

PK8H 2.10.1990  
 FORELESNINGSNOTAT  
 O. H. BAADSHAUG

### EN ENKEL MODELL FOR BEREGNING AV PRODUKSJONEN I TIMOTEI-ENG

Modellen er utarbeidet av Torssell m.fl. (1982) i Sverige, og den er tilpasset svenske forhold. Med noen justeringer vil den kunne brukes også i Norge. Det arbeides med å teste en norsk versjon av modellen på resultater fra målinger av tilvekst i timotei-eng på forskjellige steder i landet.

Modellen tar sikte på å beskrive tilveksten i timotei-eng som funksjon av klimafaktorene, og jordas vannkapasitet. For hver av faktorene stråling, temperatur og tilgjengelig vannmengde regnes det ut en indeks. Denne varierer fra 0 når faktoren er på et nivå som gjør at veksten stanser, til 1,0 når nivået er optimalt for veksten.

#### Stråling.

Virkningen av globalstrålingen, dvs. totalt innkommende stråling, på tilveksten hos en grasbestand er vist i figur 1. Det matematiske uttrykket for strålingsindeksen (SI) er:

$$SI = [1 - e^{-k \cdot S/S_{max}}] / (1 - e^{-k})$$

S : Total daglig stråling (globalstråling)  
 (MJ/m<sup>2</sup>, dag)

S<sub>max</sub> : Metningsnivå, dvs. maksimal stråling som bestanden kan utnytte

k : Konstant som bestemmer krummingen av kurven

Torssell m. fl. (1982) har kommet fram til R<sub>max</sub> = 29 MJ/m<sup>2</sup>, dag og k=2 som høvelige verdier for svenske forhold. En regner med at disse verdiene også gjelder i Norge.

#### Temperatur.

Det regnes med en sammenheng mellom døgnmiddeltemperatur og temperaturindeksen, TI, er vist i figur 2. Veksten antas å øke med temperaturen etter en s-formet kurve fra omkring 0 °C opp til et optimum ved ca. 17 °C, der temperaturindeksen er 1,0, dvs. at temperaturen ikke er noen begrensende faktor for tilveksten. Fra optimumsnivået går tilveksten ned med ytterligere stigende temperatur etter en kurve med form som en omvendt s, slik at hele temperaturskurven blir symmetrisk omkring aksene T=T<sub>opt</sub>. Det matematiske uttrykket for temperatur-kurven er vist i vedlegg 1.

#### Vanntilgang.

Vanntilgangen hos plantene er avhengig av nedbøren, mengde plantetilgjengelig vann i jorda og rotutviklingen hos plantene. Jordas feltkapasitet er vanninnholdet når den har nådd likevekt

etter metning. For jord med 1 m effektiv grøftedybde svarer dette til vanninnholdet ved et potensial på  $-0,1$  bar (1 m vannhøgde,  $pF=2$ ), vanlig brukt som definisjon på feltkapasitet. Når jorda er tørket så mye at plantene ikke kan ta opp mer vann, er visnegrensen nådd. For dyrka planteslag settes vannpotensialet ved visnegrensa til  $-15$  bar ( $pF=4,2$ ). Vanninnholdet ved visnegrensa kan variere fra noen få volumprosent i sandjord opptil 15 - 20 prosent og mer i leirjord. Differensen i vanninnhold mellom feltkapasitet og visnegrensa er plantetilgjengelig vann.

