

DANISH METEOROLOGICAL INSTITUTE

MINISTRY OF TRANSPORT

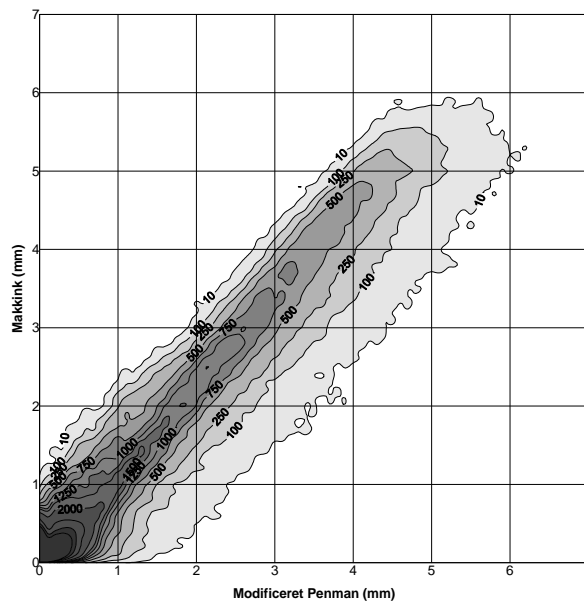
TECHNICAL REPORT

01-19

KLIMAGRID - DANMARK

Sammenligning af potentiel fordampning beregnet ud fra Makkinks formel og den modificerede Penman formel

Mikael Scharling



COPENHAGEN 2001

Indholdsfortegnelse

1.	INDLEDNING	3
2.	RESULTATER	4
2.1	FORSKELLE BEREGNET PÅ DØGNVÆRDIER	4
2.2	FORSKELLE BEREGNET PÅ MÅNEDSVÆRDIER.....	6
2.3	FORSKELLE BEREGNET PÅ ÅRSVÆRDIER	7
3.	KONKLUSION	10

Bilag 1:	Beregning af potentiel fordampning efter den modificerede Penman formel
Bilag 2:	Beregning af potentiel fordampning efter Makkinks formel
Bilag 3:	Temperatur - årsmiddel (beregnet for årene 1990 til og med 2000)
Bilag 4:	Vindhastighed - årsmiddel (beregnet for årene 1990 til og med 2000)
Bilag 5:	Relativ luftfugtighed - årsmiddel (beregnet for årene 1990 til og med 2000)

Symbolliste

E	Potentiel fordampning (mm)
E_m	Potentiel fordampning beregnet efter Makkink (mm)
E_p	Potentiel fordampning beregnet efter den modificerede Penman (mm)
T	Lufttemperatur (°C)
rh	Luftfugtighed (%)
u	Vindhastighed (m/s)
S_i	Globalstråling (MJ/m ²)

1. Indledning

Nærværende rapport beskriver daglige, månedlige og årlige forskelle i den beregnede potentielle fordampning (E) for gridceller beregnet ud fra hhv. den modificerede Penman formel (E_p) og Makkinks formel (E_m).

Danmarks Meteorologiske Institut (DMI) har ved beregning af klimadata i mange år benyttet en modificeret Penman formel¹ foreslået af Danmarks Jordbrugsforskning (DJF) i 1991² ved beregning af den daglige potentielle fordampning.

I formlen indgår en række empiriske konstanter, samt følgende klimatiske input variable: temperatur (T), luftfugtighed (rh)³, vindhastighed (u) og globalstråling (S_i). Formlen er opbygget af to led, et strålingsled og et vindled, hvoraf det antages at strålingsleddet normalt er af størst betydning. Formlen kræver en høj kvalitet af input data, og giver gode resultater på døgnbasis.

Makkinks metode til beregning af E er en mere simplificeret formel⁴ sammenlignet med Penman. Det mindre betydende vindled, der indgår i Penmans formlen, er ikke medtaget og rh er således trukket ud af beregningen. Resultatet er en robust formel, hvor de to eneste klimavariabler der indgår er T og S_i . Udtrykket giver generelt gode månedlige og årlige summer, men formår ikke i samme omfang som Penman, at beskrive regionale forskelle i fordampningen.

I forbindelse med en ny undersøgelse af beregningen af E , har DJF⁵ anbefalet brug af Makkink frem for Penman.

Alle beregninger i nærværende rapport bygger på griddata⁶ fra perioden 1990 til og med 2000.

