

# Vatn og planteproduksjon i jordbruket

Av Arne Oddvar Skjelvåg

Forfatteren er professor ved Universitetet for miljø- og biovitenskap

## Innlegg på seminar 15.03.2005.

### Samandrag

I ein kornåker går det med om lag 360 liter vatn for å produsera ein kg korn. Andre vekstar som t.d. gras brukar noko meir vatn per kg tørrstoff dei produserer, og somme brukar noko mindre, t.d. potet og fôrbete. Utbyttet av vatnet som vert brukt, vert størst når andre vekstfaktorar vert tilførte i optimale mengder. Potensiell planteproduksjon kan reknast ut frå stråling og temperatur. I Norden kjem reduksjonen på grunn av ufullstendig vasstilgang over år på om lag ein tredel av potensiell produksjon både aust på Jylland og sør og nord i Finland. På Sør-Austlandet ligg nedgangen på ein firedel, han er ein femdel på Jæren og noko midt imellom i Pasvik. Minst er nedgangen på grunn av utilstrekkeleg vasstilgang nordvest i Noreg med om lag ein sjudel av potensiell produksjon.

### Allment

Livsprosessane i plantar går føre seg i vatn, og berre vassfylt protoplasma kan funksjonera. Protoplasmaet inneheld i middel 85-90% vatn, og enda lipidrike organellar som klorplastar og mitokondriar inneheld 50% vatn. Fruktar kan ha eit vassinnhald på 85 - 95%, medan tørre frø kan liggja på 10 - 15%, og mange feittrike frø enda nede på 5 - 7% vatn (Larcher 1976).

Vatn i jorda, den delen som er tilgjengeleg for plantar, er bunde med fuktspenning frå 0 bar og til eit høgste nivå som kan variera frå 7 til 30 bar. Urtevorne plantar med stort krav til vasstilgang visnar varig ved fuktspenning på 7 - 8 bar, dei fleste jordbruksvekstane ved 10 - 20 bar og plantar som veks på tørre veksestader, og ymse tre visnar varig først ved 20 - 30 bar. I praksis reknar ein 15 bar som visnegrensa for jordbruksvekstar (Larcher 1976).

Lufta tek unna vatnet som plantane transpirerer. Vasspotensialet i lufta er oftast berre ein liten fraksjon av potensialet til plantetilgjengeleg vatn i jorda. Det vil seia at plantar står i ein svært sterk fuktspenningsgradient. Vassopptaket er i hovudsaka passivt, og det vert drive av storleiken på denne gradienten.

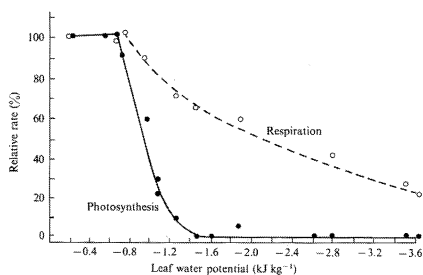
Fordampingsvarmen til vatn er etter måten høg,  $2,46 \text{ MJkg}^{-1}$ . Såleis er det nett som venta når vasstapet frå ein plantesetnad vèl forsynt med vatn følgjer innstrålinga, men også større mettingsdefisitt i lufta og sterkare vind aukar fordampinga. Vasstap gjennom spalteopningane hos plantar kallar ein transpirasjon. Han er oftast vanskeleg å skilja frå fordamping av vatn frå bladyta og frå jorda, og summen av desse to formene vert kalla evapotranspirasjon. Penmans formel (Penman 1948) er eit halvempirisk, matematisk uttrykk for sambandet mellom vêret og evapotranspirasjonen frå ei referansegrøde i god vekst og vèl forsynt med vatn.

$$E_p = (\Delta H + yE_a) / (\Delta + y)$$

der:  $E_p$  = potensiell evapotranspirasjon,  $H$  = netto innstråling,  $E_a$  =  $f$ (mettingsdefisitt i lufta, vind),  $\Delta$  = hallinga på mettingstrykkkurva og  $y$  = psykrometerkonstanten.

I praktisk landbruk er plantar oftast ikkje optimalt forsynte med vatn i rotsona. Det fører til atlatne spalteopningar og dermed mindre transport av karbondioksid frå lufta og inn til kloroplastane. Dette kjem til uttrykk i nedsett fotosyntese (fig. 1),

men det er andre fysiologiske prosessar som går sin gang, jamvel om assimilasjonen av karbondioksid stoggar. Anding til vedlikehald av levande plantevev og til vekst minkar reeltivt mindre med uttørking enn det karbondioksidassimilasjonen gjer. Det tærer på reservane som planten har, og nettoproduksjonen ved tørke går ned også av den grunnen.

