære grundvandsmagasin (modellag 5), samt middelvandføringen i Skjern Å i hhv. februar og september. For model 1 fordamper 492 mm af de 1073 mm nedbør, mens den resterende del strømmer til vandløb primært via grundvand (inklusive drænstrømning) og en mindre del strømmer til havet via grundvandet. Når klimaet ændres i B2- og A2-scenarierne (model 2 og 3) stiger både den aktuelle fordampning og grundvandsdannelsen, hvor det specielt er for sidstnævnte størrelse, at valget af emissions-scenarium er vigtig. Dette resulterer i en forøgelse af grundvandsstanden i det primære grundvandsmagasin på hhv. 45 cm og 28 cm for B2- og A2-scenarierne. Vinter-afstrømningen i Skjern Å stiger kraftigt i begge scenarier (37% og 38%), mens sommerafstrømningen er næsten uændret for B2-scenariet, mens der



Figur 2 Gennemsnitlige månedsværdier for reference-fordampning og nedbør for hhv. nutid samt A2- og B2-scenarierne.

## Boks 1 Fordampning i et CO<sub>2</sub>-beriget klima

CO<sub>2</sub>-koncentrationen påvirker transpirationen fra planter da kuldioxiden kontrollerer ledning-sevnen gennem bladenes stomata. Graden hvormed planterne åbner deres stomata aftager med stigende CO<sub>2</sub> koncentration, og herved reduceres tabet af vanddamp til omgivelserne. I 3/ beskrives vha. en relativ simpel metode, hvordan effekten af CO<sub>2</sub> kan omsættes til den potentielle fordampning, PET

$$PET = c f ET_{ref}$$

hvor  $ET_{ref}$  er referencefordampningen, som afhænger af klimatiske variable,  $f$  er afgrødekoefficienten, som er afgrødespecifik, og  $c$  er CO<sub>2</sub>-koefficienten.  $c$  afhænger dels af stigningen i CO<sub>2</sub>-koncentration, men er også en funktion af tre andre vegetationspecifikke faktorer 3/. I nedenstående tabel ses, hvordan CO<sub>2</sub>-koefficienten varierer med afgrødevalg for en CO<sub>2</sub>-udvikling, der følger A2-emissionsscenarioet.

Værdier for CO<sub>2</sub>-koefficienten  $c$  som funktion af CO<sub>2</sub>-koncentration og afgrødevalg for A2-scenariet.

År	CO <sub>2</sub> konc. (ppm)	Græs	Korn (sommer)	Majs (sommer)
2070	635	0,96	0,93	0,90
2080	698	0,95	0,92	0,88
2090	771	0,94	0,90	0,85
2100	856	0,93	0,88	0,83

observeres et fald på 8% i A2-scenariet.

Hvis det antages, at der ikke sker nogen ændring af den potentielle fordampning i et A2-scenarium (model 4), vil der være langt mere vand til rådighed for grundvand og vandløb. Stigningen i grundvandsdannelsen og grundvandsstanden vil i dette tilfælde følge B2-scenariet (model 3). Samtidig vil vinterafstrømningen stige meget kraftigt, med op til 46% i februar, mens sommerafstrømningen er relativt uændret i forhold til udgangsmodellen.

I model 5 og 6 er effekten af grundvandsindvinding kvantificeret. I både nutids- og A2-scenariet antages det, at indvindingen til husholdning og industri fastholdes på 10 mm/år (svarende til 55 mio. m<sup>3</sup>/år). Markvandingen varierer med vandindholdet i rodzonen, som er en funktion af klimaet. I nutidsklimaet findes et gennemsnitligt markvandingsbehov på 18 mm (98 mio. m<sup>3</sup>/år), mens der i A2-klimaet sker en betydelig stigning på 89% til 34 mm (186 mio. m<sup>3</sup>/år). Ved sammenligning af model 3 og 6 (dvs. A2-scenariet hhv. uden og med indvinding) ses, at den øgede markvanding har stor betydning for vandløbsafstrømningen i september, som falder fra 17 m<sup>3</sup>/s til knap 15 m<sup>3</sup>/s. I forhold til udgangssituationen med nutidsklima og ingen grundvandsindvinding er reduktionen i vandføring på 20%. Det skal bemærkes, at resultaterne præsenteret i tabel 1 er gennemsnitlige værdier, og at

der i tørre år vil opstå et højere markvandingsbehov. For A2-scenariet varierer markvandingen fra knap 100 mio. m<sup>3</sup>/år i våde somre til næsten 450 mio. m<sup>3</sup>/år i tørre somre, se figur 4. Vandløbspåvirkningen vil derfor kunne være større end de 20% reduktion i ekstreme år. Det er her forudsat, at der ikke er restriktioner på, hvor meget der må vandes på den enkelte mark.

