

# **Systembeskrivelse vandbalanceprogram 'Vandregnskab II'**

## Indholdsfortegnelse:

|                                                        |       |
|--------------------------------------------------------|-------|
| Introduktion                                           | s. 2  |
| Afgrødemodel                                           | s. 3  |
| -temperatursummer                                      | s. 4  |
| -fænologisk udvikling                                  | s. 5  |
| -bladarealudvikling                                    | s. 6  |
| -grønt bladareal                                       | s. 7  |
| -gult bladareal                                        | s. 10 |
| -rodudvikling                                          | s. 11 |
| Afgrødegrupper                                         | s. 13 |
| -græsafgrøder                                          | s. 13 |
| -vårafgrøder                                           | s. 18 |
| -vinterafgrøder forår                                  | s. 26 |
| -efterafgrøde og overvintrende afgrøder efterår/vinter | s. 31 |
| -bar jord                                              | s. 34 |
| Jordfysiske forhold                                    | s. 34 |
| Vandbalancemodel                                       | s. 37 |

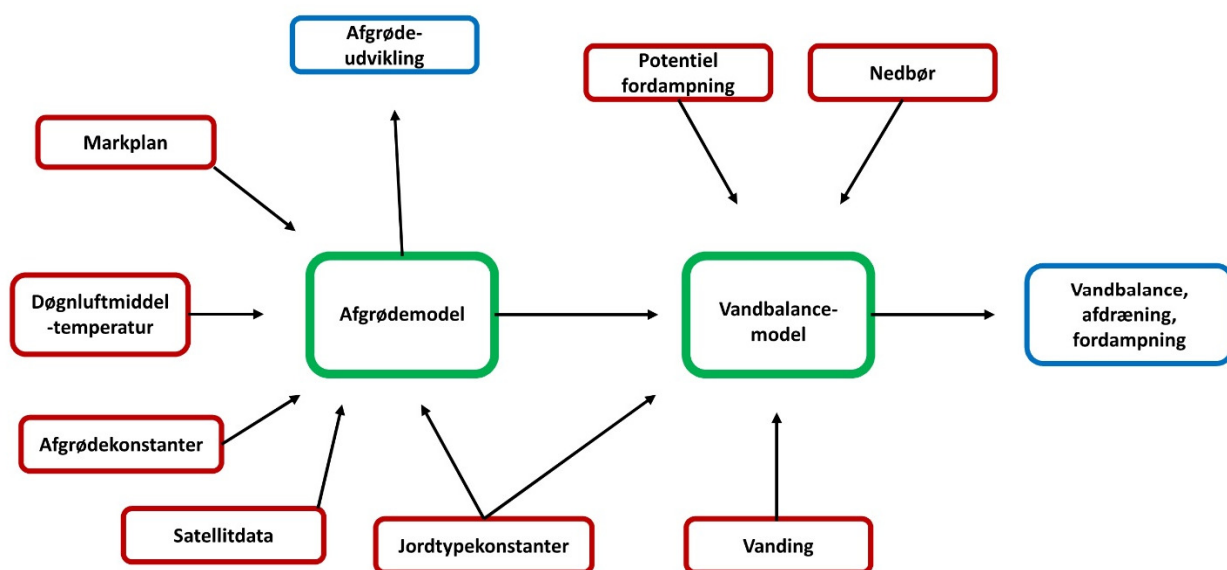
## **Nyt vandbalanceprogram 'Vandregnskab II' systembeskrivelse**

En ny model til beregning af afgrødeudvikling og vandbalancer skal tage udgangspunkt i de nuværende modeller i henholdsvis programmet Vandregnskab Online og programmet EvaCrop, der begge oprindeligt er udviklet ved Aarhus Universitet i begyndelsen af 1990'erne. Den nyeste viden på området indbygges i modellen, der på sigt kommer til at anvende datainput fra forskellige nye kilder, herunder lokale klimastationer, sensordata og satellitdata. Der udarbejdes her en detaljeret faglig kravspecifikation for og beskrivelse af et selvstændigt programmodul, der kan levere data til forskellige faglige styrings- og beregningsværktøjer. Beskrivelsen bygger i udstrakt grad på publikationen af Plauborg og Olesen (1991) om udviklingen og valideringen af MARKVAND-modellen.

### **Introduktion**

Programmet Vandregnskab Online er udviklet som et værktøj til støtte for beslutning om vanding i jordbruget. I programmet simuleres afgrødeudvikling og vandbalance på markniveau, og med baggrund i prognosedata anviser systemet vandingstidspunkter og mængder. Vandregnskab Online bygger på MARKVAND-modellen (Plauborg og Olesen 1991) og det kommende program til beregning af afgrødeudvikling og vandbalancer, som ligeledes bygger på MARKVAND-modellen, kaldes her Vandregnskab II.

Vandregnskab II er opbygget omkring MARKVAND-modellens afgrødemodel og vandbalancemodel, standarder for forskellige jordtyper og afgrøder, samt et brugerinterface til håndtering af ind- og uddata. På sigt skal en beslutningsmodel for vanding tilføjes, ligesom det skal blive muligt at anvende satellitbaserede målinger af afgrøderne. Modellen omfatter afgrøderne græs, tidlige, middel-tidlige og sildige kartofler, sukker- og fodersukkerroer, vinter- og vårbyg, vinterhvede, vinterrug, vinter- og vårraps, majs og ærter, samt desuden efterafgrøder med forskellige såtidspunkter; sået som udlæg tidligt/sent før høst og sået efter høst af hovedafgrøde. Eventuelle øvrige afgrøder vil blive tilknyttet eksisterende modeller, evt. med mindre modifikationer. Der opereres på daglige tids-skridt og styrende inddata til systemet er tidstro værdier for døgnmiddeltemperatur, daglig potentiel fordampning og nedbør (+vanding). I Figur 1 er vist strømmen af ind- og uddata i Vandregnskab II-programmet.



Figur 1: Dataflow i Vandregnskab II.

I de følgende afsnit redegøres nærmere for systemets modeller samt ind- og uddataparametre.

## 1. Afgrødemodel

Afgrødevækst og -udvikling er forårsaget af et komplekst sammenspil mellem biologisk/genetiske og fysisk/kemiske forhold. Under optimale vækstbetingelser kan vækst og udvikling i fysisk baserede modeller simuleres med kendskab til de meteorologiske forhold. I simple modeller indgår ofte alene lufttemperaturen som styrende variabel. For eksempel anvender Aslyng og Hansen (1982) alene temperatursum til at styre bladarealudviklingen i forskellige afgrøder.

I Vandregnskab II – som i Vandregnskab Online og MARKVAND-systemet – indgår en simpel model til simulering af bladarealudvikling, fænologisk udvikling og rodudvikling i forskellige afgrøder. I Vandregnskab Online/MARKVAND-systemet antages det, at afgrødeudviklingen starter ved samme tidspunkt,  $t_0$ , der i vårafgrøder er en fremspiringsdato angivet af brugeren og i overvintrende afgrøder er vækststart defineret ved en temperatursum beregnet fra 1. marts. I Vandregnskab II beregnes vækststart i overvintrende afgrøder ligeledes ved en temperatursum fra 1. marts, mens fremspiring,  $t_0$ , for vårafgrøder beregnes ved en temperatursum fra sådato. Sådatoen er enten den angivne i markplanen i Mark Online eller en default-dato bestemt af afgrødesort.

Vandregnskab Online/MARKVAND-systemet kører fra 1. marts til 1. november med én afgrødemodel i denne periode. Vandregnskab II kører hele år fra 1. marts til 1. marts året efter, hvor vandbalancen nulstilles til markkapacitet. Der kører altid en afgrødemodel (eller evt. barjordsmodel) og starter således altid en ny afgrødemodel, når en afgrødemodel afsluttes.

I særligt fælde med udvikling af to afgrøder samtidigt – som i majs med udlæg – kan der blive behov for, at programmet kan håndtere kørsel af 2 parallelle modeller. Den endelige beslutning omkring dette tages med input fra Aarhus Universitet.

### Temperatursummer

Temperatursummer udregnes ved ligning 3.1 på grundlag af døgnmiddellufttemperatur som en sum af temperaturer større end en valgt basistemperatur. Summeringen påbegyndes ved en given dato.

$$S_a^b = \sum_{t=a}^b (T_t - T_b)_+ \quad (3.1)$$

hvor  $S_a^b$  er temperatursum beregnet fra dag  $a$  til  $b$ , °C,

$T_t$  er det  $t$ 'te døgns middellufttemperatur, °C,

$T_b$  er basistemperaturen, °C,

Tilsvarende kan datoen  $t_s$  til en given temperatursum  $S$  og startdato  $a$  beregnes ved:

$$t_s = \min(t : S_a^t \geq S) \quad (3.2)$$

I afgrødemodellen er valgt basistemperaturen  $T_b = 0^\circ \text{C}$ .

Fremspiringsdatoen  $t_0 = t_{S_{L0}}$  for vårafgrøder fastsættes i Vandregnskab II, som nævnt ovenfor, på grundlag af sådatoen og temperatursummen  $S_{L0}$ . Datoen for vækststart i græsafgrøder og vinterafgrøder beregnes ligeledes som  $t_0 = t_{S_{L0}}$  på grundlag af temperatursummen  $S_{L0}$  og startdatoen 1. marts. Det antages, at væksten af vinterafgrøder i et normalt år starter den 16. april, hvilket er lig

med en  $S_{L0}$  på 142 °C. Dato for vækststart kan ligeledes, som i Vandregnskab Online/MARK-VAND-systemet, angives af brugeren. Datoen for start på vinterperioden  $t_v$  sættes til 1. november. Denne dato antages ligeledes at definere vækststop i overvintrende afgrøder.

De generelle formler til beregning af afgrødeudviklingen præsenteres i det følgende. Konkret anvendelse af disse samt eksempler på standardværdier for modelparametre præsenteres i afsnittene omhandlende græsafgrøder, vårafgrøder, vinterafgrøder forår og overvintrende afgrøder efterår.

### Fænologisk udvikling

Den fænologiske udvikling  $F$  beregnes ved ligning 3.3. Ved fænologisk udvikling forstås i denne sammenhæng en opdeling af vækstperioden i vækstfaser, hvor afgrøden udviser en karakteristisk tørkefølsomhed. Antallet af vækstfaser i vækstperioden varierer fra afgrøde til afgrøde. Vækstfaserne betegnes  $F_l$ , hvor  $l$  kan antage værdier fra 1 til en maksimumsværdi  $l_x$  afhængig af afgrøde,  $\max(l) \in [1, 5]$ . Længden af vækstfasen  $F_l$ ,  $l_x = 1, \dots, l_x$ , bestemmes ved temperatursummen  $S_{Fl}$ . Endvidere bestemmes længden af vækstfasen  $F_l$  ved et brugerangivet eller default høsttidspunkt  $t_h$  samt af tidspunktet  $t_v$ . Standardværdier for temperatursummen  $S_{Fl}$  er angivet i afsnittene omhandlende de enkelte for dette relevante afgrøder.

$$F = \begin{cases} e.d. & t < t_0 \\ F_l & t_{(l-1)} \leq t \leq \min[t_l, t_{lx}, t_v, t_h] \\ e.d. & t \geq \min[t_{lx}, t_v, t_h] \end{cases} \quad (3.3)$$

hvor

$$t_l = t_{S_{Fl}} \quad (3.4)$$

$F$  betegner vækstfase,

$F_l$  er den  $l$ te vækstfase,  $l_x = 1, \dots, l_x$ ,

$(l) \in [1, 5]$ ,

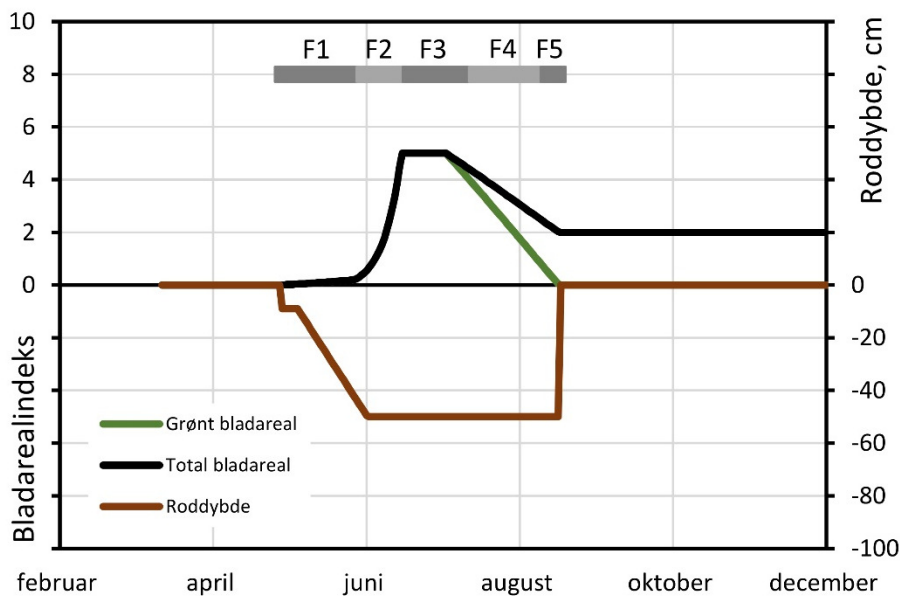
$S_{Fl}$  er temperatursumskrav for vækstfase  $F_l$ ,

$t_{S_{Fl}}$  beregnes ud fra  $S_{Fl}$  og startdatoen  $t_{(l-1)}$ ,

$t_0$  og  $t_v$  er givet som tidligere nævnt, og

$t_h$  er høsttidspunkt.

Et eksempel på simulering af en ærteafgrødes vækstfaser er vist i Figur 2. Vækstperioden er opdelt i 5 faser  $F_1 - F_5$ , der simuleres ud fra henholdsvis temperatursummerne  $S_{F1} - S_{F5}$  og startdatoerne  $t_0 - t_4$ .



Figur 2: For ærter simuleret grønt og total bladarealindeks, effektiv roddybde og vækstfaser i et normalt år. Fremspiringsdato  $t_0$  er 17. maj. Høsttidspunkt  $t_h$  er ikke defineret. Maksimal effektiv roddybde  $z_x$  er sat til jordtypens (her jb 1) maksimale effektive roddybde  $z_{xJ}$ .

### Bladarealudvikling

Bladarealudviklingen beskrives ved størrelsen af det totale bladarealindeks  $L$  (ligning 3.5), det grønne bladarealindeks  $L_g$  og størrelsen af det gule bladarealindeks  $L_y$ .

$$L = L_g + L_y \quad (3.5)$$

Ved det grønne og gule bladarealindeks forstås det ensidigt målte areal af henholdsvis grøn og gul afgrødetop pr. arealenhed.  $L_g$  og  $L_y$  ved ligningerne 3.6 og 3.7.