Plantene kan ikke ta opp alt tilgjengelig vann like lett. Ved feltkapasitet kan plantene ta opp vann så lett og raskt som det er behov for. Da kan spalteåpningene holdes åpne, slik at den aktuelle evapotranspirasjonen ligger på potensielt nivå, som bare er bestemt av værforholdene. Under slike forhold produserer plantene maksimalt etter hva øvrige vekstfaktorer tillater, slik at vannindeksen ( $VI$ ) =  $1,0$ . Når noe av vannet i jorda er brukt opp, vil resten av tilgjengelig mengde etterhvert bli tyngre eller mer langsomt tilgjengelig, fordi sonen nærmest røttene er delvis tørket ut. Det vil oppstå (temporær) vanndeficitt, slik at spalteåpningene lukkes og produksjonen stanser eller reduseres, dvs.  $VI < 1,0$ . Den aktuelle evapotranspirasjonen vil da være mindre enn den potensielle. Den delen av tilgjengelig vannmengde som kan tas opp før opptaket blir redusert, vil variere med bl.a. jordarten. På sandjord, der de vannholdende porene er relativt store slik at vannet kan bevege seg lett, vil en stor del av tilgjengelig mengde kunne tas opp før opptaket reduseres. På leirjord kan opptaket reduseres allerede ved et relativt høgt vanninnhold. Siden åpningen av spalteåpningene bestemmer både transpirasjonen og assimilasjonen, vil forholdet mellom aktuell og potensiell evapotranspirasjon (hhv  $E_a$  og  $E_p$ ),  $E_a/E_p$  være identisk med vannindeksen  $VI$ .

Den mengden vann som kan tas opp før opptaket reduseres, blir betegnet lett tilgjengelig, mens resten av tilgjengelig vannmengde kalles tungt tilgjengelig. På figur 3 er andelen som er lett tilgjengelig satt til 20 prosent. Fra dette nivået er det regnet med lineær nedgang i opptak (evapotranspirasjon) i forhold til potensielt nivå, og dermed lineær nedgang i  $VI$  og produksjon til visnegrensen, der spalteåpningene er permanent lukket slik at assimilasjonen stanser og  $VI = 0$ .

Tidlig om våren og etter slått er evapotranspirasjonen mer eller mindre redusert i forhold til potensielt nivå pga. reduksjonen i transpirerende planteoverflate (bladareal). En regner med potensiell fordampning når bladarealindeksen ( $LAI$ ) er nådd  $3,0$ . Når bladarealet =  $0$ , slik at det er fordampning bare direkte fra jorda, settes denne i den svenske modellen til 30 prosent av potensiell evapotranspirasjon,  $0,3 * E_p$ . Fra dette nivået antas at evapotranspirasjonen øker lineært med bladarealet opp til potensielt nivå når  $LAI = 3,0$ , som vist i figur 4. I modellen regner en med at bladarealet står i et bestemt forhold til total (overjordisk) plantemasse ( $W$ ):

$$LAI = \sqrt{W/10}$$

Den norske versjonen av modellen er mer detaljert på dette punktet. Jord uten plantedekke som er vannmett helt opp til overflata, fordampner like mye som plantedekket jord. Men så snart selve overflata er tørket, skjer en rask reduksjon av fordampningen til en liten brøkdel av potensielt nivå, fordi den kapillære tilførselen fra djupere sjikt blir brutt. For 'midlere' forhold er trolig sammenhengen som går fram av figur 4 tilstrekkelig nøyaktig.

Ved beregning av tilgjengelig vann i jorda og vannindeksen på en bestemt dag ( $t$ ) går en ut fra vannbudsjettet (målt i mm):

$$V_t = V_{t-1} + N_t - E_a - A$$

$V_t$ : Tilgjengelig vann i jorda på dag  $t$   
 $V_{t-1}$ : Tilgjengelig vann foregående dag  
 $N_t$ : Nedbør  
 $E_a$ : Aktuell fordampning  
 $A$ : Avrenning/drenering

For å beregne  $E_a$  må en først beregne potensiell evapotranspirasjon,  $E_p$ . Denne kan beregnes etter en formel utarbeidet av Penman (1948), som bygger på målte verdier av (global)stråling, lufttemperatur, vind og relativ luftfuktighet. Når mengden tilgjengelig vann fra foregående dag er korrigert for eventuell nedbør, kan forholdet  $E_a/E_p$  leses fra figur 3 og  $E_a$  beregnes. Den øvre grensa for  $V$  er vanninnholdet ved feltkapasitet (det kan være aktuelt å 'tillate' en viss, temporær overmetning i modellen, en eller noen få dager etter større regnvær). Er nedbøren større enn det som skal til for å fylle vannlageret i jorda, vil overskuddet renne av på overflata eller dreneres bort. I Sørøst-Norge er vanligvis  $A = 0$  i veksttida.