Sammenligningen mellem E_p og E_m på dagligt niveau er pga. den store datamængde foretaget på 20x20 km gridcelle-værdier (>700.000 enkelt-værdier). For figurer der illustrerer måneds- og årsværdier er der benyttet 10x10 km gridpunkt-værdier.

¹ Se bilag 1.

² Formel 2,9 i Mikkelsen, H.E. & Olesen J.E. (1991): Sammenligning af metoder til bestemmelse af Potentiel vandfordampning." Landbrugsministeriet, Statens Planteavlsvforsøg, Tidsskrift for Planteavl Specialserie, Beretning nr. S2157.

³ Simpel døgnmiddel af rh , jævnfør rapport: Scharling, M. (2001): "Klimagrid - Danmark, Sammenligning af potentiel fordampning beregnet ud fra den modificerede Penman formel med og uden en revideret bestemmelse af luftfugtigheden. DMI Technical Report 01-18, Trafikministeriet, DMI.

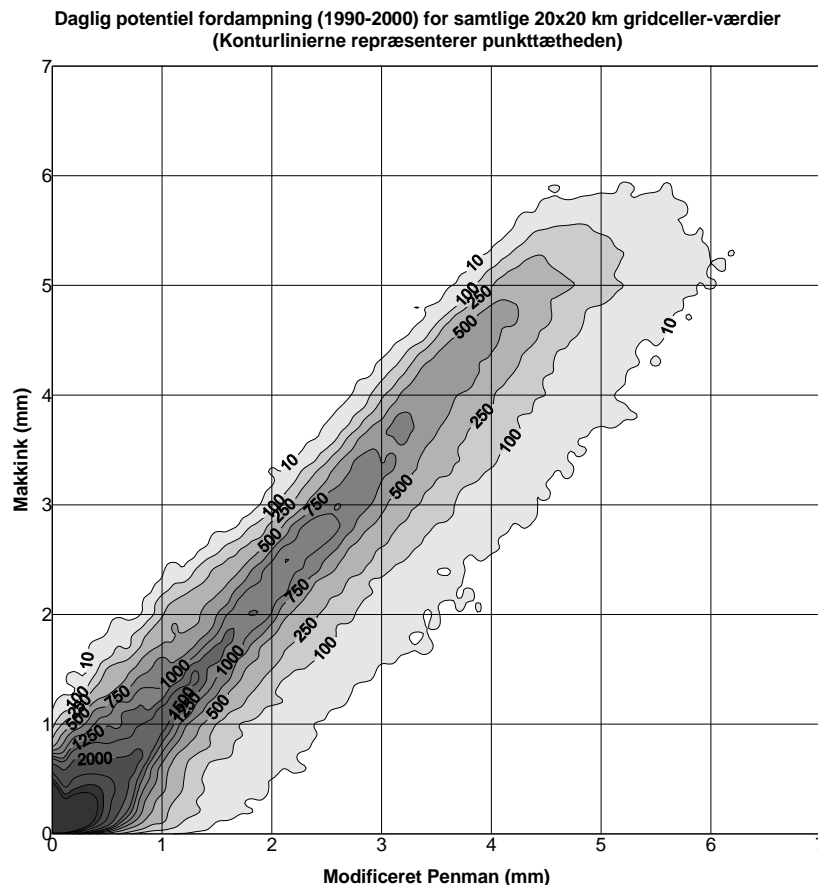
⁴ Se bilag 2.

⁵ Detlefsen N. K. & Plauborg F. (2001): "Revurdering af metoder til beregning af referencefordampning (potentiel fordampning)" DJF rapport Nr. 61- Markbrug. Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri. Danmarks JordbrugsForskning.

⁶ Scharling, M. (1999): "Klimagrid - Danmark, Nedbør, lufttemperatur og potentiel fordampning, 20x20 og 40x40 km. DMI Technical Report 99-12, Trafikministeriet, DMI.