### Grønt bladareal.

$$\begin{array}{ll}
 \text{Eller}^1: & \left\{ \begin{array}{ll} L_{gv} & t < t_0 \\ L_{gv} + (L_{ge} - L_{gv}) \left( \frac{S_{t_0}^t}{S_{Le}} \right) & t_0 \leq t \leq t_{S_{Le}} \\ L_{gv} + (L_{ge} - L_{gv}) \left( \frac{S_{t_0}^t}{S_{Le}} \right) & t_0 \leq t \leq \min[t_{S_{Le}}, t_v, t_h] \\ L_{ge} + (L_{gx} - L_{ge}) \left\{ \left[ \exp \left( 2.4 \frac{S_{t_0}^t - S_{Le}}{S_{Lx} - S_{Le}} \right) - 1 \right] / 10 \right\} & t_{S_{Le}} \leq t < t_{S_{Lx}} \\ L_{ge} + (L_{gx} - L_{ge}) \left\{ \left[ \exp \left( 2.4 \frac{S_{t_0}^t - S_{Le}}{S_{Lx} - S_{Le}} \right) - 1 \right] / 10 \right\} & t_{S_{Le}} \leq t < \min[t_{S_{Lx}}, t_v, t_h] \end{array} \right. & (3.6) \\
 L_g = & \left\{ \begin{array}{ll} L_{gx} & t_{S_{Lx}} \leq t < \min[t_{S_{Lr}}, t_v, t_h] \\ L_{gx} - (L_{gx} - L_{gm}) \left( \frac{S_{t_0}^t - S_{Lr}}{S_{Lm} - S_{Lr}} \right) & t_{S_{Lr}} \leq t < \min[t_{S_{Lm}}, t_v, t_h] \\ L_{gm} & t_{S_{Lm}} \leq t < \min[t_v, t_h] \\ L_{gm} & t_v \leq t \leq t_h \\ L_{gov} & t_v \leq t \leq t_h \\ 0 & t_h \leq t \end{array} \right. \\
 \text{Eller}^1: & 
 \end{array}$$

<sup>1</sup> Alternativ ligning til ovenstående ligning til senere beslutning.

hvor  $L_g$  er det grønne bladarealindeks,

$L_{gv}$  er  $L_g$  ved vækststart/fremspiring/høst af hovedafgrøde for udlæg,

$L_{ge}$  er  $L_g$ , hvor  $L_g$ 's vækstrate ændres fra konstant til eksponentiel,

$L_{gx}$  er maksimal  $L_g$ ,

$L_{gov}$  er overvintrende  $L_g$ ,

$L_{gm}$  er  $L_g$  ved fuldmodenhed,

$S_{t_0}^t$  er aktuel temperatursum på datoen  $t$ , °C,

$S_{Le}$  er temperatursumskrav, hvor  $L_g$ 's vækstrate ændres fra konstant til eksponentiel, °C,

$S_{Lx}$  er temperatursumskrav for maksimal  $L_g$ , °C,

$S_{Lr}$  er temperatursumskrav for begyndende gulfarvning af blade, °C,

$S_{Lm}$  er temperatursumskrav for vækststop/fuldmodenhed, °C,

$t_h$  er høsttidspunkt/nedmuldningsdato,

$t_v$  er vækststop, 1. november, og

$t_{S_{Le}}$ ,  $t_{S_{Lx}}$ ,  $t_{S_{Lr}}$  og  $t_{S_{Lm}}$  er beregnet på grundlag af temperatursummerne  $S_{Le}$ ,  $S_{Lx}$ ,  $S_{Lr}$  og  $S_{Lm}$  samt startdatoen  $t_0$ .

Det fremgår af ligning 3.6 og Figur 2, at det grønne bladarealindeks udvikles lineært fra en startværdi  $L_{gv}$  indtil  $L_{ge}$ , hvorefter  $L_g$  stiger eksponentielt indtil  $L_{gx}$ , der er maksimalt grønt bladarealindeks. Det grønne bladarealindeks er vedvarende maksimalt indtil begyndende indlejring i kerner og frø, hvor det antages, at begyndende gulfarvning af blade indtræder. Det grønne bladarealindeks aftager herefter lineært til slutværdien  $L_{gm}$ .

For overvintrende afgrøder oprettes en efterårs- og en forårsafgrøde med tilhørende temperatursummer, bladreal- og rodudviklingsparametre. Bladarealindekset og rodtybden antages at have et fast niveau i vinterperioden, der strækker sig fra vækststop  $t_v$  til 1. marts eller til nedmuldning for efterafgrøder. Vækststop  $t_v$  sættes til den 1. november. Bladarealindekset i vinterperioden benævnes



$L_{gov}$  og roddybden benævnes  $Z_{rov}$ . For alle overvintrende afgrøder antages, at hele bladarealindekset i vinterperioden tilhører det grønne bladarealindeks.

På sigt skal der i Vandregnskab II være mulighed for at korrigere det simulerede grønne bladarealindeks, hvis der foreligger en biomasseindeksmåling (NDVI, RVI) beregnet på baggrund af satellitdata. Aarhus Universitet arbejder på en fremgangsmåde for dette, som bl.a. skal angive et tidsmæssigt vindue for en sådan korrektion, en metode for omregning af biomasseindeks til bladarealindeks, samt en beregningsmåde for korrektionen af temperatursummer for bladarealindeks og fænologisk udvikling i modellen som følge af bladarealkorrektionen. Det skal ligeledes beslattes hvornår og i hvilke tilfælde satellitdata anvendes.

## Gult bladareal

$$L_y = \begin{cases} 0 & t < \min[t_{S_{Lr}}, t_v, t_h] \\ L_{ym} \left( \frac{S_{t_0}^t - S_{Lr}}{S_{Lm} - S_{Lr}} \right) & t_{S_{Lr}} \leq t < \min[t_{S_{Lm}}, t_v, t_h] \\ L_{ym} & t_{S_{Lm}} \leq t < \min[t_v, t_h] \\ L_{ym} & t_v \leq t \leq t_h \\ 0 & t \geq t_h \end{cases} \quad (3.7)$$

hvor  $L_y$  er det gule bladarealindeks,

$L_{ym}$  er  $L_y$  ved vækststop/fuldmodenhed,

$S_{t_0}^t$  er aktuel temperatursum på datoen  $t$ , °C,

$S_{Lr}$  er temperatursumskrav for begyndende gulfarvning af blade, °C,

$S_{Lm}$  er temperatursumskrav for vækststop/fuldmodenhed, °C,

$t_h$  er høsttidspunkt,

$t_v$  er vækststop, 1. november, og

$t_{S_{Lr}}$  og  $t_{S_{Lm}}$  er beregnet på grundlag af henholdsvis  $S_{Lr}$  og  $S_{Lm}$  samt startdatoen  $t_0$ .

Det gule bladarealindeks (ligning 3.7 og Figur 2) stiger lineært fra 0 til en maksimal værdi  $L_{ym}$  i perioden fra  $t_{S_{Lr}}$  til  $\min[t_{S_{Lm}}, t_v, t_h]$ . Der er i de to ligninger 3.6 og 3.7 sammenfald mellem tidspunktet, hvor det grønne bladarealindeks aftager og det gule bladarealindeks vokser.

Standardværdier for temperatursummerne  $S_{Lr}$ ,  $S_{Lx}$ ,  $S_{Lr}$  og  $S_{Lm}$  og bladarealindeks  $L_{gv}$ ,  $L_{ge}$ ,  $L_{gx}$ ,  $L_{gm}$ ,  $L_{gov}$ , samt  $L_{ym}$  er angivet i afsnittene omhandlende de enkelte afgrøder.

Generelt gælder, at temperatursummerne  $S_L$  er akkumuleret fra vækststart/fremspiring, således at  $S_{Le} < S_{Lx} < S_{Lr} < S_{Lm}$ . Dog er  $S_{Le}$  nul for afgrøder, hvor bladarealet er eksponentielt stigende fra vækststart/fremspiring.  $S_{Lr}$  sættes lig  $S_{Lm}$  for afgrøder, hvor der ikke regnes med lineært aftagende grønt bladarealindeks. Temperatursummerne  $S_{Fl}$  er derimod akkumuleret fra slut på forrige vækstfase. Endvidere gælder, at tidspunktet for fuldmodenhed  $t_{S_{Lm}}$  i simuleringen er sammenfaldende med tidspunktet for afslutning på vækstfase  $F_{lx}$ , idet  $S_{Lm} = \sum_{l=1}^{lx} S_{Fl}$ .

### Rodudvikling.

Rodudviklingen beregnes ud fra ligningen 3.10.

$$\begin{aligned}
 z_r = & \begin{cases} z_0 & t < t_0 \\ \min \left[ z_x, \max \left[ z_v, c_r (t - t_0) \right] \right] & t_0 \leq t < \min[t_{S_{Lm}}, t_v, t_h] \\ z_m & t_{S_{Lm}} \leq t < \min[t_v, t_h] \\ z_m & t_v \leq t < t_h \\ \text{Eller}^1: & z_{rov} & t_v \leq t < \min(t_h, 1.\text{marts}) \\ & 0 & t_h \leq t \end{cases} \quad (3.10)
 \end{aligned}$$

hvor  $z_r$  er effektiv roddebyde, mm,

$z_0$  er roddebyde før vækststart/fremspiring, mm,

$z_v$  er startroddebyde, mm,

$z_x$  er maksimal effektiv roddebyde, mm, og bestemmes ved ligning 3.11,

$z_m$  er roddebyde ved fuldmodenhed, mm,

$z_{rov}$  er overvintrende roddebyde, mm,

---

<sup>1</sup> Alternativ ligning til ovenstående ligning til senere beslutning.

$C_r$  er rodvæksthastighed, mm dag<sup>-1</sup>,

$(t - t_0)$  er antal dage efter vækststart/fremspiring, og

$t_{S_{Lm}}$  er dato for fuldmodenhed.

Det fremgår af Figur 2 og ligning 3.10, at rodudviklingen i ært beskrives lineært fra  $t_0$  med en tilvækst på  $C_r$  fra en given startroddybde  $z_v$  til en given maksimal effektiv roddybde  $z_x$ , hvorefter roddybden er konstant indtil  $t_{S_{Lm}}$ , såfremt  $t_h$  ikke er angivet. Herefter er roddybden  $z_m$ . Når  $t_v$  passerer sættes roddybden til  $z_{rov}$  indtil nedmuldning eller 1. marts.

Den effektive roddybde  $z_r$  angiver dybden, hvor afgrøden kan udnytte alt plantetilgængeligt vand og er ofte betydelig lavere end den faktiske roddybde (Madsen og Holst, 1987). Rodvæksthastigheden  $C_r$  antager værdien 12 mm dag<sup>-1</sup> for græs og 15 mm dag<sup>-1</sup> for øvrige afgrøder. Tilsvarende rodvæksthastigheder er anvendt af Aslyng og Hansen (1982).

Standardværdier for  $z_0$ ,  $z_v$ ,  $z_m$ ,  $z_{rov}$ <sup>1</sup>,  $C_r$  og  $z_{xA}$  er givet i afsnittene om de enkelte afgrøder.

1

Maksimal effektiv roddybde  $z_x$  bestemmes ved ligning 3.11.

$$z_x = \begin{cases} \min[z_{xJ}, z_{xA}] & J_{(obs)} \text{ e.d.} \\ \min[z_{xJ}', z_{xA}] & J_{(obs)} \text{ d.} \end{cases} \quad (3.11)$$

hvor  $z_{xJ}$  og  $z_{xA}$  er maksimal effektiv roddybde bestemt af henholdsvis jordtype og afgrøde.

Det ses af ligning 3.11, at den maksimale effektive roddybde er bestemt af jordtype og afgrøde.

Endvidere er  $z_x$  bestemt af, om yderligere oplysninger vedrørende jorden  $J_{(obs)}$  er defineret. Værdier for  $z_{xJ}$  og  $z_{xJ}'$  fremgår af afsnit ”3. Jordfysiske forhold”.

---

<sup>1</sup>  $z_{rov}$  angivet i Evacrop-beskrivelse for græs (200 mm), vinterhvede (150 mm) og vårbyg m. udlæg (200 mm).

## 2. Afgrødegrupper

### Græsafgrøder

Græsafgrøder (alm. rajgræs) kan gennem vækstsæsonen benyttes til slæt, afgræsning og staldfodring. Disse tre forskellige benyttelser betegnes under et som afhugning.

Tabel 3.1: Bladarealindeks  $L_g$  og temperatursumskrav  $S$  (°C) for simulering af bladareal i græsafgrøde.

| $L_{gv}$ | $L_{gov}$        | $L_{gx}$ | $L_{gm}$ | $L_{gC}$ | $S_{Lx}$ |
|----------|------------------|----------|----------|----------|----------|
| 0,5      | 1,0 <sup>1</sup> | 5,0      | 0,5      | 0,5      | 303      |

Det antages i modellen, at græsafgrøden forbliver i den vegetative fase  $F_1$  gennem hele vækstperioden, idet afgrøden betragtes som en grovfoderafgrøde og ikke som en frøafgrøde. Den fænologiske udvikling beregnes ved ligning 3.3, hvor  $l_x = 1$  og  $t_{SF1} = t_v$ .

Det totale bladarealindeks  $L$  beregnes alene ud fra det grønne bladarealindeks  $L_g$ , idet der ikke regnes med gult bladareal. Bladarealudviklingen er udover temperaturen bestemt af afhugningstidspunkter. Det grønne bladarealindeks beregnes ved ligning 3.12, der er et specialtilfælde af ligning 3.6. Ligningsparametrene er angivet i Tabel 3.1.

$$L_g = \begin{cases} L_{gv} & t < t_0 \\ \min[L_{gx}, L_{gF1}] & t_0 \leq t < \min[t_{C1}, t_v] \\ L_{gC} & t_{Cj} \leq t < \min[t_{S_{Lagj}}, t_v] \\ \min[L_{gx}, L_{gF2}] & t_{S_{Lagj}} \leq t < \min[t_{C(j+1)}, t_v] \\ L_{gm} & t_v > t \\ {}^2 L_{gov} & t_v \leq t \leq 1. \text{ marts} \end{cases} \quad (3.12)$$

<sup>1</sup> Angivet i Evacrop-beskrivelse

<sup>2</sup> Indsat til senere beslutning

hvor

$$L_{gF1} = L_{gv} + (L_{gx} - L_{gv}) \left\{ \left[ \exp(2.4 \frac{S_{t_0}^t}{S_{Lx}}) - 1 \right] / 10 \right\}$$

$$L_{gF2} = L_{gv} + (L_{gx} - L_{gv}) \left\{ \left[ \exp(2.4 \frac{S_{t_{S_{Lagj}}}^t}{S_{Lx}}) - 1 \right] / 10 \right\}$$

$$S_{Lag1} = \begin{cases} 13 & S_{t_0}^{t_{C_1}} < 420 \\ 54 & S_{t_0}^{t_{C_1}} \geq 420 \wedge t_{C_1} < 1. \text{ august} \\ 40 & S_{t_0}^{t_{C_1}} \geq 420 \wedge t_{C_1} \geq 1. \text{ august} \end{cases}$$

$$S_{Lagj} = \begin{cases} S_{Lag1} & j = 1 \\ 40 & j > 1 \wedge S_{t_{C_{(j-1)}}}^{t_{C_j}} \geq 420 \\ 13 & j > 1 \wedge S_{t_{C_{(j-1)}}}^{t_{C_j}} < 420 \end{cases}$$

$L_g$  er det grønne bladarealindex,

$L_{gv}$  er  $L_g$  ved vækststart,

$L_{gov}$  er overvintrende  $L_g$ ,

$L_{gx}$  er maksimal  $L_g$ ,

$L_{gm}$  er  $L_g$  ved vækststop,

$L_{gC}$  er bladarealindeks efter afhugning,

$S_{t_0}^t$  er aktuel temperatursum på datoen  $t$ , °C,

$S_{Lx}$  er temperatursumskrav for maksimal  $L_g$ , °C,

$t_{S_{Lagj}}$  er beregnet ud fra temperatursummen  $S_{Lagj}$  og startdatoen  $t_{C_j}$ , og

$t_{C_j}$  er dato for den  $j$ 'te afhugning,  $j \in [1, 10]$ .

