



**NIBIO**

NORSK INSTITUTT FOR  
BIOØKONOMI

# Vanning til jord- og hagebruksvekster

En litteraturstudie av norske undersøkelser siden 1960

NIBIO RAPPORT | VOL. 7 | NR. 160 | 2021



Hugh Riley

Divisjon for matproduksjon og samfunn/Apelsvoll

## TITTEL/TITLE

Vanning til jord- og hagebruksvekster: En litteraturstudie av norske undersøkelser siden 1960

## FORFATTER(E)/AUTHOR(S)

Hugh Riley

DATO/DATE:	RAPPORT NR./ REPORT NO.:	TILGJENGELIGHET/AVAILABILITY:	PROSJEKTNR./PROJECT NO.:	SAKSNR./ARCHIVE NO.:
25.10.2021	7/160/2021	Åpen	51105	18/01489
ISBN:	ISSN:	ANTALL SIDER/ NO. OF PAGES:	ANTALL VEDLEGG/ NO. OF APPENDICES:	
978-82-17-02922-9	2464-1162	81		

## OPPDRAAGSGIVER/EMPLOYER:

Landbruksdirektoratet

## KONTAKTPERSON/CONTACT PERSON:

## STIKKORD/KEYWORDS:

Nedbør, fordamping, vanningsbehov, miljø-  
og økonomivurderinger

## FAGOMRÅDE/FIELD OF WORK:

Dyrkingsteknikk

## SAMMENDRAG/SUMMARY:

Rapporten presenterer informasjon om behovet for vanning til jord- og hagebruksvekster i Norge på basis av tidligere forskning. Faktorer som påvirker vanningsbehov er beskrevet, på bakgrunn av både klimaforhold, jordartenes vannlagringsevne og plantenes vekst- og rotutvikling. Det er redegjort for tørkefølsomheten i ulike vekstfaser hos de mest dyrkede vekstene. Det gis en oversikt over utslagene for vanning som er oppnådd i norske feltforsøk, og det presenteres modellberegninger av forventede avlingstap som følge av tørke på jord med ulik vannlagringsevne. Sistnevnte beregninger er utført med værdata fra fire regioner i perioden 1973-2020. Miljøhensyn som økt risiko for utvasking er omtalt, samt ressursbruk i form av nødvendige vannmengder og antall vanninger. Til slutt gis det en vurdering av sannsynlige kostnader og økonomisk gevinst ved vanning til korn og potet i Norge.

## LAND/COUNTRY:

Norge

## FYLKE/COUNTY:

Innlandet

## KOMMUNE/MUNICIPALITY:

Østre Toten

## STED/LOKALITET:

Apelsvoll

## GODKJENT /APPROVED

Wendy Waalen

NAVN/NAME

## PROSJEKTLEDER /PROJECT LEADER

Annbjørg Øverli Kristoffersen

NAVN/NAME



NIBIO

NORSK INSTITUTT FOR  
BIOØKONOMI

# Forord

Bruk av vanning som et avlingsfremmende tiltak er ingen ny teknikk i norsk jordbruk. Mange vil huske fra Hamsuns 'Markens Grøde' hvordan ingeniøren Geissler lærte Isak Sellanrå å skaffe vann til engen hans i Nordland. I Nordbys 'Forelesninger om kunstig vatning' (1939) står det at vanning var utbredt i Norge allerede rundt 1600, bla. i Skjåk. Han beskrev vekslende aktivitet for å øke bruken av vanning etter 1850, og at det på 1930-tallet var planlagt 550-600 anlegg for å dekke et areal på ca. 20.000 daa.

Bruken av vanning i Norge skjøt for alvor fart først på 1970-tallet, etter at store vanningsmaskiner kom på markedet. Spesielt etter tørkeårene 1975-76 ble det bygget mange nye anlegg. Landbrukstellinga i 1999 viste at et areal på 1.32 mill. dekar hadde mulighet for vanning, dvs. ca. 14 % av jordbruksarealet. I årene fra 1970 til 2000 var det relativt stor norsk forskningsaktivitet innenfor agronomiske spørsmål knyttet til vanning. Mange av resultatene ble publisert i vitenskapelige tidsskrift, men publikasjonene er i dag ikke alltid lett tilgjengelige for rådgivere og andre interesserte.

Etter tørkesommeren 2018 ble betydningen av å besitte kunnskap om vanning aktualisert på nytt. Slik kunnskap kan for eksempel gjelde hvilke tidspunkt i vekstutviklingen som ulike vekster er følsomme for tørke og hvordan ulike jordarter evner å forsyne plantene med vann. Resultatene fra den tidligere forskningen på området har fortsatt relevans i dag.