2. Resultater

2.1 Forskelle beregnet på døgnværdier

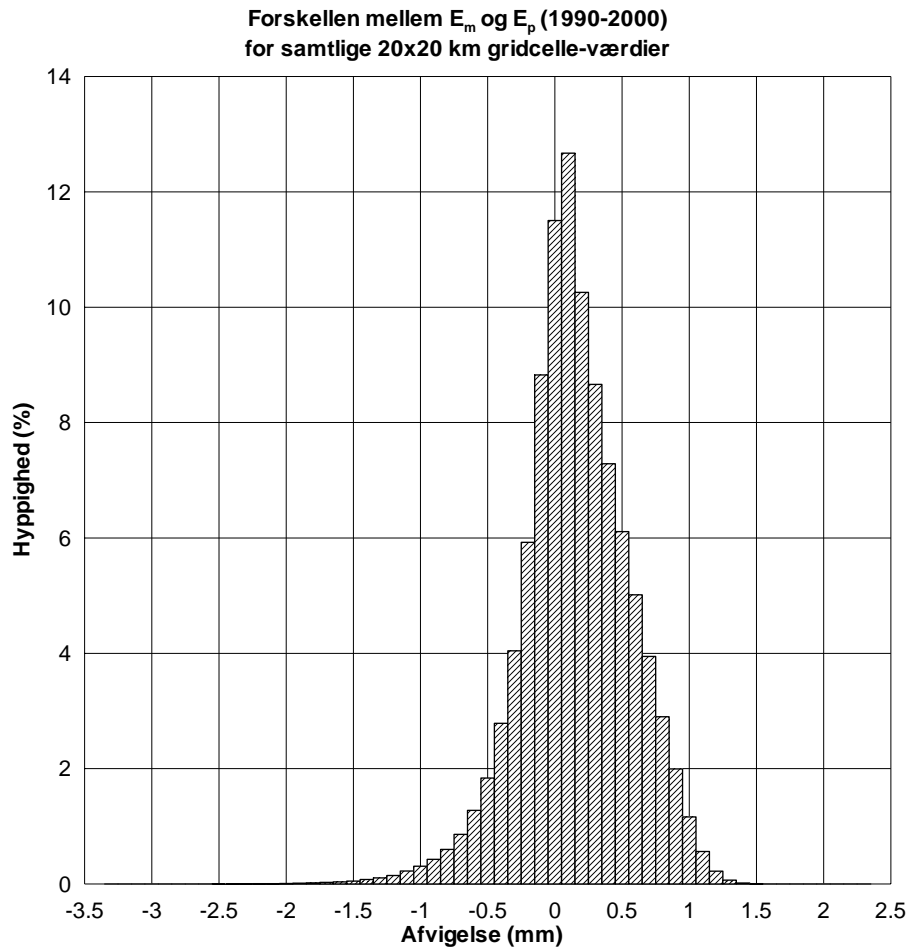


Figur 1: Potentiel fordampning - døgnværdier

Det ses umiddelbart af figur 1, at størstedelen af værdierne ligger under 1 mm's fordampning, hvilket skyldes den ofte lave fordampning i efterårs-, forårs- og vintermånederne.

Generelt beregner Makkink en noget højere fordampning end Penman og i mange tilfælde, hvor Penman giver værdien nul, beregner Makkink en lille fordampning.

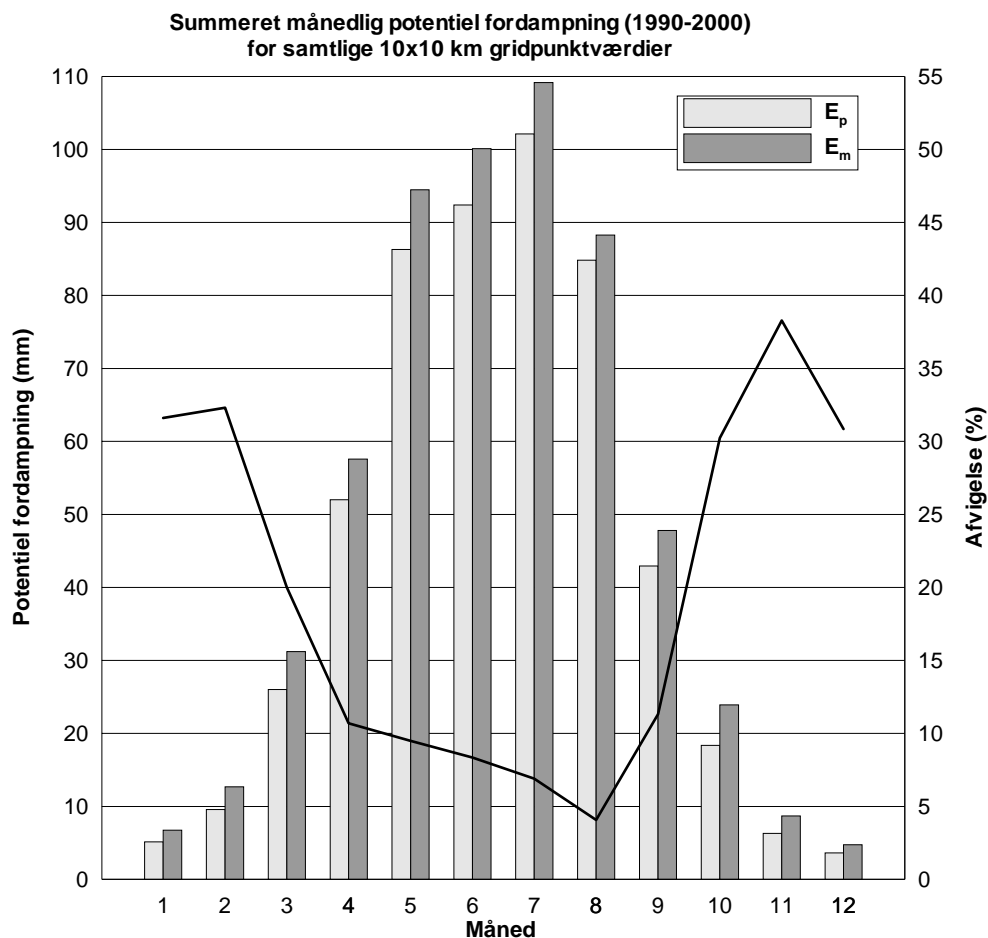
Det fremgår også, at der generelt er større variation i Penman-værdierne og at få af disse overstiger Makkink-værdierne. Denne tendens kan enten tilskrives dage eller lokaliteter med lav rh eller med relativ høj u, hvilket typisk vil indtræffe i kystnære områder.