$t_0$  og  $t_v$  er givet som tidligere nævnt.

Det ses af ligning 3.12 og Tabel 3.1, at bladarealindekset  $L_g$  vokser eksponentielt fra 0.5 ved vækststart til enten maksimalt 5.0 eller en størrelse, der er bestemt af første afhugningstidspunkt. Bladarealindekset efter afhugning er 0.5. Efter afhugning forbliver bladarealindekset 0.5 i en lagperiode. Herefter stiger bladarealindekset igen eksponentielt til enten maksimalt 5.0 eller en størrelse, der er bestemt af næste afhugningstidspunkt. Ved vækststop aftager bladarealindekset til 0.5<sup>1</sup>. Lagperioden er betegnelsen på det tidsrum efter slæt, hvor græsafgrøden ikke udviser synlige tegn på genvækst. Lagperiodens længde bestemmes af temperatursummen  $S_{Lagj}$  og er afhængig af slætudbytte og slætnummer. Et stort slæt er defineret ved (et udbytte på 4-6 tons og) en temperatursum på mindst 420°C. Lagperiodens længde er for store slæt ca. 3 dage svarende til en temperatursum på 40°C, dog ca. 4 dage svarende til 54 °C efter det første store slæt før 1. august. Lagperioden for små slæt er ca. 1 dag svarende til 13 °C. Reglerne for lagperiodens længde er givet af Ib Kristensen og Karen Søegaard (personlig meddelelse).

Modelkonstanterne  $L_{gv}$ ,  $L_{gx}$ ,  $L_{gm}$ , <sup>2</sup> $L_{gov}$ , og  $L_{gC}$  er fastlagt ud fra tidligere erfaringer fra forsøg med græs. Tilsvarende størrelsesorden er anvendt af Aslyng og Hansen (1982). Temperatursumskravene for maksimalt bladarealindeks  $S_{Lx}$  (Tabel 3.1) er udregnet under anvendelse af normaler for døgnmiddellufttemperatur med antagelse om, at vækststart i et normalt år er den 16. april.

Rodudvikling beregnes ved ligning 3.10, hvor  $t_{S_{Ln}} = t_v$ . Ligningsparametrene er givet i tabel 3.2. Den maksimale effektive roddebyde hos græs er afhængig af benyttelsen. Madsen og Holst (1987) angiver 600 mm for kort afgræsset græs. Aslyng og Hansen (1982) angiver 1000 mm for græs til slæt. I den her anvendte simple model for rodvækst antages den maksimale effektive roddebyde  $z_{xA}$  konstant lig 900 mm (Tabel 3.2), idet græsmarken kan anvendes til både slæt, afgræsning og staldfodring.

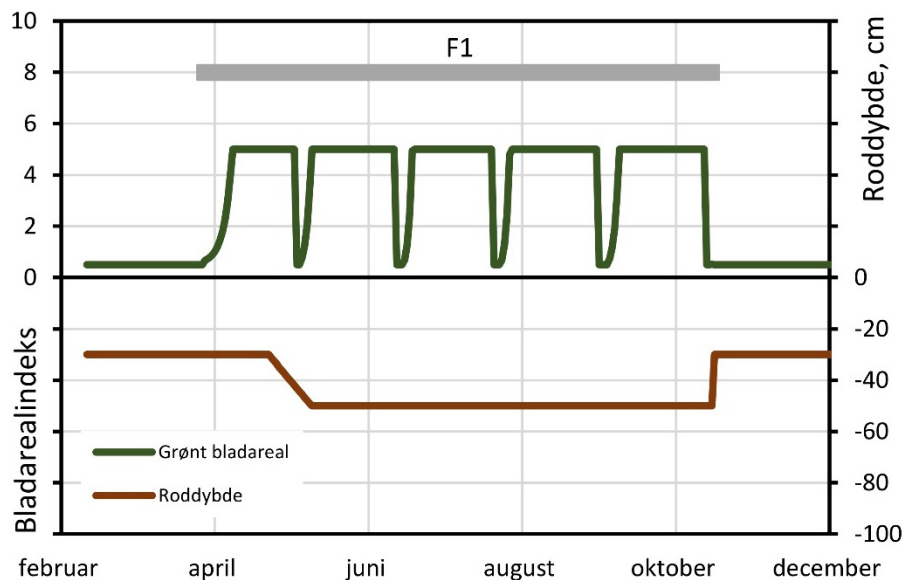
<sup>1</sup> Angivet til 1.0 i Evacrop-beskrivelse.

<sup>2</sup> Angivet i Evacrop-beskrivelse for græs (1.0), vinterhvede (0.5) og vårbyg m. udlæg (1.0).

Tabel 3.2: Effektiv roddybde  $z_r$  og rodvækstrate  $C_r$  for en græsafgrøde.

| $z_0$ | $z_v$ | $z_{rov}$ | $z_{xA}$ | $z_m$ | $C_r$                |
|-------|-------|-----------|----------|-------|----------------------|
| mm    | mm    | mm        | mm       | mm    | mm dag <sup>-1</sup> |
| 300   | 300   | 200       | 900      | 300   | 12                   |

Simulering af afgrødeudviklingen i et normalt år med 4 slæt er vist i Figur 3.4. Slættidspunkterne er henholdsvis den 31/5, 6/7, 10/8 og 19/9. Beregnede temperatursummer for de 4 slæt samt datoer for ophør af lagperioder er givet i Tabel 3.3.



Figur 3.4: For en græsafgrøde med 5 slæt simuleret grønt bladareal og effektiv roddybde i et normalt år. Slættidspunkterne er henholdsvis den 22/5, 30/6, 7/8, 17/9 og 29/10. Maksimal effektiv roddybde  $z_x$  er sat til jordtypens (jb 1) maksimale effektive roddybde  $z_{xJ}$ .



Tabel 3.3: Temperatursummer (°C) i et normalt år for en afgrøde med 4 slæt.

| Vækstperiode |      | Temperatursummer          |            |
|--------------|------|---------------------------|------------|
|              | Dato | $S_{t_{C(j-1)}}^{t_{Cj}}$ | $S_{Lagj}$ |
| vækststart   | 16/4 |                           |            |
| 1. slæt      | 31/5 | 438                       |            |
| 1. lag       | 4/6  |                           | 54         |
| 2. slæt      | 6/7  | 552                       |            |
| 2. lag       | 8/7  |                           | 40         |
| 3. slæt      | 10/8 | 590                       |            |
| 3. lag       | 12/8 |                           | 40         |
| 4. slæt      | 19/9 | 582                       |            |
| 4. lag       | 22/9 |                           | 40         |
| vækststop    | 1/11 |                           |            |

Det ses af Tabel 3.3, at alle slæt er af kategorien store slæt, idet temperatursummen  $S_{t_{C(j-1)}}^{t_{Cj}}$  er større end 420 °C. Følgelig er lagperioden efter første slæt 5 dage svarende til en temperatursum på mindst 54 °C. Efter andet til fjerde slæt er lagperioden 3 dage svarende til en temperatursum på mindst 40 °C.

### Vårafgrøder

Vandregnskab II omfatter følgende vårafgrøder: Fodersukker- og sukkerroer, vårbyg, vårraps, ærter, majs samt tidlige, middeltidlige og sildige kartofler. Eventuelle øvrige afgrøder vil blive knyttet til eksisterende model, evt. med mindre modifikationer.

Den fænologiske udvikling i vårafgrøderne beregnes ved ligning 3.3. Ligningsparametrene er givet i Tabel 3.4. De enkelte vækstfaser  $F_l$  angives ved egentlige fænologiske navne. Navngivningen fremgår af Tabel 3.5. Temperatursumskravene i Tabel 3.4 indikerer afslutningen på de enkelte vækstfaser og er beregnet med udgangspunkt i normaler for døgnmiddellufttemperatur samt data for vækstfasers beliggenhed i vækstperioden. Data for vækstfaser i bederoer er indhentet hos Anonym (1985). Data for vækstfaser i ært er uddraget fra Anonym (1985), Flengmark (1984) og Flengmark

(1985), Flengmark (1986) og Flengmark (1987a). Data for kartofler er uddraget fra Jørgensen og Edlefsen (1987), Jørgensen (1984), Anonym (1985) samt S.E. Hansen (personlig meddelelse). Data for vårbyg er uddraget fra Mogensen (1980), Andersen (1980), Gallagher et al. (1976), Aslyng og Hansen (1982) samt Anonym (1985). Data for vårraps er uddraget fra Flengmark (1985), Flengmark (1986), Flengmark (1987a) og Anonym (1985). Data for vækstfaser i majs er uddraget fra Pedersen (1986), Flengmark (1987b), Jensen (1988), Jensen (1989) og Anonym (1985).

Tabel 3.4: Temperatursumskrav  $S_F$  (°C) for vækstfaser  $F_l$  og for fremspiring  $S_{L0}$  i vårafgrøder,  $l \in [1, l_x]$ .

| Afgrøde                  | $S_{L0}^1$ | $S_{F1}$ | $S_{F2}$ | $S_{F3}$ | $S_{F4}$ | $S_{F5}$ | $l_x$ |
|--------------------------|------------|----------|----------|----------|----------|----------|-------|
| bederoer <sup>1)</sup>   | 200        | 235      | 187      | 975      | 1197     | -        | 4     |
| ærter                    | 150        | 292      | 219      | 398      | 444      | 78       | 5     |
| kartofler, tidlige       | 300        | 110      | 80       | 263      | 685      | 295      | 5     |
| kartofler, middeltidlige | 300        | 136      | 54       | 421      | 779      | 271      | 5     |
| kartofler, sildige       | 300        | 136      | 60       | 438      | 824      | 293      | 5     |
| vårbyg                   | 110        | 294      | 449      | 113      | 461      | 162      | 5     |
| vårraps                  | 140        | 190      | 365      | 207      | 575      | 248      | 5     |
| majs                     |            | 397      | 691      | 476      | 247      | 761      | 5     |
| Evt. øvrige              |            |          |          |          |          |          |       |

1) gælder for både fodersukker- og sukkerroer

Tabel 3.5: Fænologisk betegnelse for vækstfase  $F$  i vårafgrøder.

| Afgrøde                 | $F_1$          | $F_2$          | $F_3$         | $F_4$      | $F_5$   |
|-------------------------|----------------|----------------|---------------|------------|---------|
| bederoer <sup>1)</sup>  | bladdannelse 1 | bladdannelse 2 | roddannelse   | modning    | -       |
| ærter                   | vegetativ 1    | vegetativ 2    | blomstring    | indlejring | modning |
| kartofler <sup>2)</sup> | vegetativ 1    | vegetativ 2    | knolddannelse | knoldvækst | modning |
| vårbyg                  | vegetativ 1    | vegetativ 2    | skridning     | indlejring | modning |
| vårraps                 | vegetativ 1    | vegetativ 2    | blomstring    | indlejring | modning |
| majs                    | vegetativ 1    | vegetativ 2    | blomstring    | indlejring | modning |

<sup>1</sup> Angivet i Evacrop-beskrivelse.

|        |                                                             |  |  |  |  |
|--------|-------------------------------------------------------------|--|--|--|--|
| Øvrige |                                                             |  |  |  |  |
| 1)     | gælder for både fodersukker- og sukkerroer                  |  |  |  |  |
| 2)     | gælder for både tidlige, middeltidlige og sildige kartofler |  |  |  |  |

Det totale bladarealindeks beregnes ved ligning 3.5. Det grønne og gule bladarealindeks beregnes ved henholdsvis ligning 3.6 og 3.7. Det voksende grønne bladareal i ærter, bederoer og majs beskrives fra fremspiring først lineært tiltagende og senere eksponentielt stigende. For de øvrige afgrøder beskrives det voksende bladareal alene ved en eksponentialfunktion. Der regnes ikke med gult og aftagende grønt bladareal i bederoer. Eksempler på ligningsparametre er givet i tabel 3.7 og 3.8.

Tabel 3.7: Bladarealindeks  $L_g$  og  $L_y$  i vårafgrøder.

| Afgrøde                 | $L_{gv}$ | $L_{ge}$ | $L_{gx}$ | $L_{gm}$ | $L_{ym}$ |
|-------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| bederoer <sup>1)</sup>  | 0,0      | 0,1      | 5,0      | 0,0      | 0,0      |
| ærter                   | 0,0      | 0,2      | 5,0      | 0,0      | 2,0      |
| kartofler <sup>2)</sup> | 0,0      | 0,0      | 5,0      | 0,0      | 2,0      |
| vårbyg                  | 0,0      | 0,0      | 5,0      | 0,0      | 2,0      |
| vårraps                 | 0,0      | 0,0      | 5,0      | 0,0      | 2,0      |
| majs                    | 0,0      | 0,5      | 5,0      | 0,0      | 2,0      |
| Evt. øvrige             |          |          |          |          |          |

1) gælder for både fodersukker- og sukkerroer

2) gælder for både tidlige, middeltidlige og sildige kartofler

Maksimalt grønt og gult bladarealindeks i vårafgrøderne varierer fra år til år, men kan i simple modeller sættes til henholdsvis 5.0 og 2.0 (Aslyng og Hansen, 1982; Aslyng og Hansen, 1985).

Temperatursumskravene, der er bestemmende for udviklingen i vårafgrødernes bladarealindeks fremgår af tabel 3.8. Temperatursumskravet for udvikling af bladarealindeks i ært er beregnet på baggrund af data præsenteret af Mikkelsen og Andreasen (1984) samt målinger fra den mikrometeorologiske station i Foulum (Olesen, 1987). Temperatursumskravene for bederoer, kartofler, vårbyg og vårraps er beregnet med udgangspunkt i data fra Aslyng og Hansen (1982) og Aslyng og Hansen (1985).

Tabel 3.8: Temperatursumskrav  $S(^{\circ}\text{C})$  for simulering af bladareal i vårafgrøder.

| Afgrøde                  | $S_{Le}$ | $S_{Lx}$ | $S_{Lr}$ | $S_{Lm}$ |
|--------------------------|----------|----------|----------|----------|
| bederoer <sup>1)</sup>   | 81       | 907      | 2594     | 2594     |
| ærter                    | 250      | 471      | 720      | 1431     |
| kartofler, tidlige       | 0        | 601      | 1043     | 1433     |
| kartofler, middeltidlige | 0        | 601      | 1314     | 1661     |
| kartofler, sildige       | 0        | 601      | 1349     | 1751     |
| vårbyg                   | 0        | 400      | 1070     | 1479     |
| vårraps                  | 0        | 393      | 1355     | 1585     |
| majs                     | 420      | 740      | 1808     | 2572     |
| Evt. øvrige              |          |          |          |          |

1) gælder for både fodersukker- og sukkerroe

Rodudviklingen i vårafgrøderne beregnes ved ligning 3.10. Eksempler på ligningsparametre er givet i tabel 3.9. Fastlæggelse af maksimal effektiv roddeby  $z_{xA}$ , når teksten i jorden ikke er begrænsende for rodudviklingen, er baseret på Aslyng og Hansen (1982), Madsen og Holst (1987), Mikkelsen og Andreasen (1984), Andersen (1986) og Aslyng (1978).