Effekten af at ændre arealanvendelse fra græs til skov i et A2-klima er forholdsvis be-

grænset, og er derfor ikke præsenteret i tabel 1. Grundvandsdannelsen blev reduceret med 3%, og der var derfor kun små ændringer i grundvandsstand og vandløbsafstrømning. Effekten af ændret vækstsæson (tidligere start og kortere sæson) er under 1% på grundvandsdannelsen og ændringerne i grundvandsstand og vandløbsafstrømning er tilsvarende små.

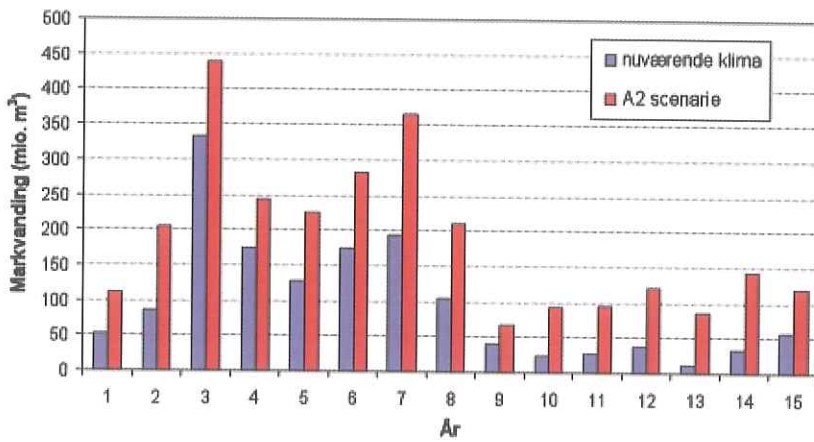
## Diskussion

Resultaterne viser, at klimaændringerne alene har den største effekt på vandkredsløbet, hvor det primært er grundvandsstanden og vinterafstrømningen i vandløbene, som påvirkes kraftigt. Valget af klimascenarium har stor betydning for størrelsen af grundvandsdannelse og grundvandsstand. Effekten af stigende CO<sub>2</sub>-koncentration på transpirationen kan yderligere forstærke disse tendenser, idet det vil øge både grundvandsstand og vandføringen i vandløbene. De lokale antropogene påvirkninger viser sig imidlertid også at være vigtige. Markvandingens behov kan forventes at stige markant i et A2-scenarium med et forbrug på op til det dobbelte af det nuværende. Det vil påvirke vandløbsafstrømningen i sensommeren betydeligt udover det, som klimaændringerne i sig selv giver anledning til. Det skal bemærkes, at det fremtidige vandingsbehov foruden klimaet også vil være bestemt af arealanvendelse og dyrkningspraksis. Det er i vandingsberegningerne antaget, at begge dele forbliver uforandret, hvilket sandsynligvis ikke vil være tilfældet.

Effekten af ændringer i arealanvendelse, både fra græs til skov men også mht. ændret vækstsæson, er forholdsvis ringe. Det skyldes bl.a., at det samlede areal, som har fået en an-



Figur 3 Markvandingskanon i funktion (foto: Janne Hansen, AU/DJF)



**Figur 4** Total markvanding i modelområdet i mio. m<sup>3</sup>/år for nutids- og A2-scenarierne. Tidsaksen er 15 successive modelår, hhv. for nutidigt og fremtidigt klima. Der er taget udgangspunkt i årrækken 1990-2004 (nutidigt klima) og for at komme til fremtidsklimaet er tidsrækkerne for hhv. nedbør, fordampning og temperatur transformeret, så de repræsenterer et A2-klima defineret for perioden 2071-2100.

den vegetationstype er relativ lille, og at effekten derfor er ubetydelig for større områder. Hvis man lavede tilsvarende opgørelser på lokal skala (som den anvendte model ikke er velegnet til), dvs. for de områder, hvor ændringerne i arealanvendelse er sket, ville effekten sandsynligvis være betydeligt større. Den manglende effekt kan muligvis også skyldes, at de parameterværdier, der er brugt til at karakterisere hhv. græs og skov, ikke er repræsentative. Der er betydelig usikkerhed på størrelsen af de afgrødespecifikke parametre, som anvendes i modellen, og der er derfor behov for at betragte de præsenterede resultater med et vist forbehold.

## Konklusion

Det er undersøgt, hvordan to forskellige klimascenarier, effekten af stigende CO<sub>2</sub>-koncentration på transpirationen, markvanding og ændringer i arealanvendelse har på vandkredsløbet i Vestjylland. Med undtagelse af

ændringerne i arealanvendelse viser de øvrige påvirkninger sig at have markante effekter på det hydrologiske system, hvor den største enkeltfaktor udgøres af klimændringerne.