Gjennom prosjektet «Klimatilpassede vanningsstrategier for viktige jordbruksvekster», finansiert av Landbruksdirektoratet, er det i denne rapporten forsøkt å samle kunnskapen om vanning fra tidligere arbeid, i håp om at det kan komme til nytte også i framtida.

En spesiell takk rettes til kollegaer ved tidligere Kise Forskningsstasjon, spesielt Steinar Dragland og Johannes Thorsrud, som stimulerte min interesse for spørsmål forbundet med vanning.

Apelsvoll, 25.10.21

Hugh Riley

# Innhold

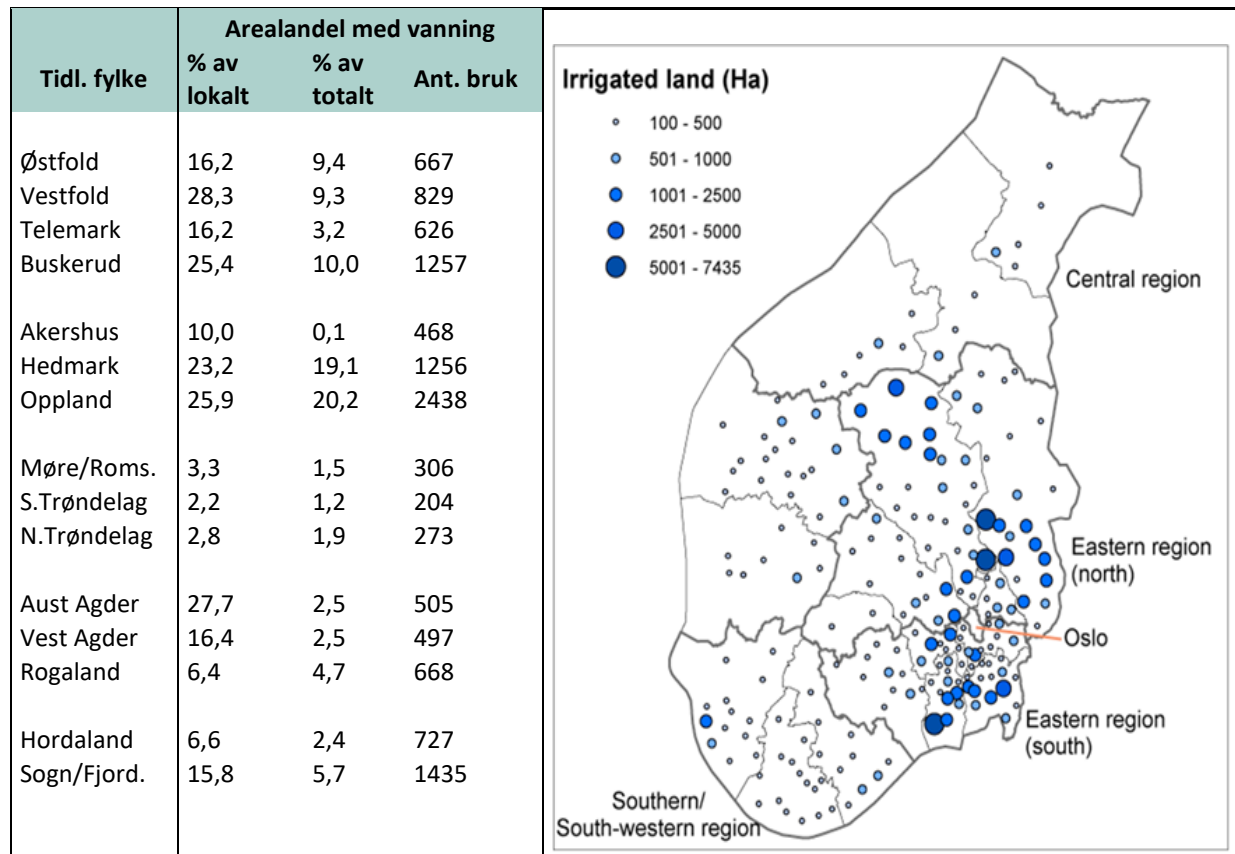
1	Omfanget og behovet for vanning i Norge.....	5
1.1	Fordelingen av vannet areal .....	5
1.2	Grunnlaget for vanningsbehov .....	6
1.2.1	Klimafaktorerens betydning for vanningsbehov.....	6
1.2.2	Jordfaktorers betydning for vanningsbehov.....	13
1.2.3	Vekstfaktorers betydning for vanningsbehov.....	18
2	Tørkefølsomhet i ulike vekstutviklingsstadier .....	33
2.1	Bakgrunn og metodikk.....	33
2.2	Virkning av tørke hos ulike vekster.....	36
2.2.1	Korn .....	36
2.2.2	Oljevekster .....	38
2.2.3	Erter.....	40
2.2.4	Poteter .....	42
2.2.5	Eng og frøgras .....	46
2.2.6	Grønnsaker på friland .....	47
2.2.7	Frukt og bærvekster .....	49
2.3	Prioritering av vanning til ulike vekster .....	51
2.3.1	Åkervekster .....	51
2.3.2	Grønnsaker .....	52
3	Forventede utslag for vanning i Norge.....	53
3.1	Utslag for vanning målt i norske feltforsøk .....	53
3.2	Modellert effekt av tørke på ulike jordtyper i ulike regioner .....	58
3.2.1	Beregningsmetode .....	58
3.2.2	Resultater .....	60
4	Miljøhensyn, ressursbruk og økonomi .....	67
4.1	Miljøhensyn .....	67
4.2	Ressursbruk .....	70
4.3	Kostnader og økonomi .....	72
5	Konklusjon .....	74
	Litteraturhenvisninger.....	75