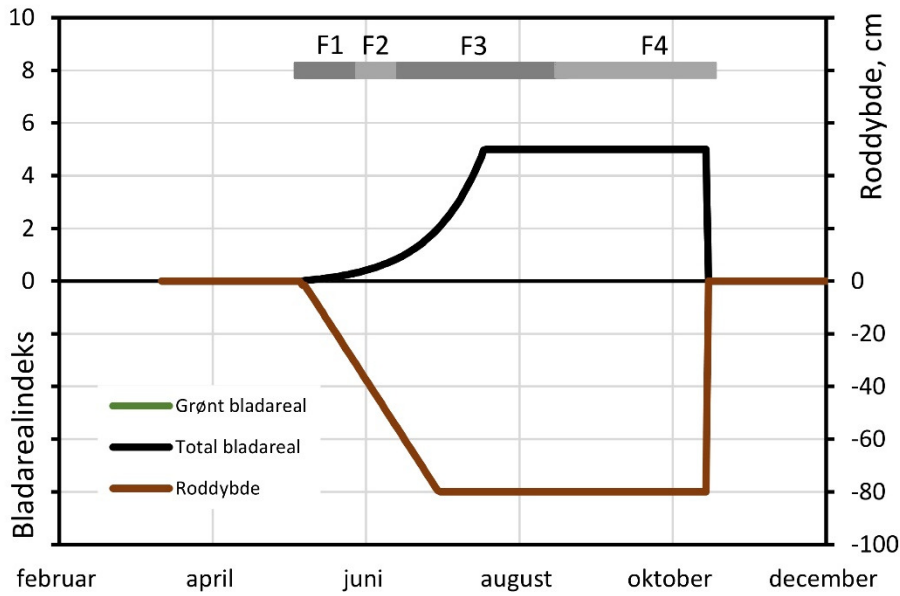
Tabel 3.9: Effektiv roddeby  $z_r$  og rodvækstrate  $c_r$  for vårafgrøder.

|                         | $z_0$ | $z_v$ | $z_{xA}$ | $z_m$ | $c_r$                |
|-------------------------|-------|-------|----------|-------|----------------------|
| Afgrøde                 | mm    | mm    | mm       | mm    | mm dag <sup>-1</sup> |
| roer <sup>1)</sup>      | 0     | 15    | 900      | 0     | 15                   |
| ærter                   | 0     | 90    | 700      | 0     | 15                   |
| kartofler <sup>2)</sup> | 0     | 80    | 750      | 0     | 15                   |
| vårbyg                  | 0     | 55    | 900      | 0     | 15                   |
| vårraps                 | 0     | 40    | 900      | 0     | 15                   |
| majs                    | 0     | 70    | 900      | 0     | 15                   |

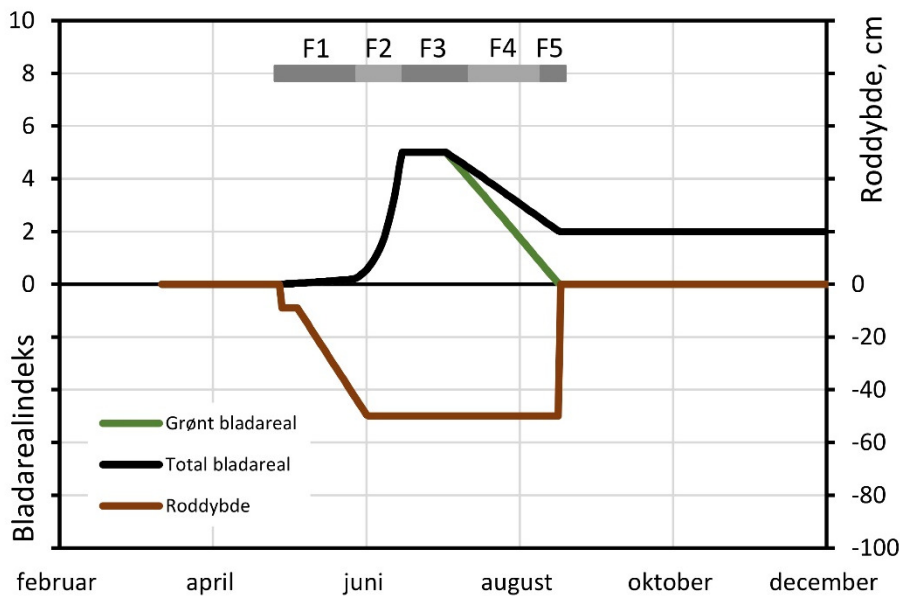
1) gælder for både fodersukker- og sukkerroe

2) gælder for både tidlige, middeltidlige og sildige kartofler

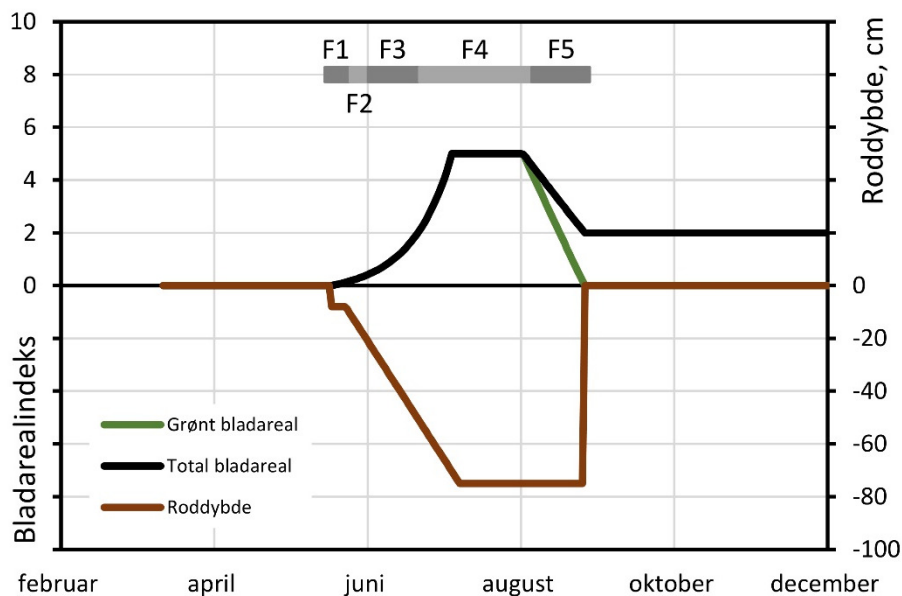
Eksempler på simuleringer af bladareal- og rodudvikling samt vækstfasernes beliggenhed i vårafgrøder er vist i figur 3.5 til 3.12. Simuleringerne er baseret på temperaturer i et normalt år.



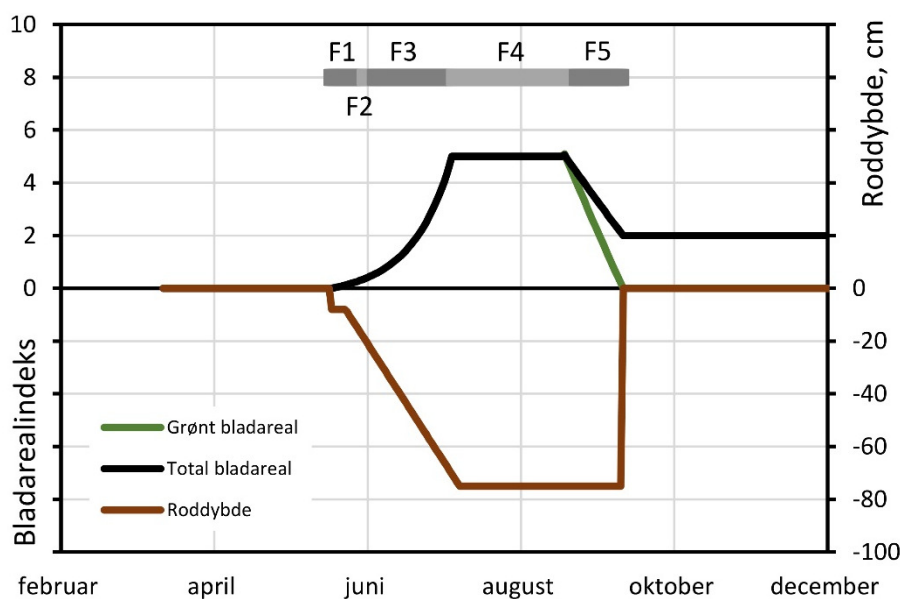
Figur 3.5: For bederoer simuleret grønt og total bladarealindeks, effektiv rodgybde og vækstfaser i et normalt år. Fremspiringsdato  $t_0$  er 25. maj. Høsttidspunktet  $t_h$  er ikke defineret. Maksimal effektiv rodgybde  $z_x$  er bestemt af underjorden til 80 cm.



Figur 3.6: For ærter simuleret grønt og total bladarealindeks, effektiv roddebyde og vækstfaser i et normalt år. Fremspiringsdato  $t_0$  er 17. maj. Høsttidspunktet  $t_h$  er ikke defineret. Maksimal effektiv roddebyde  $z_x$  er sat til jordtypens (jb 1) maksimale effektive roddebyde  $z_{xJ}$ .

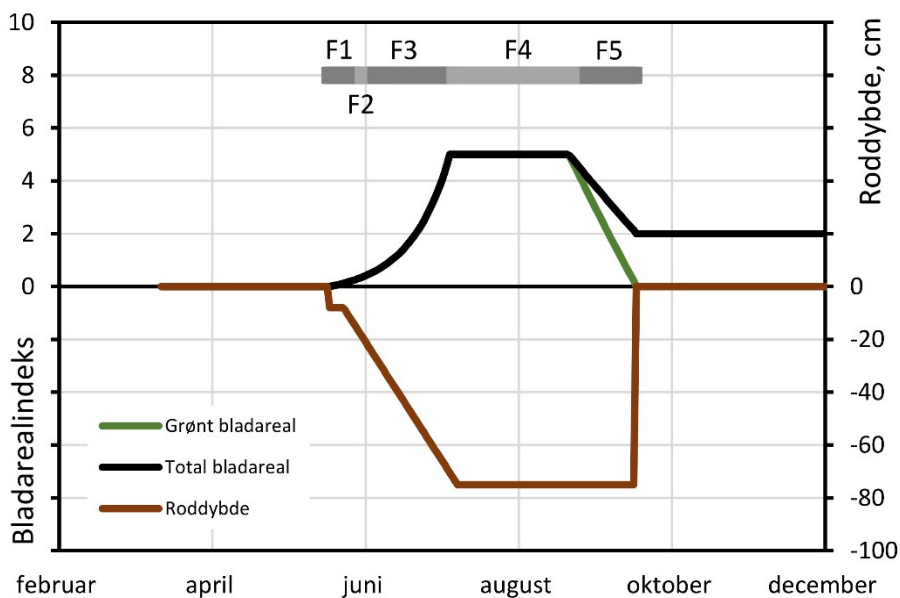


Figur 3.7: For tidlige kartofler simuleret grønt og total bladarealindeks, effektiv roddebyde og vækstfaser i et normalt år. Fremspiringsdato  $t_0$  er 5. juni. Høsttidspunktet  $t_h$  er ikke defineret. Maksimal effektiv roddebyde  $z_x$  er sat afgrødens maksimale effektive roddebyde  $z_{xA}$ .

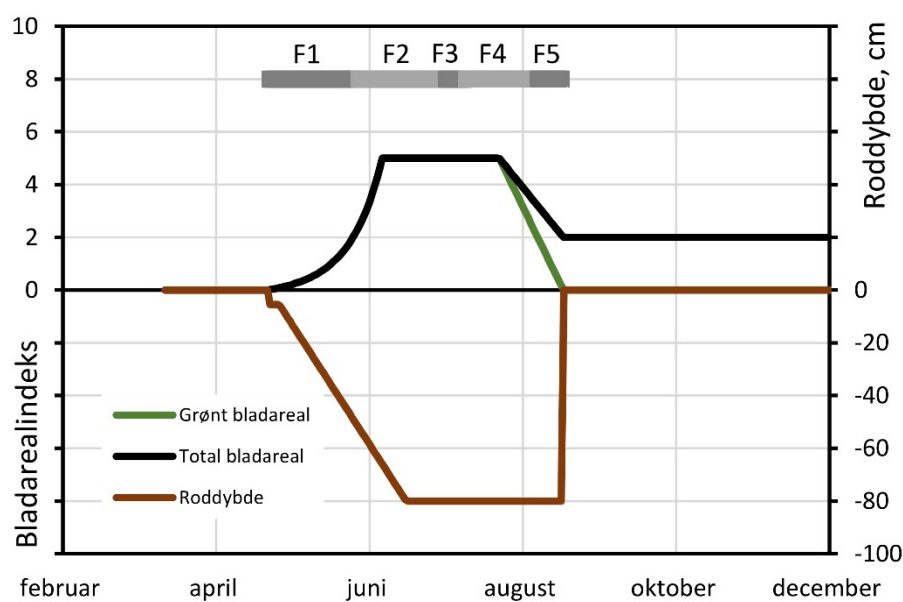


Figur 3.8: For middeltidlige kartofler simuleret grønt og total bladarealindeks, effektiv roddybde og vækstfaser i et normalt år. Fremspiringsdato  $t_0$  er 5. juni. Høsttidspunktet  $t_h$  er ikke defineret.

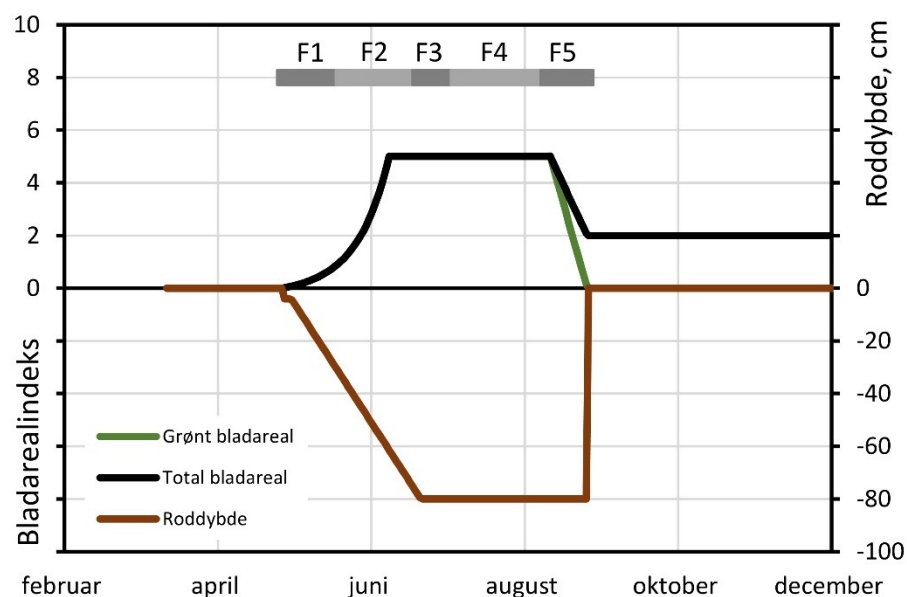
Maksimal effektiv roddybde  $z_x$  er sat afgrødens maksimale effektive roddybde  $z_{xA}$ .