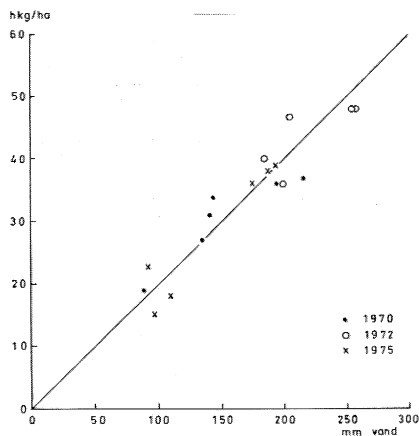


Figur 1. Sambandet mellom vasspotensial hos blad og relative verdier for fotosyntese og anding. Legg merke til at fotosyntesen fell snøggare med uttørking av bladet enn det andingstapet gjer (Milthorpe & Moorby 1979).  $0,1 \text{ kJkg}^{-1} = 1 \text{ bar}$ .

### Talfesting av vassforbruk

Det knyter seg somme måletekniske vanskar til å fastsetja samanhengen mellom vassforbruk og planteproduksjon. Figur 2 viser at det i feltforsøk på Jylland gjekk med 500 liter vatn for kvar kg bygg som kunne haustast. Dette er eit heller upresist overslag, og vassforbruket per kg korn vert heller høgt. Men figur 2 syner at også i dette maritime klimaet er det eit rettlina samband mellom vasstilgang og kornavling. Slike rettlina samband

er gjerne vèl så stramme i område med halvtørt og tørt klima



Figur 2. Sambandet mellom korn-avling hos bygg og vass-tilgang ved seks forsøkssta-sjonar på Jylland i dei to tørre åra 1970 og 1975 og det våte året 1972. Vass-tilgangen er uttrykt ved nedbør i mai og juni pluss rotsonekapasitet av plante-tilgjengeleg vatn i jorda. (Aslyng 1976)

Meir raffinerte metodar frå plantevekstmodellering kan gi nøyaktigare overslag på forbruket i sjølve karbondioksidassimilasjonen og omdanninga av assimilata til matnyttig produkt. Da kjem ein på om lag 360 liter vatn per kg korn med 15% vatn (Aslyng & Hansen 1982). Dette er likevel store mengder av eit innsatsmiddel for å skaffa fram eit matnyttig produkt. Andre vekstar som t.d. gras brukar noko meir vatn per kg tørrstoff dei produserer, og nokre brukar noko mindre, t.d. potet og fôrmete. Somme tropiske vekstar som t.d. mais kan produsera om lag 60% meir tørrstoff per liter vatn enn det kveite kan.

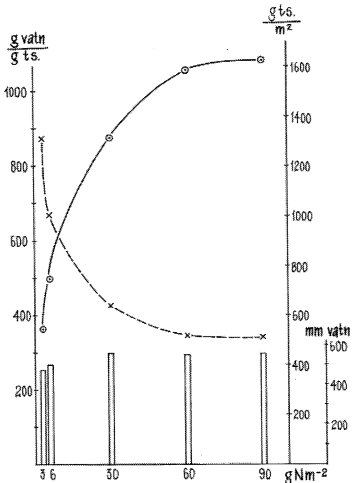
Til eit grovbrød på 1 kg går det vanlegvis med om lag 500 g mjøl, som kan vera av ein middels utmalingsgrad på 80%. Det vil seia at det går med  $360 \cdot 0,5 / 0,8 = 225$  liter vatn i åkeren for å produsera mjølet til eit litt stort brød. For å produsera 15 g mjøl til ei brødskeiv på om lag 30 g treng ein kveiteåker såleis om lag 7 liter vatn. Da er det ikkje rekna med forbruk av vatn i alle andre prosessar som skal til for å skaffa fram maskinar, reiskap, gjødsel og andre driftsmidlar, og heller ikkje til livsens opphald åt korndyrkaren og samfunnet hans.

### Samspel med andre faktorar

Nedbør er ein av dei tre viktigaste, klimatiske faktorane for planteproduksjon, nemleg: stråling, temperatur og vass-tilgang. Kvar av desse kan vera heilt avgrensande for planteproduksjon, og det er sampeleffektar mellom dei. Det er det også mellom klimatiske faktorar og dyrkingsåtgjerder som til dømes gjødsling.