Figur 2: Fordeling af differenser mellem E_m og E_p på døgnbasis

Figur 2 viser fordelingen af differencer på døgnbasis ($E_m - E_p$). Ca. 28 % af afvigelserne er negative, mens ca. 61 % er positive. Den gennemsnitlige daglige forøgelse af E_m set i forhold til E_p beløber sig til ca. 0,15 mm.

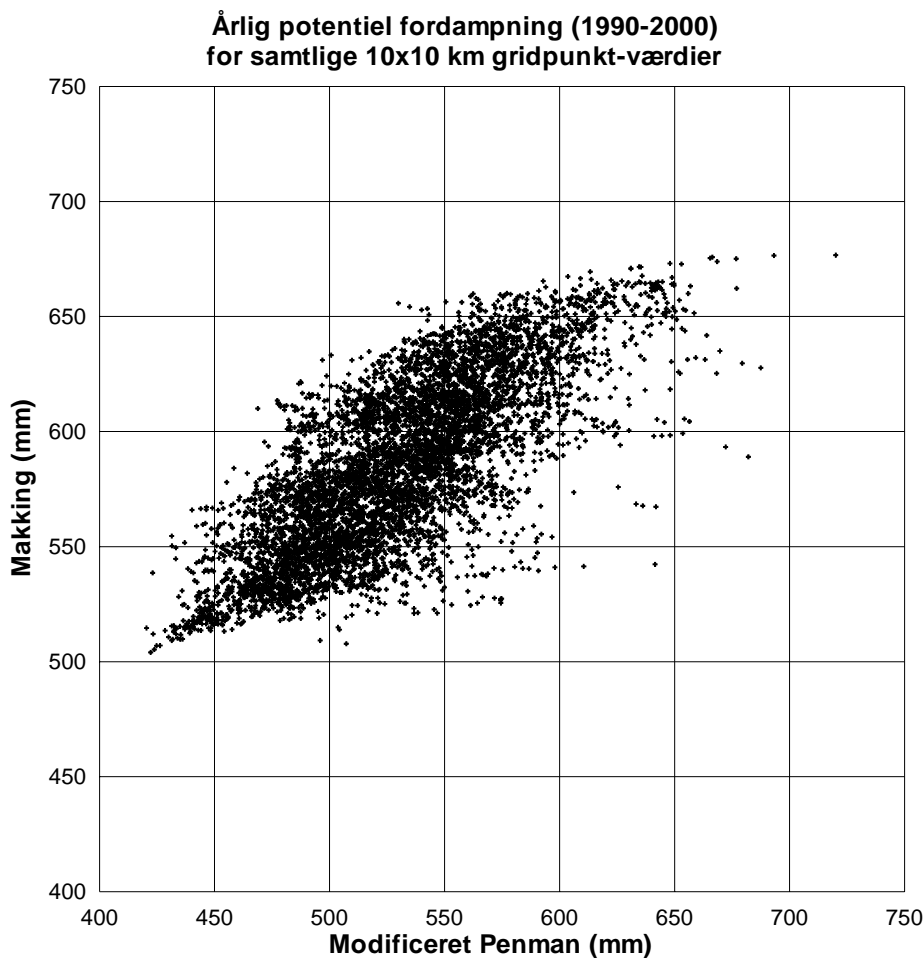
2.2 Forskelle beregnet på månedsværdier



Figur 3: Månedlige fordampningssummer

På figur 3 ses det, at de absolutte middelværdierne for E_m på månedsbasis konsekvent ligger højere end E_p og samtidigt er størst i sommerhalvåret, hvor E er stor. Den procentvise forskel varierer modsat af den absolutte forskel og er således lavest i sommermånedene, hvor den ligger mellem 4 og 8 %. I efterår- og vintermånedene ligger den procentvise forskel mellem 31 og 37 %. Den store relative fejl kan forklares ved at datagrundlaget for udvikling af begge metoder i det væsentligste er baseret på tal for vækstperioden (april-oktober). Selvom E er lille i de resterende måneder, bidrager den alligevel med 24 % af den samlede forskel mellem E_p og E_m på årlig basis.

2.3 Forskelle beregnet på årsværdier



Figur 4: Årlige fordampningssummer

Ovenstående figur 4 angiver i scatterdiagramform de årlige fordampningssummer beregnet ud fra hhv. modifieret Penman og Makking. Det fremgår, at der er en rimelig høj spredning mellem de to datasæt og korrelation (R^2) er således beregnet til 0,58. Niveautet af de laveste Makking-værdier