Figur 3.9: For sildige kartofler simuleret grønt og total bladarealindeks, effektiv roddybde og vækstfaser i et normalt år. Fremspiringsdato  $t_0$  er 5. juni. Høsttidspunktet  $t_h$  er ikke defineret. Maksimal effektiv roddybde  $z_x$  er sat afgrødens maksimale effektive roddybde  $z_{xA}$ .

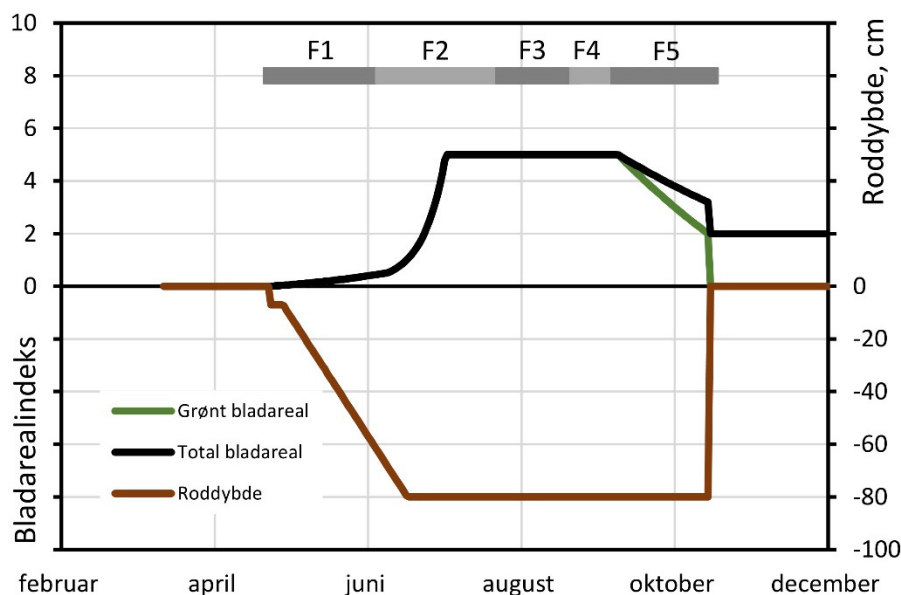


Figur 3.10: For vårbyg simuleret grønt og total bladarealindeks, effektiv roddybde og vækstfaser i et normalt år. Fremspiringsdato  $t_0$  er 11. maj. Høsttidspunktet  $t_h$  er ikke definerede. Maksimal effektiv roddybde  $z_x$  er bestemt af underjorden til 80 cm.



Figur 3.11: For vårraps simuleret grønt og total bladarealindeks, effektiv roddybde og vækstfaser i et normalt år. Fremspiringsdato  $t_0$  er 16. maj. Høsttidspunktet  $t_h$  er ikke defineret. Maksimal effektiv roddybde  $z_x$  er bestemt af underjorden til 80 cm.





Figur 3.12: For majs simuleret grønt og total bladarealindeks, effektiv roddybde og vækstfaser i et normalt år. Fremspiringsdato  $t_0$  er 12. maj. Høsttidspunktet  $t_h$  er ikke defineret. Maksimal effektiv roddybde  $z_x$  er bestemt af underjorden til 80 cm.

### Vinterafgrøder forår

Vandregnskab II omfatter følgende vinterafgrøder: vinterhvede, vinterbyg, vinterrug og vinterraps. Eventuelle øvrige overvintrende afgrøder tilknyttes eksisterende model.

Den fænologiske udvikling i vinterafgrøderne beregnes ved ligning 3.3. Eksempler på ligningsparametre er givet i tabel 3.10. De enkelte vækstfaser  $F_l$  angives ved egentlige fænologiske navne.

Navngivningen fremgår af tabel 3.11.

Temperatursumskravene i tabel 3.10, der indikerer afslutningen på de enkelte vækstfaser, er beregnet ud fra normaler for døgnmiddellufttemperatur samt data for vækstfasers beliggenhed. Data for fænologisk udvikling i vinterraps er indhentet fra Anonym (1985), Flengmark (1985), Flengmark (1986) og Flengmark (1987a). Data for vinterbyg, vinterhvede og vinterrug er indhentet fra Anonym (1985) og Andersen (1980).

Tabel 3.10. Temperatursumskrav  $S_F$  (°C) for vækstfaser  $F_l$  samt vækststart  $S_{L0}$  i vinterafgrøder forår,  $l \in [1, l_x]$ .

| Afgrøde     | $S_{L0}$ | $S_{F1}$ | $S_{F2}$ | $S_{F3}$ | $S_{F4}$ | $l_x$ |
|-------------|----------|----------|----------|----------|----------|-------|
| vinterbyg   | 142      | 190      | 376      | 468      | 157      | 4     |
| vinterhvede | 142      | 362      | 599      | 590      | 155      | 4     |
| vinterraps  | 142      | 292      | 345      | 395      | 232      | 4     |
| vinterrug   | 142      | 316      | 717      | 493      | 160      | 4     |

Tabel 3.11. Fænologisk betegnelse for vækstfase  $F$  i vinterafgrøder forår.

| Afgrøde     | $F_1$     | $F_2$               | $F_3$           | $F_4$   |
|-------------|-----------|---------------------|-----------------|---------|
| vinterbyg   | vegetativ | strækning/skridning | kerneindlejring | modning |
| vinterhvede | vegetativ | strækning/skridning | kerneindlejring | modning |
| vinterraps  | vegetativ | strækning/skridning | indlejring      | modning |
| vinterrug   | vegetativ | strækning/skridning | kerneindlejring | modning |

Det totale bladarealindeks beregnes ved ligning 3.5. Det grønne og gule bladarealindeks beregnes ved henholdsvis ligning 3.6 og ligning 3.7. Det voksende bladareal beskrives alene ved en eksponentialfunktion, og der regnes med gult og aftagende grønt bladareal. Eksempler på ligningsparametre er givet i tabel 3.13 og 3.14.

Tabel 3.13. Bladarealindeks  $L_g$  og  $L_y$  i vinterafgrøder forår.

| Afgrøde     | $L_{gv}$ | $L_{ge}$ | $L_{gx}$ | $L_{gm}$ | $L_{ym}$ |
|-------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| vinterbyg   | 0,5      | 0,5      | 5,0      | 0,0      | 2,0      |
| vinterhvede | 0,5      | 0,5      | 5,0      | 0,0      | 2,0      |
| vinterraps  | 0,5      | 0,5      | 5,0      | 0,0      | 2,0      |
| vinterrug   | 0,5      | 0,5      | 5,0      | 0,0      | 2,0      |

Maksimalt grønt eller gult bladarealindeks i vinterafgrøderne varierer fra år til år, men kan i simple modeller sætte til henholdsvis 5,0 og 2,0 (Aslyng og Hansen, 1982; Aslyng og Hansen, 1985).

Eksempler på temperatursumskrav der er bestemmende for udviklingen i vinterafgrødernes bladarealindeks forår fremgår af tabel 3.14. Temperatursumskravet for vækststart  $S_{L0}$  er udregnet på basis af normaler for døgnmiddellufttemperatur under antagelse af, at vækststart i et normalt år er den 16. april. Temperatursumskravene for vinterhvede og vinterbyg er beregnet med udgangspunkt i data fra Aslyng og Hansen (1985). For vinterrug og vinterraps er temperatursumskravene beregnet ud fra et skøn af udviklingen af bladarealindekset i et normalt år.

Tabel 3.14. Temperatursumskrav  $S$  (°C) for simulering af bladareal i vinterafgrøder.

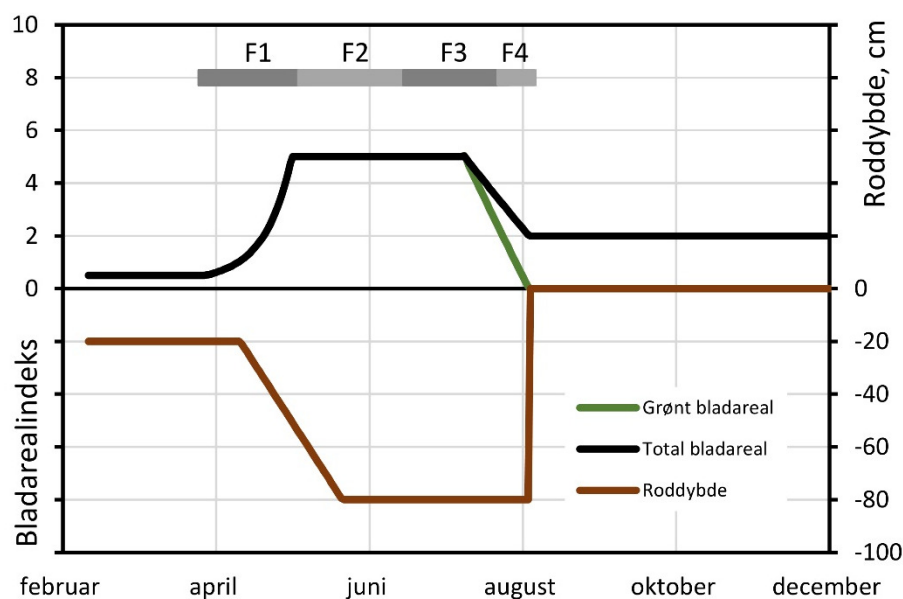
| Afgrøde     | $S_{L0}$ | $S_{Le}$ | $S_{Lx}$ | $S_{Lr}$ | $S_{Lm}$ |
|-------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| vinterbyg   | 142      | 0        | 190      | 811      | 1191     |
| vinterhvede | 142      | 0        | 303      | 1307     | 1706     |
| vinterraps  | 142      | 0        | 190      | 1037     | 1268     |
| vinterrug   | 142      | 0        | 190      | 1301     | 1686     |

Rodudviklingen i vinterafgrøderne beregnes ved ligning 3.10. Eksempler på ligningsparametre er givet i tabel 3.15. Den maksimale rodudvikling  $z_{xA}$  er sat til 900 mm, tilsvarende som for flere af vårafgrøderne. Dog skal det påpeges, at  $z_{xA}$  ikke er entydigt bestemt. Aslyng (1978) angiver dybden 1000 mm for vinter- og flere vårafgrøder. Madsen og Holst (1987) angiver 900 mm for vårbyg.

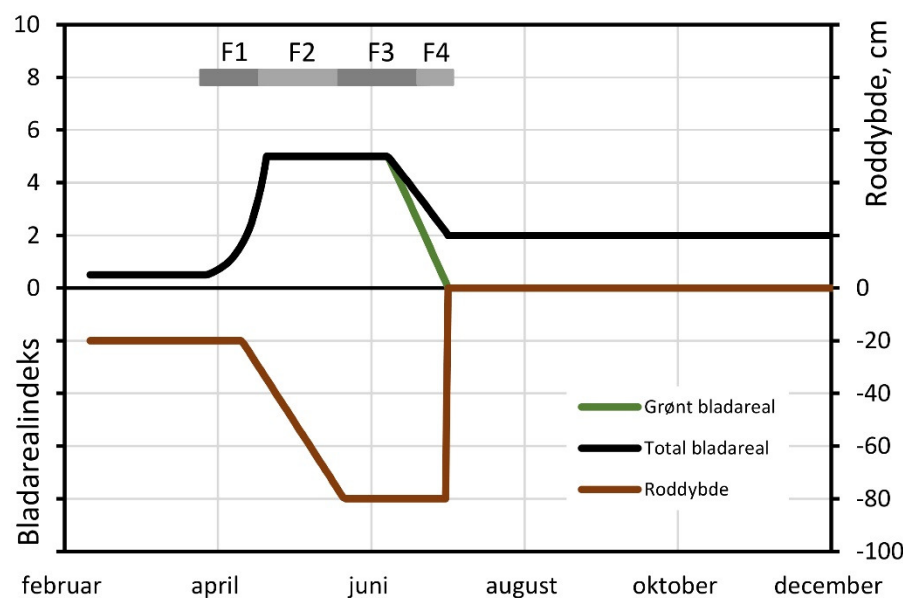
Tabel 3.15. Effektiv roddybde  $z_r$  og rodvækstrate  $c_r$  for vinterafgrøder.

|             | $z_0$ | $z_v$ | $z_{xA}$ | $z_m$ | $c_r$                |
|-------------|-------|-------|----------|-------|----------------------|
| Afgrøde     | mm    | mm    | mm       | mm    | mm dag <sup>-1</sup> |
| vinterbyg   | 200   | 200   | 900      | 0     | 15                   |
| vinterhvede | 200   | 200   | 900      | 0     | 15                   |
| vinterraps  | 200   | 200   | 900      | 0     | 15                   |
| vinterrug   | 200   | 200   | 900      | 0     | 15                   |

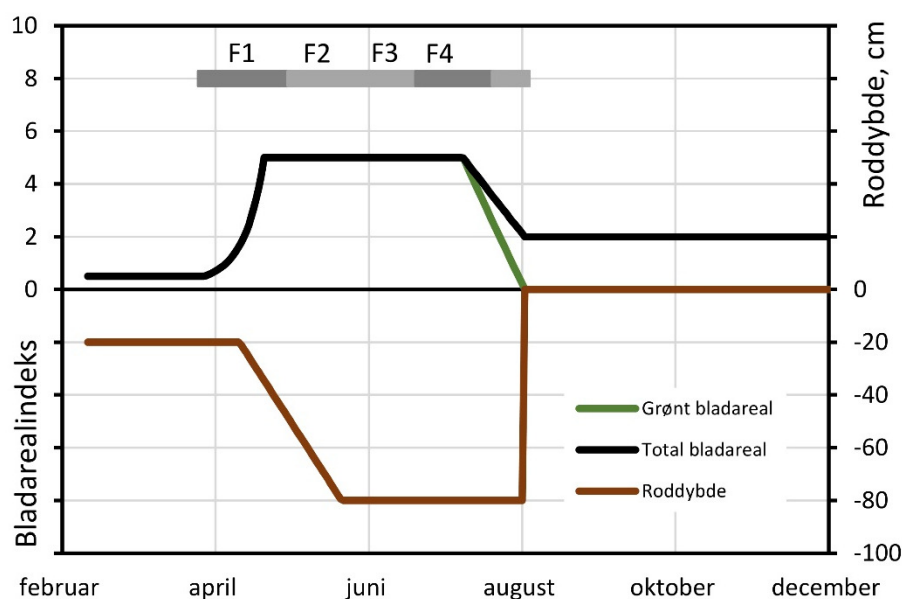
Eksempler på simuleringer af bladareal- og rodudvikling samt vækstfasernes beliggenhed i vinterafgrøder er vist i figur 3.13 til 3.16. Simuleringerne er baseret på temperaturer i et normalt år.