De præsenterede resultater udgør kun en meget begrænset undersøgelse af de potentielle ændringer, der kan formodes at ske i fremtiden. F.eks. er analysen af ændringer i arealanvendelse forholdsvis simpel, som dels skyldes problemer med at forudsige, hvordan arealanvendelsen vil ændre sig, og dels problemer med at angive troværdige vegetations-specifikke parametre for de forskellige afgrødetyper. Man kan yderligere forestille sig, at der vil ske andre indgreb i systemet, som kan få signifikante hydrologiske effekter. Hvis fremtidens klima bliver så vådt i vinterhalvåret, som klimamodellerne forudsiger, må man forvente en øget dræning via udbygning af markdræning og uddybning af vandløb, således at landbrugsarealerne kan benyttes til dyrkning i hele vækstsæsonen. Desuden er

det sandsynligt, at tørre og varme somre alt andet lige vil give anledning til et større vandforbrug til husholdninger, selv om ændringen må forventes at være beskeden i forhold til markvandingsbehovet.

For at gennemføre en grundig analyse af konsekvenserne af mulige lokale antropogene ændringer, er det en forudsætning, at der opstilles en række scenarier for, hvor og hvordan disse ændringer kan formodes at udvikle sig, og at disse scenarier anvendes i den hydrologiske model.

LIEKE VAN ROOSMALEN er hydrolog og ansat som postdoc ved GEUS, Øster Voldgade 10, 1350 Kbh. K, lvr@geus.dk

TORBEN OBEL SONNENBORG er hydrolog og ansat som seniorforsker ved GEUS, Øster Voldgade 10, 1350 Kbh. K., tso@geus.dk

KARSTEN HØGH JENSEN er professor ved Institut for Geografi og Geologi, Københavns Universitet, Øster Voldgade 10, 1350 Kbh. K, khj@geo.ku.dk

## Referencer

- Roosmalen, L.V., Sonnenborg, T.O. og Jensen, K.H. 2009: The impact of climate and land-use changes on the hydrology of a large-scale agricultural catchment, *Water Resources Research.*, 45, 1-18, doi:10.1029/2007WR006760.
- Henriksen, H.J., Trolldborg, L., Nyegaard, P., Sonnenborg, T.O., Refsgaard, J.C. og Madsen, B. 2003: Methodology for construction, calibration and validation of a national hydrological model for Denmark, *Journal of Hydrology*, 280, 52-71.
- Kruijff, B., Witte, J.-P. M., Jacobs, C.M.J., og Kroon, T. 2008: Effects of rising atmospheric CO<sub>2</sub> on evapotranspiration and soil moisture: A practical approach for the Netherlands, *Journal of Hydrology*, 349, 257-267, doi: 10.1016/j.jhydrol.2007.10.052.
- Schelde, K., Børgesen, C.D. og Olesen, J.E. 2009: Landbrugets arealanvendelse i et varmere klima, *Vand & Jord*, dette nummer.

**Table 1.** Resultater for vandbalancen for de enkelte modeller i mm/år.  $Q_{feb}$  og  $Q_{sep}$  angiver middelvandføringen i hhv. februar og september måned. I parentes ses ændringen i forhold til model nr. 1 i procent, med undtagelse af trykniveauet, hvor ændringen er angivet i meter.

Nr	Scenarium	Nedbør (mm)	Aktuel fordampning (mm)	Grundvandsdannelse (mm)	Markvanding (mm)	Trykniveau (m)	$Q_{feb}$ (m <sup>3</sup> /s)	$Q_{sep}$ (m <sup>3</sup> /s)
1	Nu eks. indvinding	1073	492	550	0	31,70	34,0	18,5
2	B2 eks. indvinding	1233 (+ 16%)	537 (+ 9%)	663 (+ 21%)	0	32,15 (+ 0,45)	46,4 (+ 37%)	18,8 (+ 2%)
3	A2 eks. indvinding	1189 (+ 12%)	541 (+ 10%)	617 (+ 12%)	0	31,98 (+ 0,28)	46,8 (+ 38%)	17,0 (- 8%)
4	A2 eks. indvinding inkl. CO <sub>2</sub> -effekt	1189 (+ 12%)	493 (+ 0%)	664 (+ 21%)	0	32,14 (+ 0,44)	49,5 (+ 46%)	17,9 (- 3%)
5	Nu inkl. indvinding	1073 (+ 0%)	506 (+ 3%)	560 (+ 2%)	18	31,45 (- 0,25)	32,9 (- 3%)	17,4 (- 6%)
6	A2 inkl. indvinding	1189 (+ 12%)	576 (+ 17%)	634 (+ 15%)	34 (+ 89%*)	31,62 (- 0,08)	44,6 (+ 31%)	14,8 (- 20%)

\* Ændringen er beregnet i forhold til model nr. 5