Figur 3 viser at utnyttinga av tilgjengeleg vatn vart betre da tilgangen på nitrogen var tilstrekkeleg. Plantane fekk i dette tilfellet god tilgang på vatn, medan nitrogen-gjødslinga vart variert i steg frå eit underskott til eit overskott. Avlinga, det er tørrstoffproduksjonen, auka særleg sterkt med nitrogentilgangen frå utilstrekkeleg mengd til ei tolleg god forsyning. Vassforbruket, her gitt i mm vatn, auka også noko, men meir dramatisk var nedgangen i transpirasjonskoeffisienten uttrykt i g vatn

per g tørrstoff, som vart meir enn halvert. Dette er eit døme på at utbyttet av vatnet som vert brukt, vert størst når ein annan vekstfaktor vert tilført i tolleg optimale mengder, og dette gjeld reint allment for andre vekstfaktorar med.



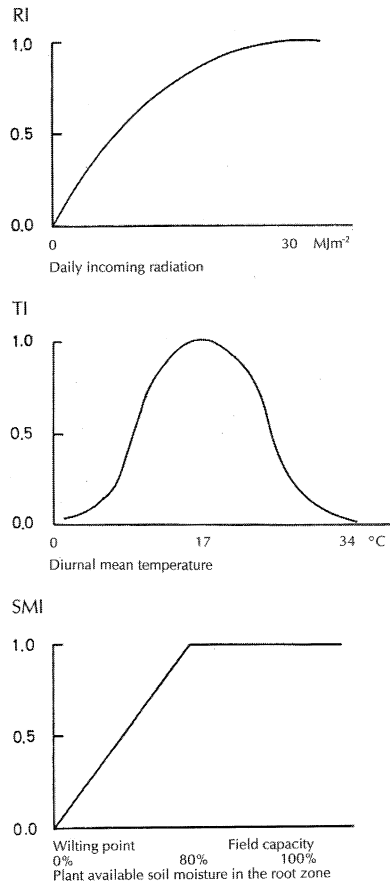
Figur 3. Tørrstoffproduksjon (ts), vassforbruk (mm) og transpirasjonskoeffisient (g vatn / g ts) hos vanleg raigras dyrka i lysimeter ved ymsis nitrogengjødsling og hausta seks gonger. (Data frå Friis Nielsen 1963)

Dei klimatiske faktorane kan samlast i eitt uttrykk for stråling, varmeklima og vasstilgang ved ein vekstindeks som fangar opp eit biologisk grunnlagt samband mellom vêr og planteproduksjon. På den måten kan ein karakterisera dei klimatiske vilkåra og setja mål på dei avgrensingane som klimafaktorane set for planteproduksjon på ymse stader. Vekstindeksen (GI) er:

$$GI = RI \cdot TI \cdot SMI$$

der: RI = strålingsindeksen, TI = temperaturindeksen og SMI =

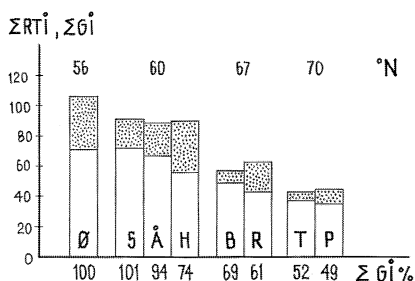
vasshushaldsindeksen. Alle indeksane varierer frå 0,0 når vedkommande klimafaktor er heilt avgrensande for plantevekst, til 1,0 når faktoren er på eit optimalt nivå. Frå ein svensk modell av tilvekst i eng er dei funksjonelle sambanda mellom klimafaktor og indeksverdi slik som vist i figur 4.



Figur 4. Strålingsindeks (RI), temperaturindeks (TI) og vasshushaldsindeks (SMI) for tilvekst i eng som funksjon av i sin tur dagleg globalstråling, døgnmiddeltemperatur og plantetilgjengeleg vatn i rotsona. (Data frå Torssell & Kornher 1983)

## Regional variasjon i Norden

Lengda på vekstetida kan definerast ved temperaturen. Den nære samanhengen mellom daglege verdiar av vekstindeksen og tilvekst kan så nyttast til å laga overslag over produksjonspotensialet i heile vekstetida ved å summera daglege indeksar frå vår til haust (Fagerberg 1991). Ei kartlegging på denne måten synte nedgangen i produksjonspotensial frå sør til nord i Skandinavia (fig. 5) og variasjon frå vest mot aust langs same breiddegraden når nedbøren er rekna med (fig. 5, open del av søylene).