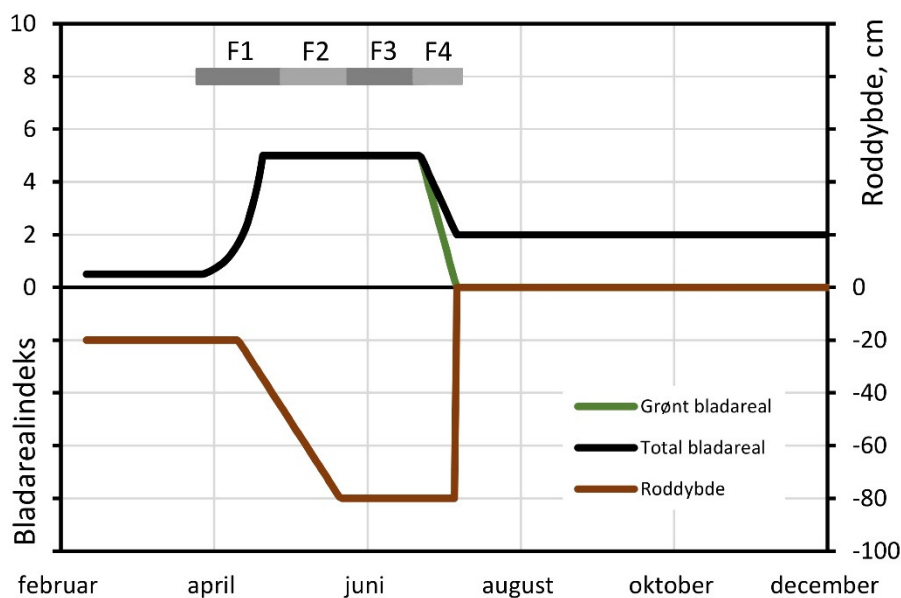
Figur 3.13. For vinterhvede simuleret grønt og total bladarealindeks, effektiv roddybde og vækstfaser i et normalt år. Dato for vækststart  $t_0$  er 16. april. Høsttidspunktet  $t_h$  er ikke defineret. Maksimal effektiv roddybde  $z_x$  er bestemt af underjorden til 80 cm.



Figur 3.14. For vinterbyg simuleret grønt og total bladarealindeks, effektiv roddybde og vækstfaser i et normalt år. Fremspiringsdato  $t_0$  er 16. april. Høsttidspunktet  $t_h$  er ikke defineret. Maksimal effektiv roddybde  $z_x$  er bestemt af underjorden til 80 cm.



Figur 3.15. For vinterrug simuleret grønt og total bladarealindeks, effektiv roddeybde og vækstfaser i et normalt år. Fremspiringsdato  $t_0$  er 16. april. Høsttidspunktet  $t_h$  er ikke defineret. Maksimal effektiv roddeybde  $z_x$  er bestemt af underjorden til 80 cm.



Figur 3.16. For vinterraps simuleret grønt og total bladarealindeks, effektiv roddeybde og vækstfaser i et normalt år. Fremspiringsdato  $t_0$  er 16. april. Høsttidspunktet  $t_h$  er ikke defineret. Maksimal effektiv roddeybde  $z_x$  er bestemt af underjorden til 80 cm.

## Efterafgrøder og overvintrende afgrøder efterår/vinter

Vandregnskab II omfatter følgende vinterafgrøder; vinterraps, vinterhvede, vinterbyg og vinterrug, samt efterafgrøder i forskellige kategorier efter etableringstidspunkt.

Aarhus Universitet udarbejder en rapport med uddragede temperatursumskrav for simulering af fænologisk udvikling, bladarealindeks og effektiv roddybde, samt ligningsparametre for udvikling af bladarealindeks og effektiv roddybde for efterafgrøder i efterår og vinterperioden, idet disse ikke findes i Vandregnskab Online eller MARKVAND-modellen. For vinterafgrøder skal der ligeledes fastlægges ligningsparametre og temperatursummer for simuleringen i efterårs og vinterperioden, hvilket også gøres i samarbejde med Aarhus Universitet. For nogle værdier kan der tages udgangspunkt i eksisterende data: I EVACROP-modellen er simuleringen af bladarealindeks og effektiv roddybde parametriseret for vinterhvede og græsudlæg i vårbyg, mens der i Vandregnskab Online eller MARKVAND-modellen er givet overvintrende bladarealindeks for vinter-hvede, -raps, -byg og -rug.

Simulering af den fænologiske udvikling af disse afgrøder prioriteres sandsynligvis ikke, da fænologisk stadie udelukkende anvendes i vandingsanvisningen, hvilket her ikke er relevant.

Hele bladarealindekset antages i efterår og vinterperiode at tilhøre det grønne bladareal, som beregnes ved ligning 3.6. For efterafgrøder sæt som udlæg angiver  $L_{gv}$  bladarealindekset ved høst af hovedafgrøde. Ved vækststop  $t_v$  sættes bladarealindekset til  $L_{gov}^1$ . Eksempel på tabel over ligningsparametre for simulering grønt bladarealindeks er givet i tabel 3.15.1.

Tabel 3.15.1. Eksempel på ligningsparametre for simulering af bladarealindeks i efterafgrøder og vinterafgrøder efterår og vinter.

| Afgrøde                           | $L_{gv}$ | $L_{ge}$ | $L_{gov}$ | $L_{gx}$ |
|-----------------------------------|----------|----------|-----------|----------|
| vinterrug                         | 0        | 0        | 0,5       | 5,0      |
| vinterhvede                       |          |          |           |          |
| efterafgrøde 1, tidlig etablering | 1,0      | 1,0      | 4,0       | 5,0      |

<sup>1</sup> Angivet i Evacrop-beskrivelse ofr græs (1.0), vinterhvede (0.5) og vårbyg m. udlæg (1.0).

|                                   |  |  |  |  |
|-----------------------------------|--|--|--|--|
| efterafgrøde 1, middel etablering |  |  |  |  |
| spildkorn                         |  |  |  |  |
| .....                             |  |  |  |  |

Temperatursumskrav bestemmende for simuleringen af bladarealindeks og effektiv roddybde er eksempelvis i Tabel 3.15.2. For efterafgrøder sået som udlæg og spildkorn beregnes vækststart/fremspiring  $t_0$  fra høstdato for hovedafgrøde. For efterafgrøder sået som udlæg med vækststart uden lag-periode efter høst af hovedafgrøde er  $S_{L0} = 0$ . For vinterafgrøderne beregnes fremspiring  $t_0$  fra sådato ved  $S_{L0}$ .

Tabel 3.15.2. Eksempel på temperatursumskrav  $S(^{\circ}\text{C})$  for simulering af bladarealindeks i efterafgrøder og vinterafgrøder efterår og vinter.

| Afgrøde                          | $S_{L0}$ | $S_{Le}$ | $S_{Lx}$ | $S_{Lr}$ | $S_{Lm}$ |
|----------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| vinterrug                        | 125      | 0        | 400      | 1070     | 1479     |
| vinterhvede                      |          |          |          |          |          |
| efterafgrøde 1 tidlig etablering | 0        | 0        | 350      | 970      | 1350     |
| efterafgrøde 1 middel etablering |          |          |          |          |          |
| spildkorn                        |          |          |          |          |          |
| .....                            |          |          |          |          |          |

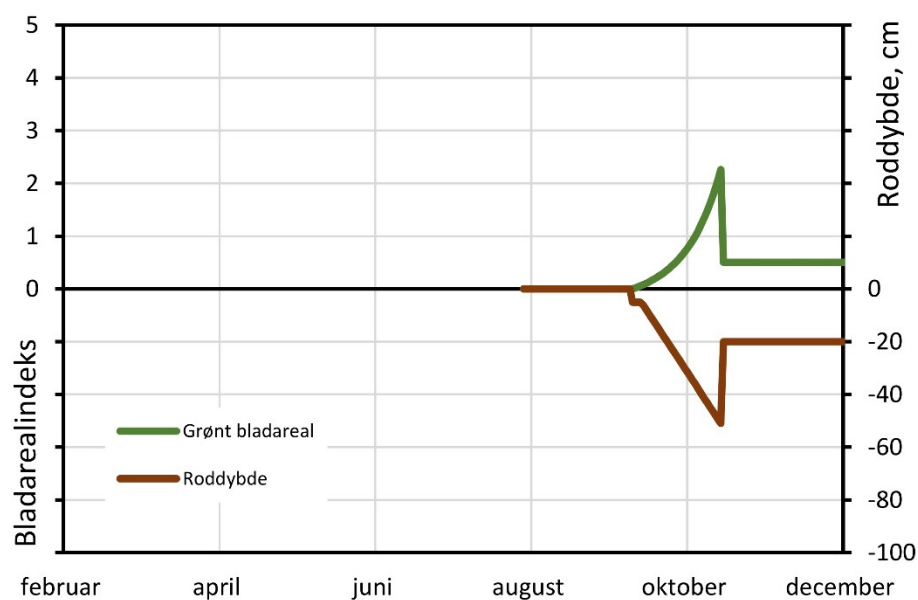
Rodudviklingen i efterafgrøder og vinterafgrøder i efterårs- og vinterperioden beregnes ved ligning 3.10. For efterafgrøder sået som udlæg er repræsenterer  $z_0$  den effektive roddybde ved høst af hovedafgrøde. Ved vækststop  $t_v$  sættes den effektive roddybde til  $z_{rv}$ . Eksempel på tabel over ligningsparametre for simulering af effektiv roddybde er givet i tabel 3.15.3.

Tabel 3.15.3. Eksempel på ligningsparametre for simulering af effektiv roddeybde i efterafgrøder og vinterafgrøder efterår og vinter.

| Afgrøde                           | $z_0$<br>mm | $z_v$<br>mm | $z_{xA}$<br>mm | $z_m$<br>mm | $z_{rov}$<br>mm | $C_r$<br>mm/dag |
|-----------------------------------|-------------|-------------|----------------|-------------|-----------------|-----------------|
| vinterrug                         | 0           | 55          | 900            | 0           | 150             | 15              |
| vinterhvede                       |             |             |                |             |                 |                 |
| efterafgrøde 1, tidlig etablering | 200         | 200         | 900            | 0           | 150             | 15              |
| efterafgrøde 1, middel etablering |             |             |                |             |                 |                 |
| spildkorn                         |             |             |                |             |                 |                 |
| .....                             |             |             |                |             |                 |                 |

Afgrødemodellen afsluttes ved default eller brugerregistreret dato for nedpløjning eller pr d. 1. marts.

Eksempel på simulering af bladareal- og rodudvikling i vinterhvede efterår/vinter er vist i figur 3.16.1. Simuleringerne er baseret på temperaturer i et normalt år.



Figur 3.16.1. For vinterhvede simuleret grønt bladarealindeks og effektiv roddeybde efterår/vinter i et normalt år. Fremspiringsdato  $t_0$  er 26. september. Høsttidspunktet  $t_h$  er ikke defineret.



## Bar jord

Bladarealindeks  $L$  og effektiv roddybde  $z_r$  er konstant nul.

### 3. Jordfysiske forhold

Som i MARKVAND og Vandregnskab Online, benyttes i Vandregnskab II data, der beskriver jordfysiske forhold for 10 jordtyper (JBI-10). En jordtype er karakteriseret ved en overjord (muldlaget) og en underjord. For disse lag er givet følgende parametre:

$z_o$  er dybden af overjorden, mm,

$\theta_{fo}$  er volumetrisk vandindhold i overjorden ved markkapacitet,

$\theta_{wo}$  er volumetrisk vandindhold i overjorden ved visnegrænse,

$\theta_{fu}$  er volumetrisk vandindhold i underjorden ved markkapacitet,

$\theta_{wu}$  er volumetrisk vandindhold i underjorden ved visnegrænse, og

$z_{xJ}$  er maksimal effektiv roddybde, mm.

Endvidere er en jordtype beskrevet ved følgende parametre:

$C_e$  er kapaciteten i evaporationsreservoiret, mm,

$C_e$  er basisevaporationsfaktoren,

$C_T$  er transpirationskonstanten, mm,

$k_{qr}$  er afdræningskonstant for rodzonen, og

$k_{qb}$  er afdræningskonstant for subzonen.

Den maksimale effektive roddybde bestemmes alene af afgrøden, når teksturen i jorden ikke er begrænsende for rodudviklingen, se afsnit 3.1. Flere undersøgelser påpeger, at især humus- og lerindholdet i jorden er bestemmende for rodudviklingen (Madsen, 1983; Aslyng og Hansen, 1982; Heick, 1972 og Olsen, 1958).

I MARKVAND-modellen antages begrænset rodudvikling, når humusindholdet er mindre eller lig med 2 %, og lerindholdet er mindre end 6 % i underjorden. Underjorden defineres herved som sandet. Omvendt er rodudviklingen ikke begrænset af teksturforhold, når enten humusindholdet er større end 2 % eller lerindholdet er større eller lig med 6 %. Underjorden defineres da som leret.

I tabel 3.16 er angivet parameterværdierne for jordtyperne 1-10. Værdierne for markkapacitet og visnegrænse i under- og overjord er fastlagt på baggrund af Madsen og Holst (1987), Aslyng og Hansen (1982) og Hansen (1976). Værdier for kapacitet i evaporationsreservoiret  $C_e$  er antaget afhængig af, om jordtypen er JB 1-3. For øvrige jordtyper er  $C_e$  sat lig 10 mm. Aslyng og Hansen (1982) antager, at kapaciteten i evaporationsreservoiret er 10 mm og uafhængig af jordtypen. Basisevaporationsfaktoren  $C_e$  er sat til 0.15 for jordtyperne JB 4-10, men antaget lavere for de sandede jorde JB 1-3. Til forskel herfra er hos Aslyng og Hansen (1982) antaget, at basisevaporationsfaktoren er uafhængig af jordtype og lig 0.15. Transpirationskonstanten  $C_T$  er sat til 10.0 for jordtyperne JB 5-10, men antaget højere for de sandede jorde JB 1-4 i overensstemmelse med Kristensen og Jensen (1975). Værdier for afdræningskonstanterne  $k_{qr}$  og  $k_{qb}$  er uddraget fra Aslyng og Hansen (1985), der dog kun anvender én afdræningskonstant gældende for hele jordprofilet. Maksimal effektiv roddybde  $z_{xJ}$  er for jordtyperne JB 1-4 angivet under forudsætning af, at underjorden er sandet og begrænsende for rodudviklingen. For jordtyperne JB 5-10 er  $z_{xJ}$  angivet under forudsætning af, at underjorden ikke er begrænsende for rodudviklingen. Værdier for  $z_{xJ}$  er uddraget fra Madsen og Holst (1987).