### Alder

Modellen bygger på at tilveksten ( $dW$ ) i et visst tidsrom ( $dt$ ), f. eks. en dag, ( $dW$ ) er proporsjonal med plantemassen ved starten av perioden ( $W$ ):

$$dW/dt = R_s \cdot W$$

der  $R_s$  er relativ tilveksthastighet.

Hos unge planter er praktisk talt 100 prosent av tilveksten nye skudd og blad, dvs ny produserende plantemasse. Dette innebærer at tilveksthastigheten er nær proporsjonal med total (overjordisk) plantemasse, og  $R_s$  er konstant.

Etterhvert som plantene blir eldre, vil produksjonen hos de eldste bladene avta og stanse, samtidig som en økende del av den nye produksjonen vil være ikke assimilerende plantedeler, som basis av bladskjeder, stengler, reproduktive organer, samt opplagsnæring. Dette innebærer at relativ veksthastighet etter forholdsvis kort tid begynner å avta. I modellen er det derfor nødvendig å innføre en ekstra 'aldringsfaktor' ( $AGE$ ), slik at en kan beregne aktuell relativ veksthastighet ( $R_a$ );

$$Ra = Rs \cdot AGE$$

der  $R_s$  er startverdien av den relative tilveksthastigheten. Det er rimelig å se faktoren AGE i forhold til faseskifte og generativ utvikling. Denne er i hovedsaken bestemt av temperatur og daglengde og kan for norske forhold beregnes (ifl. Skaar, unpubl):

$$\text{Fra vekststart til skyting: } dD = 0,0001555(TD+0,76)(DL-6,77)$$

$$\text{Fra skyting til blomstring: } dD = 0,00805(TD-8,64)$$

dD: Daglig utvikling  
 TD: Døgnmiddeltemperatur, °C  
 DL: Daglengde, timer

Før skyting virket altså økende daglengde til å øke utviklingsfarten, men bare opp til 18,77 timer. Ytterligere økning av daglengden hadde ingen virkning. Den maksimale verdien av faktoren (DL-6,77) blir således 12. Utviklingssteget på dag  $t$  ( $D_t$ ) blir:

$$d=t \\ D_t = \sum_{d=1} dD$$

Utviklingsstadiet  $D = 1,0$  svarer til skyting av timotei,  $D = 2,0$  svarer til blomstring. AGE beregnes ut fra utviklingsstadiet:

$$AGE = 1/(1 + D^k)$$

der  $k$  er en konstant. Ved testing av modellen i tilvekstforsøk på timoteieng i 1989 gav verdien  $k=4,4$  best samsvar med målte resultater. Figur 5 viser forløpet av kurven for AGE fra våren og utover i veksttida med denne  $k$ -verdien. Omkring skyting er AGE redusert til ca. 0,5 og ved blomstring til noen få hundredeler.

#### Beregnet tilvekst.

Beregnet daglig tilvekst av tørrstoff ( $dW_t$ ) på dag nr.  $t$  blir:

$$dW_t = R_s \cdot W_{t-1} \cdot AGE \cdot RI \cdot TI \cdot VI$$

der  $W_{t-1}$  er tørrstoffmengde ved slutten av dag nr.  $t-1$  (dvs. ved starten av dag nr.  $t$ ). Når tilveksten på dag nr.  $t$  legges til tørrstoffmengden fra foregående dag, får en tørrstoffmengden på slutten av dag nr.  $t$ :

$$W_t = W_{t-1} + dW_t$$

#### Dataprogrammet.

Et utdrag av datamaskin-programmet for modellen-versjonen som ble prøvd på data fra timoteieng på NLH (forsøkgarden Voll) i 1989 er vist i vedlegg 2. Utgangspunktet er en vær-tabell med daglige verdier av midlere lufttemperatur (2m), globalstråling, nedbør, vind, relativ luftfuktighet. Potensiell fordamping (evapotranspirasjon) beregnes etter Penmans metode. Jordparametrene  $U$  og  $\alpha$  er nødvendige for å beregne direkte fordamping fra jorda. Denne har relativt stor betydning tidlig i vekstperioden, da graset ikke dekker jordoverflata. Mengden av tilgjengelig vann i jorda kan være vanskelig å bestemme. Ut fra