er godt og vel 80 mm højere end Penman-værdierne, mens forskellen mellem de maksimale værdier ikke er særlig stor. Middeltallet for E_p er 530 mm/år mod E_m der er 585 mm/år. Det vil sige, at ved at benytte Makking øges fordampningen med gennemsnitlig 10,5 % eller 56 mm pr. år på landsplan.

De to figurer 5 og 6 på følgende side illustrerer tydeligt forskellene i resultaterne mellem de to beregningsmetoder. Penmans fordampnings-niveau følger i høj grad kystlinien, hvilket kan tilskrives temperaturens⁷ og vindhastighedens⁸ forløb, i nogen grad ændringer i globalstråling (se figur 7). Den spatiale udvikling i luftfugtigheden⁹ er lille og spiller derfor en mindre rolle.

⁷ Bilag 3.

⁸ Bilag 4.

⁹ Bilag 5.

Der ses ikke i samme grad ændringer i E_m , når man bevæger sig fra indland og ud mod kysten. Det bemærkes, at E for det centrale Jylland er øget med 70-90 mm for Makkinks vedkommende, mens forskellene i kystnære områder er mindre, som følge af forøgelsen i E_p .

Potentiel fordampning årsmiddel 1990-2000 (mm)
beregnet på basis af Makkinks formel



Figur 5: Konturkort for E_m på årsbasis

Potentiel fordampning årsmiddel 1990-2000 (mm)
beregnet på basis af den modificerede Penman formel



Figur 6: Konturkort for E_p på årsbasis

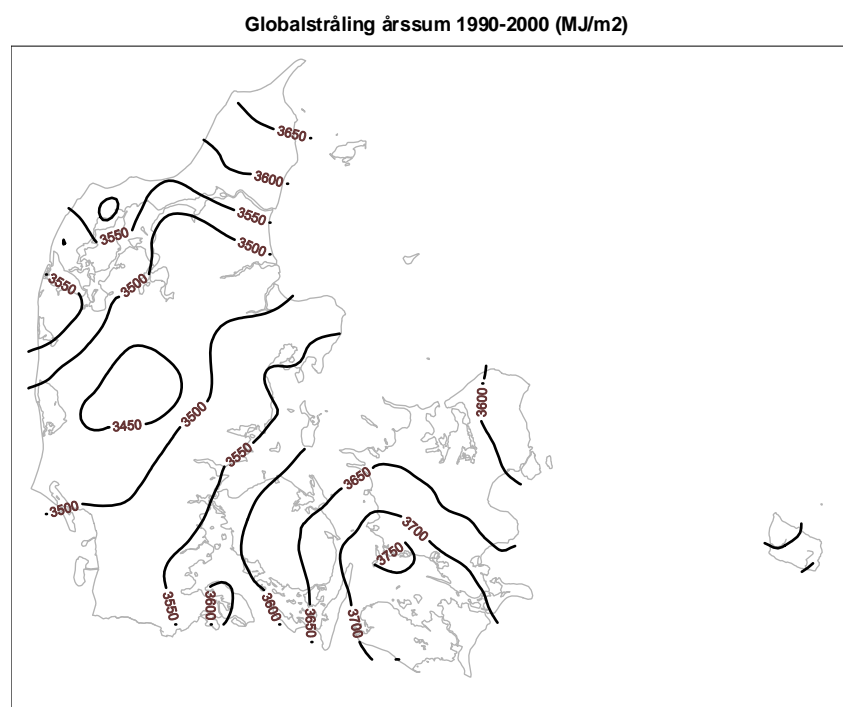
Figur 7 angiver årssummen for S_i beregnet for årene 1990 til og med 2000 beregnet på baggrund af de automatiske klimastationer, der er bestykket med globalstrålingsmålere.