Figur 5. Toppen av opne søyler er sum vekstindeks (GI) frå passering av 5oC om våren inntil tilsvarande om hausten på åtte stader: Ø = Ødum på austsida av Jylland, S = Sola på Jæren, Å = Ås i Akerhus, H = Helsingfors i Finland, B = Bodø i Noreg, R = Rovaniemi i Finland, T = Tromsø og P = Pasvik i Noreg. Toppen av søylene syner summen av produktet strålingsindeks gonga temperaturindeks ( $RTI = RI \cdot TI$ ), og det er uttrykk for produksjonspotensialet i fall vassforsyninga var optimal ( $SMI = 1,0$ ) i heile vekstetida. Vêrobservasjonar frå seriar av daglege observasjonar i 30 år i middel for stadene. Jorda er på alle stadene valdå vera sandjord med 90 mm plantetilgjengeleg vatn i rotsona. (Data frå Skjelvåg 1998)

Dei relative tala  $\Sigma GI\%$  under x-aksen i figur 5 syner at produksjonspotensialet lengst i nord er om lag det halve av det ein har sør i Norden. Den prikkede delen av søylene syner nedgang i sum indeks på grunn av underoptimalt vasshushald. Han er størst på Jylland og fallande nordetter. På same breiddegrad er det ein større nedgang i indeks, dvs. mogleg avling, på grunn av skort på vatn i aust enn i vest, både absolutt og relativt, men figur 5 syner at heller ikkje langs kysten er vasshushaldet optimalt til alle tider, og det er avlingstap på grunn av tørke. Nedgangen i langtidsmidlet av indeksen på grunn av ufullstendig vassstilgang var om lag ein tredel av potensiell produksjon aust på Jylland og både sør og nord i Finland. Han var ein firedel på Sør-Austlandet, ein femdel på Jæren og noko midt imellom i Pasvik. Minst var nedgangen for ufullstendig vassstilgang i Bodø og Tromsø med om lag ein sjudel av den potensielle produksjonen.

## Sluttord

Stråling, temperatur og nedbør er dei tre viktigaste, naturgjevne faktorane for planteproduksjon. Vassstilgangen er den vekstfaktoren som lengst har vore styrt av menneska ved vatning. I dag vert om lag 2,5 milliardar dekar jordbruksareal i verda vatna (FAO 2005). Det er noko mindre enn ein femdel av heile arealet med dyrka jord. Om lag fire femdelar av vatningsarealet ligg i utviklingsland, som delvis er heilt avhengige av vatningsjordbruk i matproduksjonen sin. Til visse tider vert

planteproduksjonen også i nedbørrike strok sett ned på grunn av utilstrekkeleg vasstilgang. Over år i Noreg kan dette avlingstapet jamført med potensiell produksjon liggja på ein firedel på Sør-Austlandet og ein sjudel på kysten i Nord-Noreg.

### Referansar

ASLYNG, H. C. 1976.

Jordklassifisering og høstendubytte i Danmark. Tidsskrift for Landøkonomi 4: 345-358.

ASLYNG, H.C. & S. HANSEN 1982. Water balance and crop production simulation. Hydrotechnical Laboratory, The Royal Veterinary and Agricultural University. Copenhagen. 200 s.

FAGERBERG, B. 1991. The effect of weather fluctuations on simulated ley growth in Sweden. Swedish Journal og Agricultural Research 21: 95-105.

FAO 2005.

<http://www.fao.org/ag/agl/agll/gaez/ta b/t37.htm>

FRIIS NIELSEN, B. 1963. Plant production, transpiration ratio and nutrient ratios as influenced by interactions between water and nitrogen. Doktoravhandling, Den kgl. Veterinær- og Landbohøjskole. København. 162 s.

LARCHER, W. 1976. Ökologie der Pflanzen. Verlag Eugen Ulmer. Stuttgart. 320 s.

MILTHORPE, F. L. & J. MOORBY 1979. An introduction to crop physiology. Second ed. Cambridge University Press. 244 s.

PENMAN, H. L. 1948. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. Proceedings of the Royal Society, Series A 193: 120-145.

SKJELVÅG, A.O. 1998. Climatic conditions for crop production in Nordic countries. Agricultural and Food Science in Finland 7: 149-160.

TORSSELL, B.W.R. & A. KORNHER 1983. Validation of a yield prediction model for temporary grasslands. Swedish Journal og Agricultural Research 13: 125-135.