representative pF-kurver for jorda i forskjellige sjikt kan en fastsette mengde tilgjengelig vann pr. volumenhet. Effektiv rottybde har også stor betydning. For timotei som høstes flere ganger i sesongen kan rottybden neppe settes til mer enn ca. 50 cm på middels stiv leirjord, som en har på det aktuelle arealet. Med 18 volumprosent tilgjengelig vann får en 18 mm pr dm jordtybde, og 90 mm total mengde ned til 50 cm dybde. Fordelingen mellom lett og tungt tilgjengelig del av dette er satt til hhv. 20 og 80 prosent. På start-dagen er tallene for vannkapasitet (tc1 og tc2) identiske med tallene for faktisk innhold (ts1 og ts2), da en regner med fullt vannlager ved vekststart.

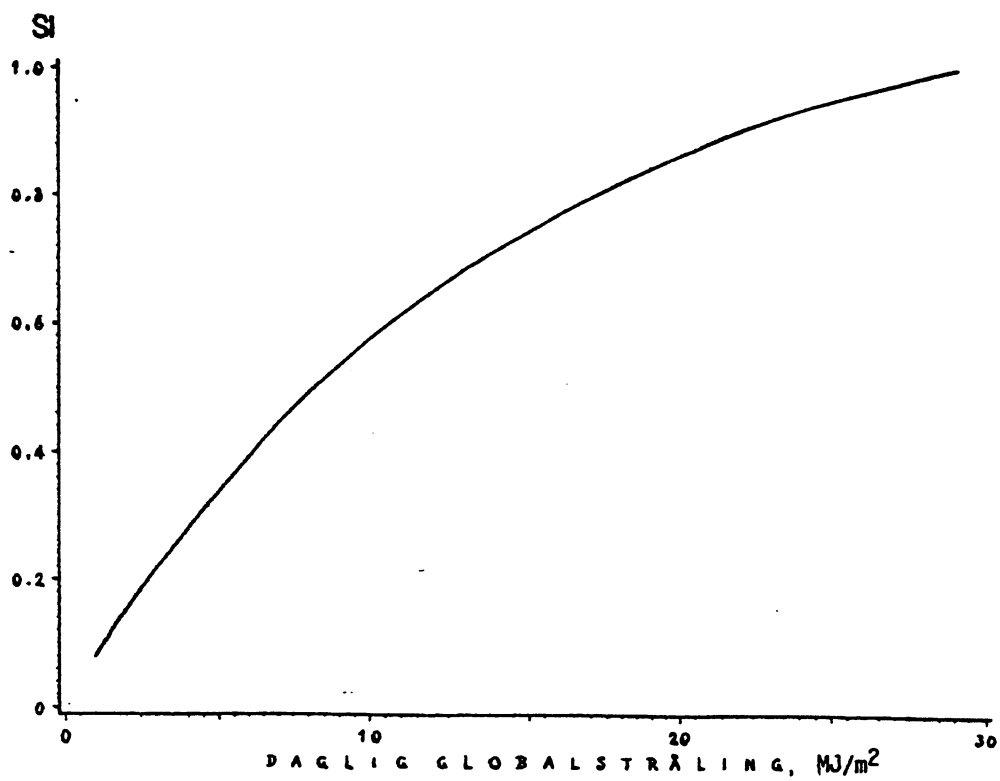
Et problem er valg av starttidspunkt for tilveksten. Det samme gjelder startverdien for stående plantemasse som må være større enn 0, om den simulerte veksten skal komme i gang. Her må en bygge noe på skjønn, slik at resultatet for første del av vekst-perioden stemmer med det en kan observere rent visuelt eller ved å ta en avlingsbestemmelse av den første grasveksten. For timotei-enga på NLH i 1989 valgte en start-dato 1. mai og startverdi for plantemasse ( $W_0$ ) = 14 (g/m ).