Jævnfør rapporten der beskriver den gridningsmetode¹⁰ der anvendes til beregning af gridværdier i Klimagrid Danmark, er antallet af globalstrålingsmålere for lavt til at der kan laves en såkaldt ”dobbel-interpolering”, der tager hensyn til den klimatiske ændring mellem kyst og land. Der er derfor benyttet en mere simpel interpolationsmetode, hvilket betyder at gridværdierne ikke udviser helt den spatiale variation, man klimatisk set kan forvente i Danmark.

Dette har betydning for beregningen af den potentielle fordampning, idet: sammenfaldet mellem S_i -konturlinierne og fordampnings-konturlinierne (figur 5) er forventelig højt og viser, at Makkinks formel i høj grad styres af niveauet af den globale indstråling.

Det må derfor konkluderes, at ved at benytte Makkink i Klimagrid Danmark, vil man få et noget mere generaliseret billede af den spatiale variation i beregningen af den pot. fordampning i forhold til f.eks. at benytte Penman-beregningen, hvor der indgår flere variable, der er bestemt ud fra en dobbelt-interpolation.

Det skal i denne sammenhæng nævnes at DMI er i gang med at øge antallet af globalstrålingsmålere i forbindelse med en modernisering af målestationsnettet i Danmark.



Figur 7: Konturkort for S_i på årsbasis

¹⁰ Scharling, M. (1999): “Klimagrid - Danmark, Nedbør, lufttemperatur og potentiel fordampning, 20x20 og 40x40 km. DMI Technical Report 99-12, Trafikministeriet, DMI.

3. Konklusion

Ved at benytte Makkinks formel frem for Penmans, forøges E på årsbasis med ca. 10,5 % eller lidt over 56 mm på landsplan.

På daglig basis vil Makkink i ca. 28 % af tilfældene give lavere værdier end Penman, og i ca. 61 % af tilfældene give højere værdier. Den gennemsnitlige daglige forøgelse af E er ca. 0,15 mm.

For alle måneder i året beregner Makkink en højere fordampning end Penman på landsplan. Den absolutte forskel er størst i sommermånederne, mens den relative forskel er størst i vintermånederne.

Niveauet af de højeste årlige fordampningstal ligger tæt på hinanden for de to beregningsmetoder, mens Makkink forøger de laveste værdier med 70-90 mm.

Den spatiale variation er mindre for E_m end for E_p .

Bilag 1 - Beregning af den potentielle fordampning efter den modificerede Penman formel

Potentiel fordampning beregnes på døgnværdiniveau efter en modificeret Penman, (formel [2.9] i Mikkelsen, H.E. & Olesen J.E (1991): “*Sammenligning af metoder til bestemmelse af potentiel vandfordampning*”. Landbrugsministeriet, Statens Planteavlsvforsøg, Tidsskrift for Planteavl Specialserie, Beretning nr. S 2157).

$$E_p = \beta_{A0} + \beta_{A1} \frac{sS_i}{\lambda(s + \gamma)} + \beta_{A2} \frac{\gamma f(u_2)(e_s - e_a)}{s + \gamma}$$

hvor

E_p :	Potentiel fordampning ($\text{mm} \cdot \text{døgn}^{-1}$)
λ :	Vands fordampningsvarme, $\lambda = 2.465 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$
γ :	Psykrometerkonstant, $\gamma = 0.667 \text{ hPa} \cdot \text{°C}^{-1}$
β_{A0} - β_{A2} :	Empiriske konstanter
s :	Damptrykskurvens hældning ($\text{hPa} \cdot \text{°C}^{-1}$)
S_i :	Globalstråling ($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{døgn}^{-1}$)
e_s :	Mættede dampes tryk (hPa)
e_a :	Aktuelt damptryk (hPa)
$f(u_2)$:	$f(u_2) = 0.263(0.5 + 0.54u_2)$ ($\text{mm} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{døgn}^{-1}$)
u_2 :	Vindhastighed i 2 m's højde ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
u_{10} :	Vindhastighed i 10 m's højde ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)