Tabel 3.16: Jordfysiske parametre for forskellige jordtyper. Endvidere maksimal effektiv roddybde  $z_{xJ}$  i forskellige jordtyper med underjord beskrevet ved teksturoplysninger, hvorved underjorden ændrer karakter. For jordtyperne 1-4 er underjorden ændret fra sandet til leret. For jordtyperne 5-10 er underjorden ændret fra leret til sandet.

| JB | $z_o$ | $z_{xJ}$ | $\theta_{fo}$ | $\theta_{wo}$ | $\theta_{fu}$ | $\theta_{wu}$ | $C_e$ | $c_e$ | $C_T$ | $k_{qr}$ | $k_{qb}$ | $C_{rJ}$ | $z_{xJ}$ |
|----|-------|----------|---------------|---------------|---------------|---------------|-------|-------|-------|----------|----------|----------|----------|
| 1  | 300   | 500      | 0,20          | 0,05          | 0,13          | 0,05          | 6,0   | 0,08  | 12,0  | 0,6      | 0,6      | 61       | 800      |
| 2  | 300   | 600      | 0,28          | 0,06          | 0,24          | 0,06          | 8,0   | 0,12  | 12,0  | 0,3      | 0,3      | 120      | 800      |
| 3  | 300   | 600      | 0,23          | 0,06          | 0,20          | 0,06          | 7,0   | 0,10  | 12,0  | 0,5      | 0,5      | 93       | 900      |
| 4  | 300   | 600      | 0,28          | 0,07          | 0,23          | 0,06          | 10,0  | 0,15  | 12,0  | 0,3      | 0,3      | 114      | 900      |
| 5  | 300   | 900      | 0,31          | 0,12          | 0,26          | 0,10          | 10,0  | 0,15  | 10,0  | 0,3      | 0,3      | 153      | 800      |
| 6  | 300   | 900      | 0,34          | 0,13          | 0,28          | 0,10          | 10,0  | 0,15  | 10,0  | 0,3      | 0,3      | 171      | 800      |
| 7  | 300   | 900      | 0,42          | 0,20          | 0,33          | 0,15          | 10,0  | 0,15  | 10,0  | 0,3      | 0,3      | 174      | 800      |
| 8  | 300   | 900      | 0,45          | 0,20          | 0,43          | 0,24          | 10,0  | 0,15  | 10,0  | 0,3      | 0,3      | 189      | 800      |
| 9  | 300   | 900      | 0,45          | 0,20          | 0,44          | 0,25          | 10,0  | 0,15  | 10,0  | 0,3      | 0,3      | 189      | 800      |
| 10 | 300   | 900      | 0,45          | 0,20          | 0,39          | 0,23          | 10,0  | 0,15  | 10,0  | 0,3      | 0,3      | 171      | 800      |

Den jordtypebestemte rodzonekapacitet  $C_{rJ}$ , der betegner kapaciteten for plantetilgængeligt vand, beregnes ved ligning 3.16 ud fra mark- og visnekapacitet i over- og underjord samt jordtypens maksimale effektive roddybde  $z_{xJ}$ . I tabel 3.16 er  $C_{rJ}$  angivet for JB 1-10.

Flere af de jordfysiske parametre kan ændres, såfremt brugeren angiver yderligere oplysninger om jordens beskaffenhed. Dybden af overjorden kan angives og  $z_o$  erstattes da af  $z_o(\text{obs})$ . Værdierne for markkapacitet og visnekapacitet kan ligeledes ændres på baggrund af brugerens oplysninger om teksturforhold i henholdsvis over- og underjord. Markkapacitet, visnekapacitet og plantetilgængeligt vand i begge jordlag beregnes da ved ligningerne 3.13, 3.14 og 3.15 (Madsen og Holst, 1987).

$$\theta_f = 2.34(\% OM) + 0.70(\% L) + 0.47(\% S) + 0.18(\% FS) + 3.68 \quad (3.13)$$

hvor  $\theta_f$  er volumetrisk vandindhold ved markkapacitet,  $OM$  er indhold af organisk stof,  $L$  er lerindholdet,  $S$  er siltindholdet og  $FS$  betegner indholdet af finsand.

$$\theta_w = 0.55(\% OM) + 0.63(\% L) + 0.18(\% S) + 1.12 \quad (3.14)$$

hvor  $\theta_w$  er volumetrisk vandindhold ved visnekapacitet.

$$\theta_F = 1.79(\% OM) + 0.07(\% L) + 0.29(\% S) + 0.18(\% FS) + 2.56 \quad (3.15)$$

hvor  $\theta_F = \theta_f - \theta_w$  er plantetilgængeligt volumetrisk vandindhold.

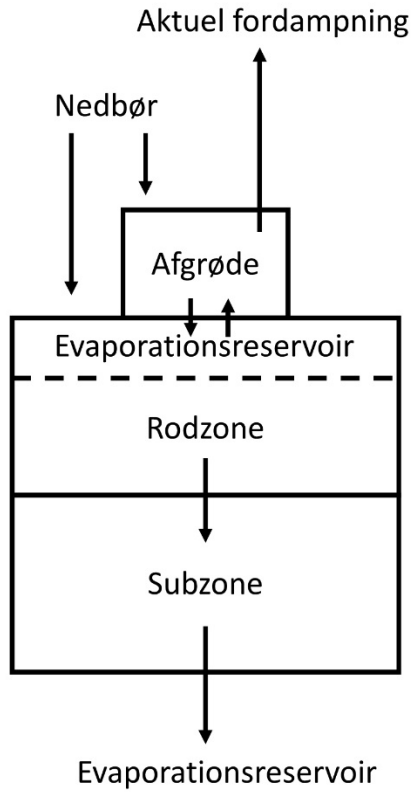
Oplysninger vedrørende tekstur og JBnr. for underjorden  $J_{(\text{obs})}$  kan betyde ændring af den maksimale effektive roddybde  $z_{xJ}$ . Muligheden for ændringer i den maksimale effektive roddybde og dermed indhold af plantetilgængeligt vand er især vigtig for jordtyperne 3 og 4, hvor tekturen i underjorden veksler mellem overvejende sandet eller overvejende leret. Disse vekslende teksturforhold forekommer i Danmark typisk i landskabstyper med moræne bakkeøer (Madsen og Holst, 1987).

Er  $J_{(obs)}$  defineret erstattes  $z_{xJ}$  med  $z_{xJ'}$ .  $J_{(obs)}$  betegner brugeroplysninger vedrørende JBnr. og tekstur for underjorden. Angives et JBnr. for underjorden er  $z_{xJ'}$  lig med den effektive roddybde  $z_{xJ}$  gældende for det opgivne JBnr. Angives endvidere teksturforhold, der for JB 1-4 ændrer underjorden fra sandet til leret, antager  $z_{xJ'}$  værdier givet i tabel 3.16. Angives teksturforhold for JB 5-10, der ændrer underjorden fra leret til sandet, antager  $z_{xJ'}$  værdier ligeledes givet i tabel 3.16. Angives teksturforhold, hvorved underjorden bibeholder status som henholdsvis sandet eller leret, antager  $z_{xJ'}$  standardværdien  $z_{xJ}$  gældende for den aktuelle jordtype. Værdierne for  $z_{xJ'}$  er udledt fra Madsen og Holst (1987).

#### **4. Vandbalancemodellen**

Vandbalancemodellen i MARKVAND bygger på tidligere beskrevne modeller af Kristensen og Jensen (1975), Hansen (1984) og Olesen og Heidmann (1990). Tilsvarende modeller er også benyttet af Holst og Kristensen (1981) og Holst og Madsen (1988). I disse modeller bestemmes den aktuelle fordampning på grundlag af potentiel fordampning og forskellige antagelser om jord og afgrøde. Det antages, at den aktuelle fordampning  $E_a$  ikke kan overstige den potentielle fordampning  $E_p$ . Den aktuelle fordampning deles op i et bidrag fra evaporation fra jorden og et bidrag fra transpiration og evaporation fra afgrøden. Forholdet mellem aktuel og potentiel transpiration antages at være en funktion af vandindholdet i jorden.

En oversigt over modellens vigtigste elementer er givet i Figur 3.17. Det ses, at modellen indeholder en række koblede reservoirer. Det er kun vegetationen samt jorden ned til maksimal effektiv roddybde, der betragtes.



Figur 3.17: Oversigt over reservoirer i vandbalancemodellen.

I vandbalancemodellen antages jorden at være opdelt i en rodzone og en subzone. Rodzonen går fra jordoverfladen til den effektive roddybde  $z_r$ , hvor  $z_r$  beregnes ved ligning 3.10. Subzonen går fra den effektive roddybde til den maksimale effektive roddybde  $z_x$ , hvor  $z_x$  beregnes ved ligning 3.11. Rodzonen vil altid have en mindste dybde  $z_e$  svarende til kapaciteten af evaporationsreservoirret  $C_e$ . Fordampning fra jorden kan kun foregå fra rodzonen, enten gennem planternes vandoptagelse eller ved fordampning fra jordoverfladen. Kapaciteten for plantetilgængelig vandmængde ved markkapacitet i rodzone  $C_r$  og subzone  $C_b$  udregnes på grundlag af opdelingen af jordsøjlen i overjord og underjord:

$$C_r = \begin{cases} \max [C_e, \theta_{Fo} z_r] & z_r \leq z_o \\ \max [C_e, \theta_{Fo} z_r + \theta_{Fu} (z_r - z_o)] & z_r > z_o \end{cases} \quad (3.16)$$

$$C_b = \theta_{Fo} z_o + \theta_{Fu} (z_x - z_o) - C_r \quad (3.17)$$

hvor

$\theta_{Fo} = \theta_{fo} - \theta_{wo}$  er plantetilgængeligt vand volumetrisk vandindhold i overjorden,  $\theta_{Fu} = \theta_{fu} - \theta_{wu}$  er plantetilgængeligt volumetrisk vandindhold i underjorden, og  $z_o$  er dybden af overjorden i mm.

Vandbalancemodellen holder styr på vandindholdet i en række reservoirer, der kort vil blive beskrevet her. For alle reservoirer angives mængderne i mm.

Interceptionsreservoiret  $V_I$  indeholder mængden af tilbageholdt vand på vegetationens overflade.

Kapaciteten af Interceptionsreservoiret  $C_I$  antages at afhænge af det totale bladarealindeks  $L$ :

$$C_I = c_i L \quad (3.18)$$

hvor  $c_i$  er en kapacitetskonstant, der sættes til 0,5 mm. Vandindholdet i Interceptionsreservoiret kan ikke overstige  $C_I$ .

Rodzonereservoiret  $V_r$  indeholder mængden af plantetilgængeligt vand i den del af jorden, hvor planternes rødder effektivt kan optage vandet. Indeholdt i Rodzonereservoiret er dog også Evaporationsreservoir og Øvre rodzonereservoir. Kapaciteten af Rodzonereservoiret  $C_r$  vil variere med rod-dybden og også afhænge af jordtypen. Der antages ikke at være nogen øvre grænse for vandindholdet i dette reservoir. Vand udover  $C_r$  vil dog afdræne til subzonen med konstant hastighed.

Evaporationsreservoiret  $V_e$  indeholder mængden af plantetilgængeligt vand, som kan fordampe direkte fra jorderoverfladen. Kapaciteten af Evaporationsreservoiret  $C_e$  antages at være en jordtypeafhængig konstant. Evaporationsreservoiret indgår som en del af Rodzonereservoiret. Vandindholdet i dette reservoir kan ikke overskride  $C_e$ .

Det Øvre rodzonereservoir  $V_u$  benyttes i de tilfælde, hvor rodzonen er tømt for vand i en sådan grad, at planternes transpiration nedsættes, og en del af jorden er genopfugtet ved nedbør eller vanding. Hvis den tilførte vandmængde ikke er stor nok til at fylde rodzonereservoir, vil det kun være øvre jordlag, der bliver fugtet til markkapacitet. Vegetationen vil primært udnytte dette vand til transpiration, og det Øvre rodzonereservoir indeholder denne plantetilgængelige vandmængde. Kapaciteten af det Øvre rodzone reservoir  $C_u$  er således en meget dynamisk størrelse. Det Øvre rodzonereservoir indgår i øvrigt som en del af Rodzonereservoir.

Subzonereservoir  $V_b$  indeholder mængden af plantetilgængeligt vand i subzonen, dvs. i laget mellem den effektive roddybde og den maksimale effektive roddybde. Der kan normalt ikke fordampe vand fra denne zone. Kapaciteten af subzonereservoir  $C_b$  afhænger af såvel roddybde som jordtype. Der antages ikke at være nogen øvre grænse for vandindholdet i dette reservoir. Vandindhold ud over  $C_b$  vil dog afdræne med en konstant hastighed.

Den potentielle fordampning  $E_p$  deles op i et bidrag fra evaporation fra jordoverfladen  $E_{pe}$  og et bidrag fra afgrøden  $E_{pc}$ :

$$E_{pe} = E_p \exp(-k_p L) \quad (3.19)$$

$$E_{pc} = E_p [1 - \exp(-k_p L)] \quad (3.20)$$

hvor  $L$  er afgrødens totale bladarealindeks, og  $k_p$  er en ekstinktionskoefficient, der sættes til 0.6.

Afgrødens bidrag deles yderligere op mellem fordampning fra grønne aktive blade  $E_{pcg}$  og fordampning fra gule inaktive blade  $E_{pcy}$ :

$$E_{pcg} = E_p [1 - \exp(-k_p L_g)] \quad (3.21)$$

$$E_{pcy} = E_{pc} - E_{pcg} \quad (3.22)$$

hvor  $L_g$  er bladarealindekset for grønne blade.

Modellen køres som et bogholderisystem, og ved begyndelsen af hvert dagligt tidsskridt tilføres nedbør  $P$  og vandingsmængde  $I$  til de relevante reservoirer. Før dette sker skal reservoirvariablene  $V_r$ ,  $V_b$ ,  $C_r$  og  $C_b$  opdateres svarende til den nye roddebyde. Kapaciteterne beregnes efter ligning 3.16 og 3.17, som  $C_r^*$  og  $C_b^*$ . Vandindholdet i de to reservoirer beregnes således:

$$V_r^* = \begin{cases} V_r + (C_r^* - C_r)V_r / C_r & C_r^* \leq C_r \\ V_r + (C_r^* - C_r)V_b / C_b & C_r^* > C_r \end{cases} \quad (3.23)$$

$$V_b^* = V_b - (V_r^* - V_r) \quad (3.24)$$

$$V_r = V_r^* \quad (3.25)$$

$$V_b = V_b^* \quad (3.26)$$

Derefter sættes  $C_r = C_r^*$  og  $C_b = C_b^*$ .

Endvidere justeres vandindhold og kapacitet af det Øvre rodzonereservoir. Dette er kun nødvendigt, hvis roddebyden er faldende – sker i forbindelse med modenhed og overvintring:

$$C_u^* = \min[C_r, C_u] \quad (3.27)$$

$$V_u = \begin{cases} V_u - (C_u - C_u^*)V_u / C_u & C_u^* > 0 \\ 0 & C_u^* = 0 \end{cases} \quad (3.28)$$

$$C_u = C_u^* \quad (3.29)$$



Nedbør og vandingsmængde  $(P + I)$  tilføres først Interceptionsreservoiret. Hvis der herefter er overskydende vand, tilføres denne vandmængde Evaporationsreservoir og Rodzonerreservoir:

$$V_I^* = \min[C_I, V_I + P + I] \quad (3.30)$$

hvor  $V_I^*$  er det nye indhold i Interceptionsreservoiret.

Vandindholdet i Interceptionsreservoiret fordeles endvidere mellem det grønne og det gule bladareal. Herefter beregnes den vandmængde, der skal tilføres evaporationsreservoiret og rodzonereservoir:

$$P_I = P + I - (V_I^* - V_I) \quad (3.31)$$

$$V_I = V_I^* \quad (3.32)$$

$$V_e = V_e + P_I \quad (3.33)$$

$$V_r = V_r + P_I \quad (3.34)$$

Evaporationen fra jordoverfladen  $E_{ae}$  antages at foregå med potentiel hastighed, så længe der er vand i Evaporationsreservoir. Herefter trækkes vand fra rodzone og subzone med en hastighed svarende til  $c_e E_{pe}$ , dvs:

$$E_{ae} = \begin{cases} E_{pe} & V_e \geq E_{pe} \\ c_e E_{pe} (V_r + V_b) / (C_r + C_b) & V_e < E_{pe} \wedge E_{pe} \leq V_r + V_b \\ 0 & V_e < E_{pe} \wedge E_{pe} > V_r + V_b \end{cases} \quad (3.35)$$

hvor  $c_e$  er en jordtype afhængig basisevaporationsfaktor.

$$^1 E_{ae} = \quad (3.35)$$

$$\begin{cases} E_{pe} & V_e \geq E_{pe} \\ V_e + c_e E_{pe} (V_r + V_b - V_e) / (C_r + C_b) & V_e < E_{pe} \wedge E_{pe} \leq V_r + V_b \\ V_e + \min[(V_r + V_b - V_e), c_e E_{pe} (V_r + V_b - V_e) / (C_r + C_b)] & V_e < E_{pe} \wedge E_{pe} > V_r + V_b \end{cases}$$

hvor  $C_e$  er en jordtype afhængig basisevaporationsfaktor.