Rs-verdien vil variere med grasart, engas alder og mengde opp-lagsnæring. Plantebestandens forhistorie mht. høstetid, stubbe-høgde og nitrogengjødsling har derfor betydning. Tilveksten fra starten om våren bestemmes også av overvintringen. I denne peri-oden vil Rs-verdien ligge i området 0,20 - 0,27. I modell-testen for NLH 1989 kom en fram til at  $R_s = 0,23$  gav best samsvar med observerte resultater. Beregningen av daglig vannforbruk ved for-damping fra jorda, transpirasjon fra planter og jordas nye vannstatus for hver dag utgjør en vesentlig del av programmet. Denne delen er relativt komplisert og lite oversiktlig, og er ikke tatt med i utdraget.

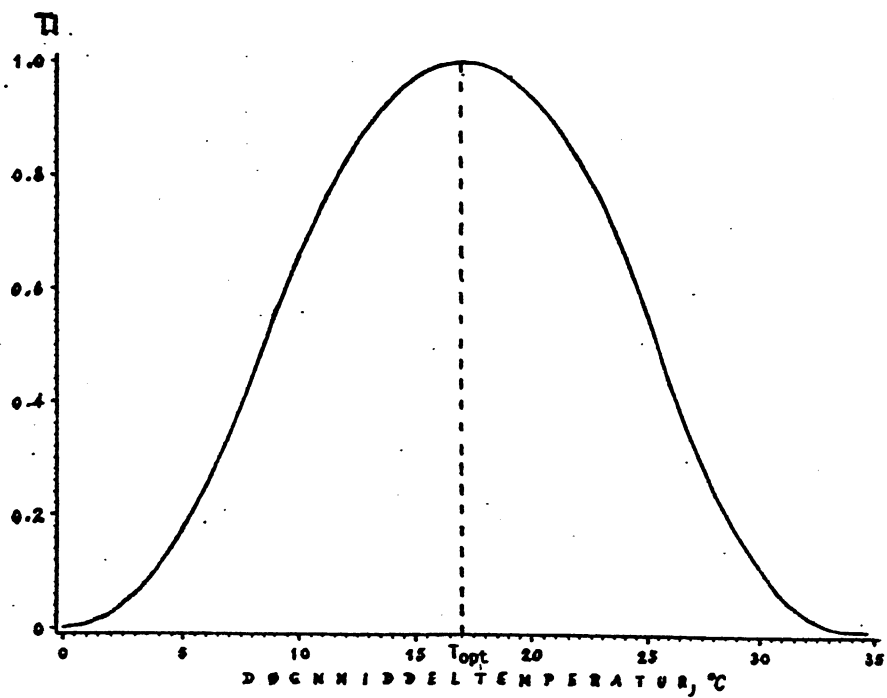
Resultatet av modell-testen med optimaliserte parameter-verdier er vist i figur 6.

#### Litteratur.

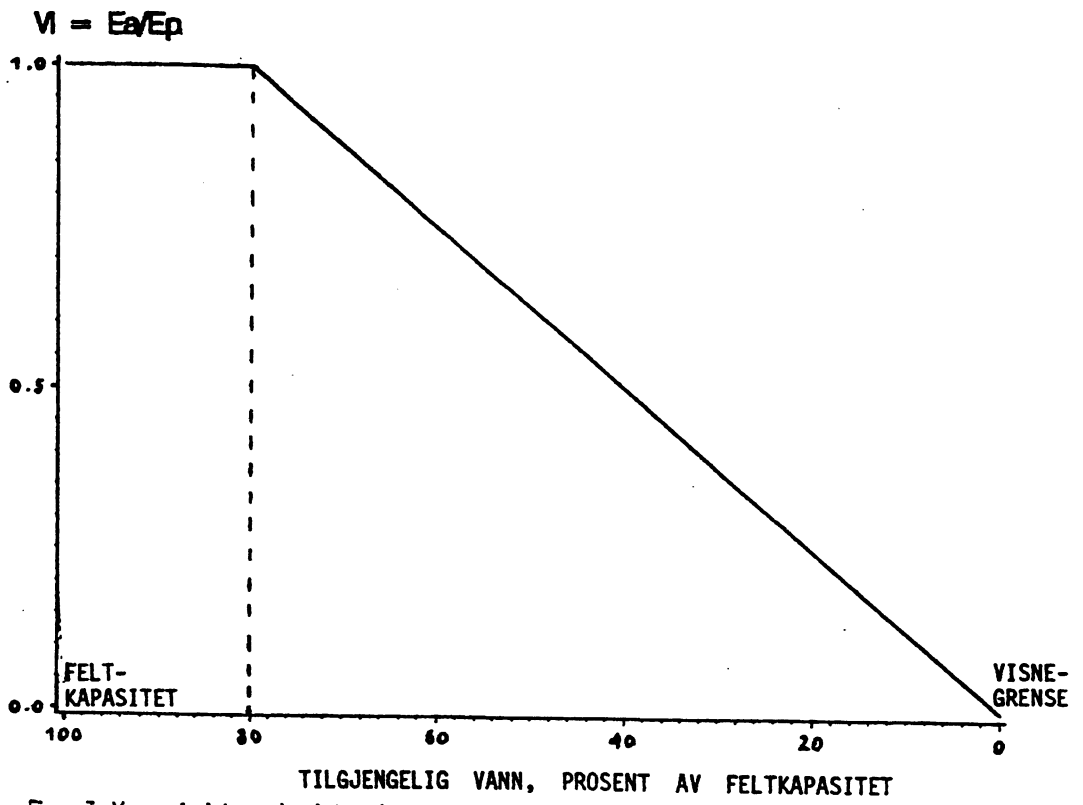
- Penman, H.L. 1948. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. Proc. R. Soc., Ser. A, 193, 120-145.
- Torssell, B. W. R., Kornher, A. & Svensson, A. 1982. Optimization of parameters in a yield prediction model for temporary grass- lands (Swedish University of Agricultural Sciences, Department of plant Husbandry. Report 112). Uppsala.