og

$$\begin{aligned} \beta_{A0} &= 0.114 - 0.0659 \cos(\omega) + 0.0451 \sin(\omega) - 0.0851 \cos(2\omega) - 0.0031 \sin(2\omega) \\ \beta_{A1} &= 0.083 - 0.4629 \cos(\omega) + 0.0354 \sin(\omega) - 0.0914 \cos(2\omega) - 0.0286 \sin(2\omega) \\ \beta_{A2} &= 0.963 - 0.1707 \cos(\omega) + 0.0123 \sin(\omega) - 0.0419 \cos(2\omega) - 0.0381 \sin(2\omega) \end{aligned}$$

i hvilke

$$\omega = \frac{2\pi p d}{365} \quad \text{hvor } d \text{ er døgnnummeret i året}$$

Vindhastigheden i 2 m beregnes efter:

$$u_2 = \frac{\ln(2/z_0)}{\ln(10/z_0)} u_{10} \quad \text{hvor } z_0 \text{ (ruhedslængden) sættes } = 0,01 \text{ m}$$

Aktuelt damptryk beregnes efter:

$$e_a = \frac{rh}{100} e_s$$

rh: Relativ luftfugtighed (%), simpelt døgnmiddel

og hvor e_s , og s beregnes ved hjælp af de empiriske formler:

$$e_s = c_0 + c_1t + c_2t^2 + c_3t^3 + c_4t^4 + c_5t^5 + c_6t^6$$

$$s = c_1 + 2c_2t + 3c_3t^2 + 4c_4t^3 + 5c_5t^4 + 6c_6t^5$$

t: Døgnmiddeltemperatur ($^{\circ}\text{C}$)

og konstanterne er givet ved:

	$t \geq 0$	$t < 0$
c_0	6.108	6.109
c_1	$4.437 \cdot 10^{-1}$	$5.035 \cdot 10^{-1}$
c_2	$1.429 \cdot 10^{-2}$	$1.886 \cdot 10^{-2}$
c_3	$2.651 \cdot 10^{-4}$	$4.176 \cdot 10^{-4}$
c_4	$3.031 \cdot 10^{-6}$	$5.825 \cdot 10^{-6}$
c_5	$2.034 \cdot 10^{-8}$	$4.839 \cdot 10^{-8}$
c_6	$6.137 \cdot 10^{-11}$	$1.839 \cdot 10^{-10}$

Bilag 2 - Beregning af den potentielle fordampning efter Makkinks formel

Potentiel fordampning beregnes på døgnværdiniveau efter Makkinks formel, (formel [2.13] i Mikkelsen, H.E. & Olesen J.E (1991): “Sammenligning af metoder til bestemmelse af potentiel vandfordampning”. Landbrugsministeriet, Statens Planteavlsvforsøg, Tidsskrift for Planteavl Specialserie, Beretning nr. S 2157).

$$E_m = \beta_{M0} + \beta_{M1} \frac{sS_i}{\lambda(s + \gamma)}$$

hvor

E_m :	Potentiel fordampning ($\text{mm} \cdot \text{døgn}^{-1}$)
λ :	Vands fordampningsvarme, $\lambda = 2.465 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$
γ :	Psykrometerkonstant, $\gamma = 0.667 \text{ hPa} \cdot \text{°C}^{-1}$
$\beta_{M0} + \beta_{M1}$:	Empiriske konstanter
s :	Damptrykskurvens hældning ($\text{hPa} \cdot \text{°C}^{-1}$)
S_i :	Globalstråling ($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{døgn}^{-1}$)