Evaporationen trækkes først fra rodzonen. Hvis denne bliver udtørret, trækkes vandet fra subzonen:

$$V_e = \min[C_e, (V_e - E_{ae})_+] \quad (3.36)$$

$$V_r^* = (V_r - E_{ae})_+ \quad (3.37)$$

$$V_b = (V_b - E_{ae} + V_r - V_r^*)_+ \quad (3.38)$$

$$V_r = V_r^* \quad (3.39)$$

Endvidere opdateres det øvre rodzonereservoir:

$$V_u = (V_u + P_I - E_{ae})_+ \quad (3.40)$$

$$C_u = \min[C_r, C_u + (P_I - E_{ae})_+] \quad (3.41)$$

Evaporation fra Interceptionsreservoiret for grønt  $E_{alg}$  og gult  $E_{aly}$  bladareal antages at foregå med potentiel hastighed, dvs.

$$E_{alg} = \begin{cases} \min[V_I L_g / L, E_{pcg}] & L > 0 \\ 0 & L = 0 \end{cases} \quad (3.42)$$

$$E_{aly} = \begin{cases} \min[V_I L_y / L, E_{pcy}] & L > 0 \\ 0 & L = 0 \end{cases} \quad (3.43)$$

---

<sup>1</sup> Alternativ formel 3.35. Til senere beslutning.

$$E_{al} = E_{alg} + E_{aly} \quad (3.44)$$

Et eventuelt overskydende fordampningskrav fra afgrødens grønne bladareal tilskrives kravet til planternes transpiration:

$$E_{pT} = E_{pcg} - E_{alg} \quad (3.45)$$

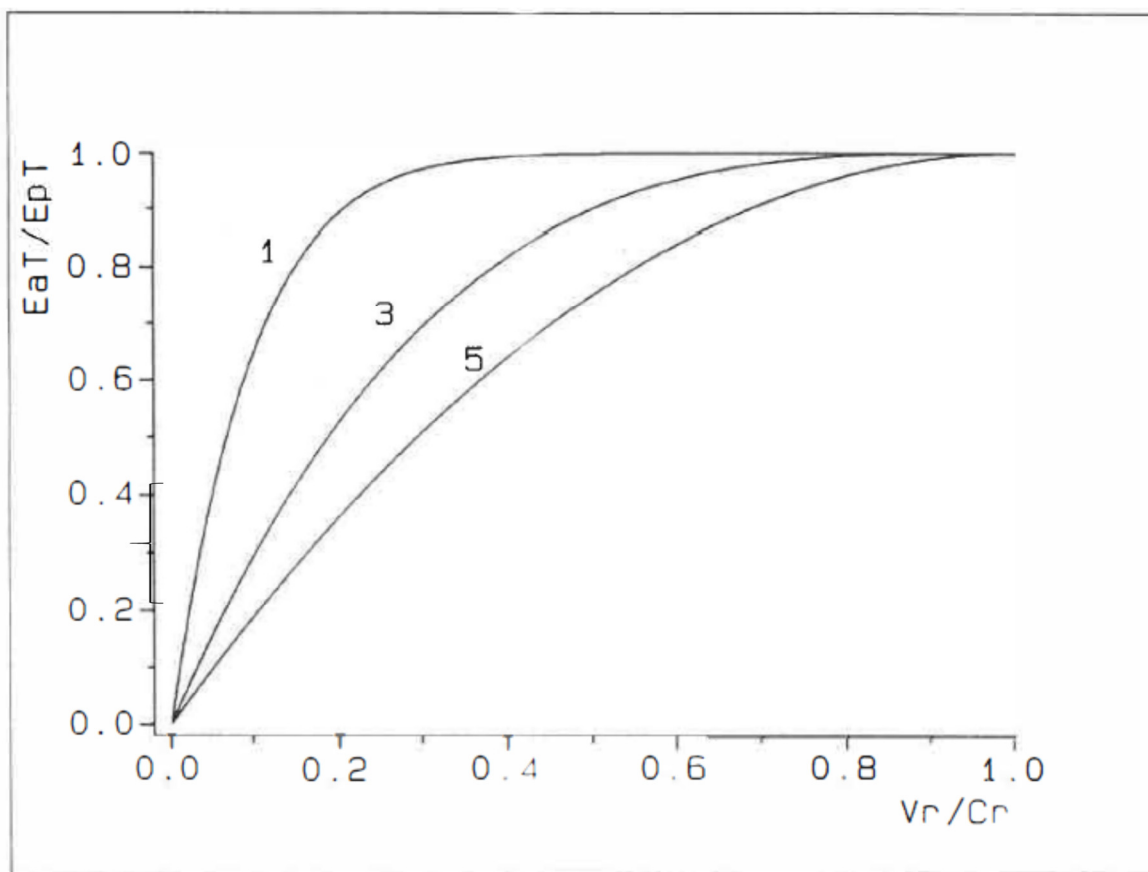
Transpirationen vil være afhængig af jordens vandindhold. Der benyttes en empirisk funktion for transpirationens afhængighed af plantetilgængeligt vand i jorden (Kristensen og Jensen, 1975):

$$E_{aTr} = E_{pT} \left\{ 1 - \left[ (C_r - V_r) / C_r \right]^{c_T / E_{pT}} \right\} \quad (3.46)$$

$$E_{aTu} = E_{pT} \left\{ 1 - \left[ (C_u - V_u) / C_u \right]^{c_T / E_{pT}} \right\} \quad (3.47)$$

hvor  $C_T$  er en transpirationskonstant, mm.

Sammenhæng mellem den relative transpiration  $E_{aT} / E_{pT}$  og jorden udtørningsgrad er illustreret i figur 3.18.



Figur 3.18. Relativ transpiration afhængig af relativt vandindhold i jorden ved forskelligt fordampningstryk, henholdsvis 1, 3 og 5 mm/dag. Der er benyttet en transpirationskonstant på  $C_T$  på 10 mm.

Som det fremgår af ovenstående ligninger beregnes transpirationen for både Rodzonereservoir  $E_{aTr}$  og det øvre rodzonereservoir  $E_{aTu}$ . Det antages, at planterne tager vandet fra det reservoir, hvor det er lettest tilgængeligt. Den aktuelle transpiration  $E_{aT}$  beregnes da som den største af disse værdier:

$$E_{aT} = \min[V_r, \max[E_{aTr}, E_{aTu}]] \quad (3.48)$$

Hvis transpirationen trækkes fra Rodzonereservoiret, nulstilles vandindholdet og kapaciteten af det øvre rodzone reservoir. Endvidere trækkes fordampningen fra de relevante reservoirer.

$$V_I = V_I - E_{aI} \quad (3.49)$$

$$V_u = \begin{cases} (V_u - E_{aT})_+ \\ 0 \end{cases} \quad \begin{matrix} E_{aT} = E_{aTu} \\ E_{aT} > E_{aTu} \end{matrix} \quad (3.50)$$

$$C_u = \begin{cases} C_u \\ 0 \end{cases} \quad \begin{matrix} E_{aT} = E_{aTu} \\ E_{aT} > E_{aTu} \end{matrix} \quad (3.51)$$

$$V_r = V_r - E_{aT} \quad (3.52)$$

Den aktuelle fordampning  $E_a$  kan beregnes ved summation af de enkelte led:

$$E_a = E_{ae} + E_{al} + E_{aT} \quad (3.53)$$

Hvis jordens vandindhold efter fordampning overstiger markkapacitet, antages den overskydende vandmængde at afdræne med en konstant hastighed. Afdræningskonstanterne  $k_{qr}$  og  $k_{qb}$  er jordtypeafhængige og defineret for lagtykkelser svarende til den maksimale roddybde og tilpasses den aktuelle jordlagstykkelse ved en lineær tilnærmelse:

$$D_r = \left[ k_{qr} + (1 - k_{qr}) \frac{z_x - z_r}{z_x} \right] (V_r - C_r)_+ \quad (3.54)$$

$$D_b = \left[ k_{qb} + (1 - k_{qb}) \frac{z_x - z_r}{z_x} \right] (V_b + D_r - C_b)_+ \quad (3.55)$$

hvor  $D_r$  er afdræning ud af rodzonen, og  $D_b$  er afdræning ud af subzonen.

Som afslutning på det daglige modeltrin justeres vandindhold i rodzone og subzone derefter for afdræning:

$$V_r = V_r - D_r \quad (3.56)$$

$$V_b = V_b + D_r - D_b \quad (3.57)$$

Før det første gennemløb af vandbalancemodellen skal reservoirvariablene sættes til nogle faste startværdier.:

- Roddybden  $z_r$  sættes til en for afgrøden fast defineret startroddybde  $z_0$ . Denne benyttes til beregning af  $C_r$  og  $C_b$ .
- Vandindholdet i Rodzone  $V_r$  og subzone  $V_b$  sættes pr 1. marts til markkapacitet.
- Vandindholdet i Evaporationsreservoir  $V_e$  sættes til  $C_e$ .
- Vandindholdet i Interceptionsreservoir  $V_I$  sættes i udgangspunktet for en afgrødemodel til 0.
- Vandindholdet  $V_u$  og kapaciteten  $C_u$  af det Øvre rodzonereservoir sættes til 0.

## Litteratur

- Andersen, S. (1980). Landbrugsplanterne. DSR forlag. Landbohøjskolen. København. B 1-60, D 1-37 og E 1-57.
- Andersen, A. (1986). Rodvækst i forskellige jordtyper. Tidsskrift Planteavl 90, 60. Beretning nr. S 1827.
- Anonym (1985). Internt notat. Jydeved Forsøgsstation. Afd. for Kulturteknik, Statens Planteavlsforsøg.
- Aslyng, H.C. (1978). Vanding i jordbruget. 4. udg. DSR forlag. Den kgl. Veterinær- og Landbohøjskole. 167 pp.
- Aslyng, H.C. og Hansen, S. (1982). Water Balance and Crop Production Simulation. The Royal Veterinary and Agricultural University. Copenhagen. 200 pp.
- Aslyng, H.C. og Hansen, S. (1985). Radiation, water and nitrogen balance in crop production. Field experiments and simulation model WATCROS and Nitros. Hydrotecnological laboratory. The Royal Veterinary and Agricultural University. Copenhagen. 146 pp.
- Flengmark, P. (1984). Sorter af markært 1981-83. Statens Planteavlsforsøg. Meddelelse nr. 1759.
- Flengmark, P. (1985). Sorter af bælgssæd og olieplanter 1985. Statens Planteavlsforsøg. Meddelelse nr. 1811.
- Flengmark P. (1986). Sorter af bælgssæd og olieplanter 1986. Statens Planteavlsforsøg. Meddelelse nr. 1858.
- Flengmark, P. (1987a). Sorter af bælgssæd og olieplanter 1987. Statens Planteavlsforsøg. Meddelelse nr. 1902.
- Flengmark P. (1987b). Sorter af rodfrugter, majs og grønfoderplanter 1987. Statens Planteavlsforsøg. Meddelelse nr. 1906.
- Gallagher, J.N., Biscoe, P.V. og Scott, R.K. (1976). Barley and its environment. VI. Growth and development in relation to yield. J. Appl. Ecol. 13, 563-583.
- Hansen, L. (1976). Jordtyper ved Statens Forsøgsstationer. Tidsskrift Planteavl 80, 742-758.
- Hansen, S. (1984). Estimation of potential and actual evotranspiration. Nordic Hydrology 15, 205-212.
- Heick, J. (1972). Rodudvikling i sandjord i relation til jordfysiske forhold. Hydroteknisk Laboratorium. Den Kgl. Veterinær- og Landbohøjskole. København. 54 pp.
- Holst, K.Aa. og Kristensen, K.J. (1981). Model for bestemmelse af aktuel fordampning. Dansk Komite for Hydrologi, Rapport nr. Suså H5, København 61 pp.

- Holst, K.Aa. og Madsen, H.B. (1988). Modelling the irrigation need. *Acta. Agric. Scand.* 38, 261-269.
- Jensen, A. (1988). Sorter af rodfrugter, majs og grønfoderplanter 1988. Grøn Viden, Landbrug nr. 20.
- Jensen A. (1989). Sorter af rodfrugter, majs og grønfoderplanter 1989. Grøn Viden, Landbrug nr. 34.
- Jørgensen, V. (1984). Vandforsyningens indflydelse på udbytte og kvalitet af kartofler. *Tidsskrift Planteavl* 91, 113-119.
- Jørgensen, V. og Edlefsen, O. (1987). Vandforsyningens indflydelse på udbytte og kvalitet af industrikartofler. *Tidsskrift Planteavl* 91, 329-347.
- Kristensen, K.J. og Jensen, S.E. (1975). A model for estimating actual evapotranspiration from potential evapotranspiration. *Nordic Hydrology* 6, 170-188.
- Madsen, H.B. (1983). Himmerlands jordbundsforhold. C.A. Reitzels Forlag. København. 329 pp.
- Madsen, H.B. og Holst, K. (1987). Potentielle marginaljorder. Marginaljorder og miljøinteresser. Miljøministeriets projektundersøgelser 1986. Teknikrapport nr. 1.
- Mikkelsen, M. og Andreasen, F.M. (1984). Klimatiske og jordbundsmæssige årsager til udbyttevariation i markært. Hovedopgave i Landbrugets Planteavl. Den Kgl. Vetrinær- og Landbohøjskole. København. 125 pp.
- Mogensen, V.O. (1980). Drought sensitivity at various growth stages of barley in relation to relative evapotranspiration and water stress. *Agron. J.* 72, 1033-1038.
- Olesen, J.E. (1987). Mikrometeorologi. *Ugeskrift for Jordbrug* 132, 1041-1046.
- Olesen, J.E. og Heidmann, T. (1990). EVACROP. Et program til beregning af aktuel fordampning og afstrømning fra rodzonen. *AJMET Arbejdsnotat* nr. 9. Afdeling for Jordbrugsmeteorologi, Statens Planteavlsforsøg.
- Plauborg og Olesen (1991). Udvikling og validering af modellen MARKVAND til vandingstyring i landbruget. Afdeling for Jordbrugsmeteorologi, Statens Planteavlsforsøg. Beretning nr. S 2113.
- Olsen, M. (1958). Orienterende forsøg vedrørende jordens dybdebehandling. Hedeselskabets forskningsvirksomhed. Beretning nr. 3. 41 pp.
- Pedersen, K.E. (1986). Sorter af rodfrugter, majs og grønfoderplanter 1986. Statens Planteavlsforsøg. Meddelelse nr. 1873.