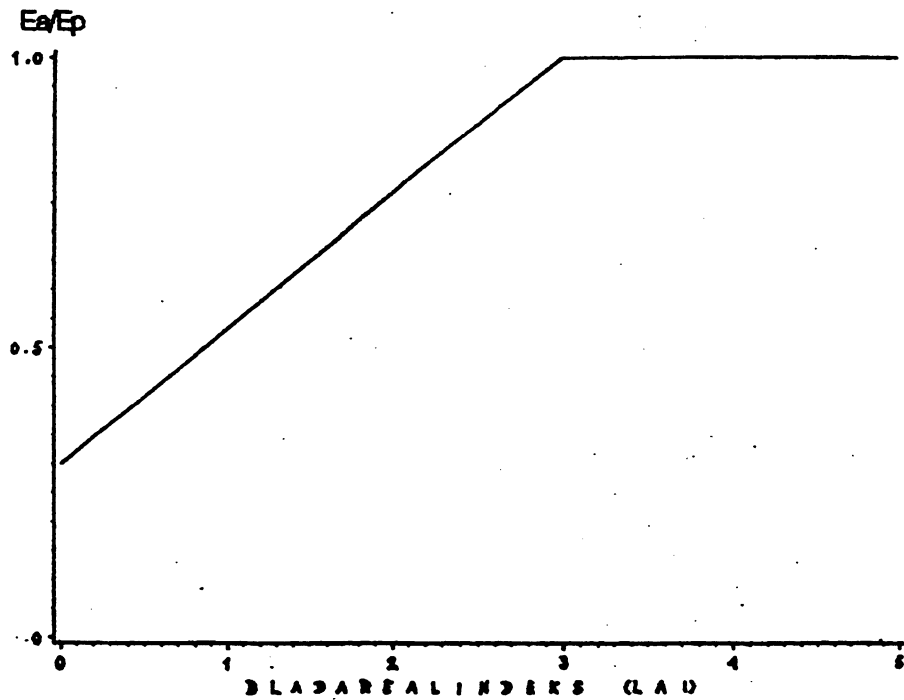
Figur 1. Strålingsindeksen i græsmarkmodellen.