og

$$\beta_{M0} = 0$$

$$\beta_{M1} = 7$$

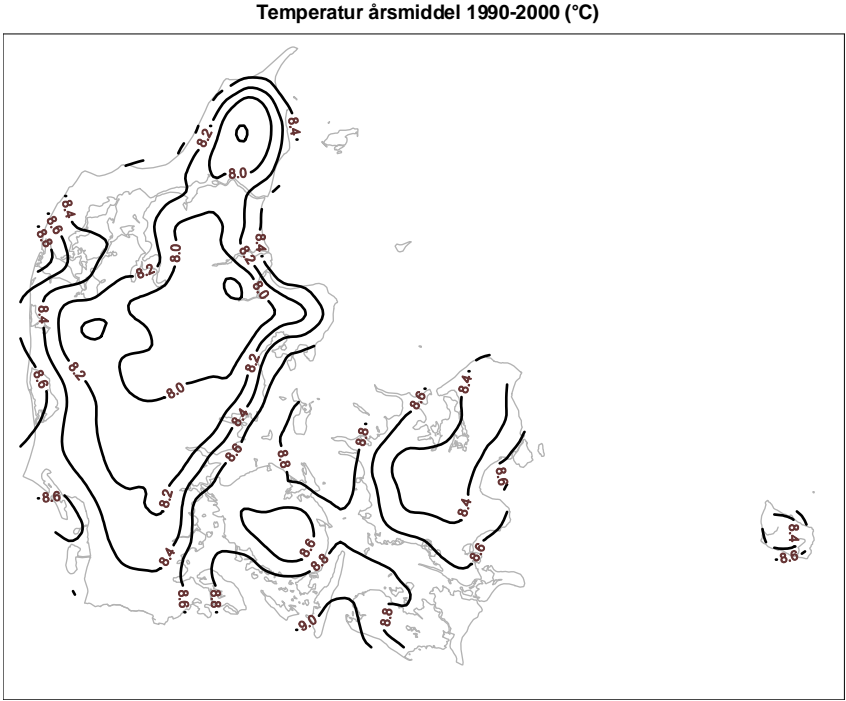
$$s = c_1 + 2c_2t + 3c_3t^2 + 4c_4t^3 + 5c_5t^4 + 6c_6t^5$$

i hvilke t : Døgnmiddeltemperatur (°C)

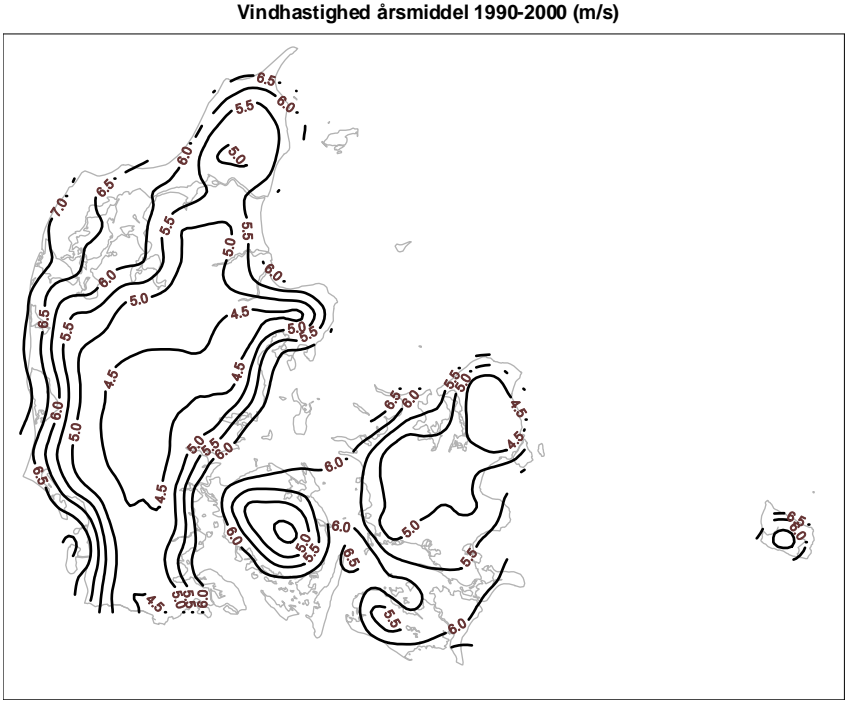
og konstanterne er givet ved:

	$t \geq 0$	$t < 0$
c_0	6.108	6.109
c_1	$4.437 \cdot 10^{-1}$	$5.035 \cdot 10^{-1}$
c_2	$1.429 \cdot 10^{-2}$	$1.886 \cdot 10^{-2}$
c_3	$2.651 \cdot 10^{-4}$	$4.176 \cdot 10^{-4}$
c_4	$3.031 \cdot 10^{-6}$	$5.825 \cdot 10^{-6}$
c_5	$2.034 \cdot 10^{-8}$	$4.839 \cdot 10^{-8}$
c_6	$6.137 \cdot 10^{-11}$	$1.839 \cdot 10^{-10}$

Bilag 3 – Temperatur - årsmiddel (beregnet for årene 1990 til og med 2000)



Bilag 4 – Vindhastighed - årsmiddel (beregnet for årene 1990 til og med 2000)



Bilag 5 – Relativ luftfugtighed - årsmiddel (beregnet for årene 1990 til og med 2000)