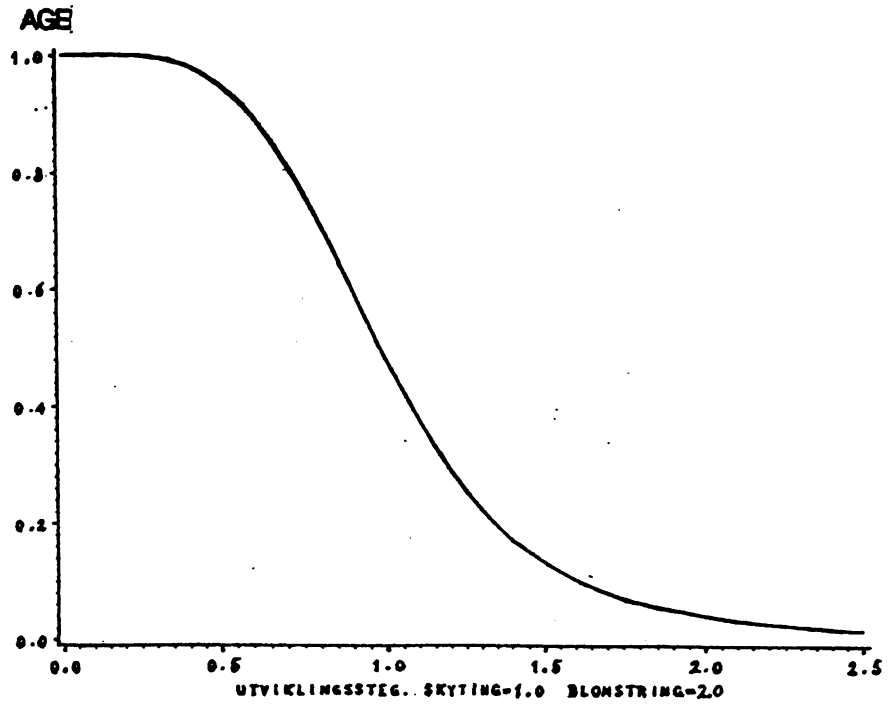
Figur 2. Temperaturindeksen i græsmarkmodellen.



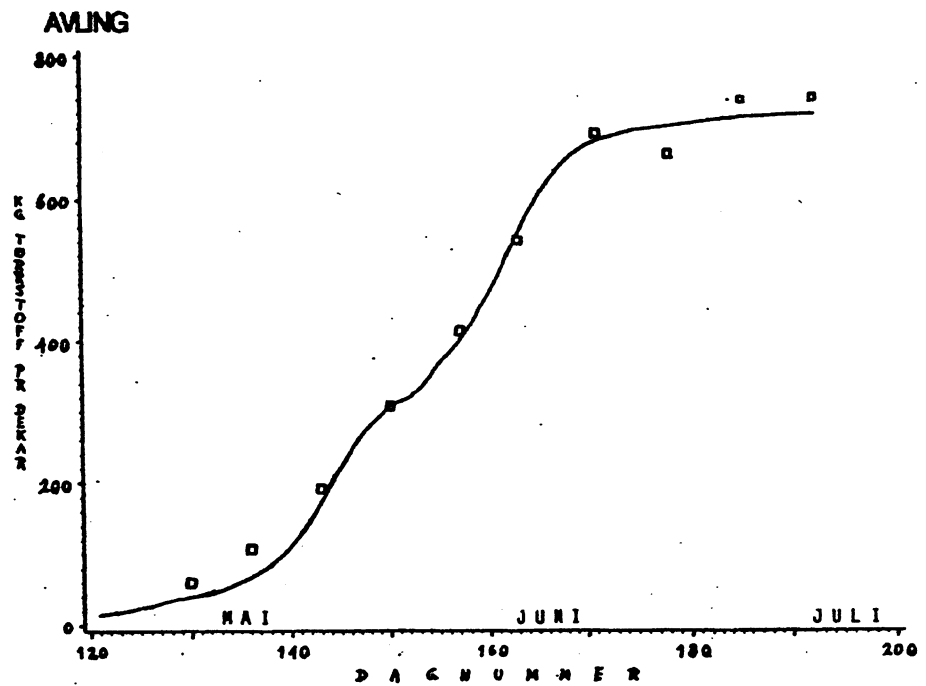
Figur 3. Vann-indeks ved avtakende vanninnhold.



Figur 4. Aktuell evapotranspirasjon,  $E_a/E_p$ , ved glatte bladareal



Figur 5. AGE - faktoren i grasmarkmodellen.



Figur 6. Beregnet (—) og målt (□) timotei-avling, NLH 1989