# 1 Omfanget og behovet for vanning i Norge

## 1.1 Fordelingen av vannet areal

Arealet med eksisterende vanningsanlegg i Norge var ved Jordbrukstellinga i 1999 ca. 1,32 millioner dekar, eller 14 % av landets totale jordbruksareal (tabell 1.1).

Tabell 1.1. Fylkesvis andel av jordbruksarealet som vannes og antall bruk med vanning (kilde: SSB)



I flere tilfeller utgjør arealet som kan vannes på fylkesbasis 20-30 % av fylkets totale jordbruksareal. Mer enn 70 % av det vannete arealet finnes på Østlandet, med nesten 40 % av arealet i de tre fylkene Hedmark, Oppland og Akershus, og 32 % i fylkene Østfold, Vestfold, Telemark og Buskerud. Ca. 10 % av arealet finnes på Sørlandet og Sør-Vestlandet (Aust- og Vest-Agder, Rogaland), 8 % på Vestlandet (Sogn og Fjordane, Hordaland) og 5 % i Midt-Norge (Møre & Romsdal, Sør- og Nord-Trøndelag).

I 2007 ble det registrert 1 176 000 dekar jordbruksareal som kunne vannes med eksisterende anlegg, mens året før utgjorde jordbruksareal som faktisk ble vannet knapt halvparten av dette. Ca. to tredeler av brukene tar vann fra elv eller bekk og én tredel fra innsjøer, mens bruk av grunnvann er begrenset. Bruk av vanningsvogn er den dominerende måten å vanne på store areal, mens rør/slanger med småspredere brukes fortsatt på mindre areal. Dryppvanning brukes noe i frukt- og bærproduksjon.

Behovet for vanning i norsk jordbruk avhenger av en rekke faktorer som omfatter klimatiske forhold, jordforhold og vekstene som dyrkes. Alle disse faktorene varierer sterkt i ulike regioner og landsdeler. I de følgende avsnittene gis det en innføring i grunnlaget for vanningsbehovet under norske forhold.

## 1.2 Grunnlaget for vanningsbehov

Mengden med nedbør er klart avgjørende for hvorvidt det bør vannes, men vannbalansen bestemmes også av fordampingen som skjer fra jord og planter. Den potensielle (dvs. maksimale) fordampingen avhenger av faktorer som innstrålt solenergi, temperatur og vindhastighet. Videre bestemmer jordas vannlagringsevne, som varierer med bla. jordtekstur og moldinnhold, hvor mye av nedbøren som tas vare på før det skjer avløp til grøftene. Etter hvert som vannlageret i jorda avtar, reduseres gradvis den aktuelle (dvs. faktiske) fordampingen som skjer fra jord og planter. Sistnevnte størrelse påvirkes dessuten av vekstenes utviklingsstadium og rottybde.

### 1.2.1 Klimafaktorens betydning for vanningsbehovet

#### 1.2.1.1 Nedbør i vekstsesongen

Nedbøren er ulikt fordelt i landet og den viser stor variabilitet, både mellom regioner og mellom år. Tabell 1.2 viser nedbørnormaler (1961-1990) i middel for en rekke nedbørstasjoner i fire viktige jordbruksregioner. Stasjonene er valgt for å dekke en høydespredning som er representativ for jordbruket. Nedbørssummen i den første halvdel av vekstsesongen er relativt lik på Østlandet og i Midt-Norge, mens den er noe høyere på Sørlandet og Sør-Vestlandet. Sistnevnte regioner har betydelig mer nedbør enn førstnevnte i den andre halvdel av vekstsesongen. Innenfor hver region er det relativt liten variasjon mellom målestedenene i nedbørnormalene.

Tabell 1.2. Nedbørnormaler (1961-1990) (mm) i middel av 15 representative værstasjoner i fire jordbruksregioner hvor vanning er mest utbredt (data: Førland 1993, kart: Riley & Berentsen 2009)

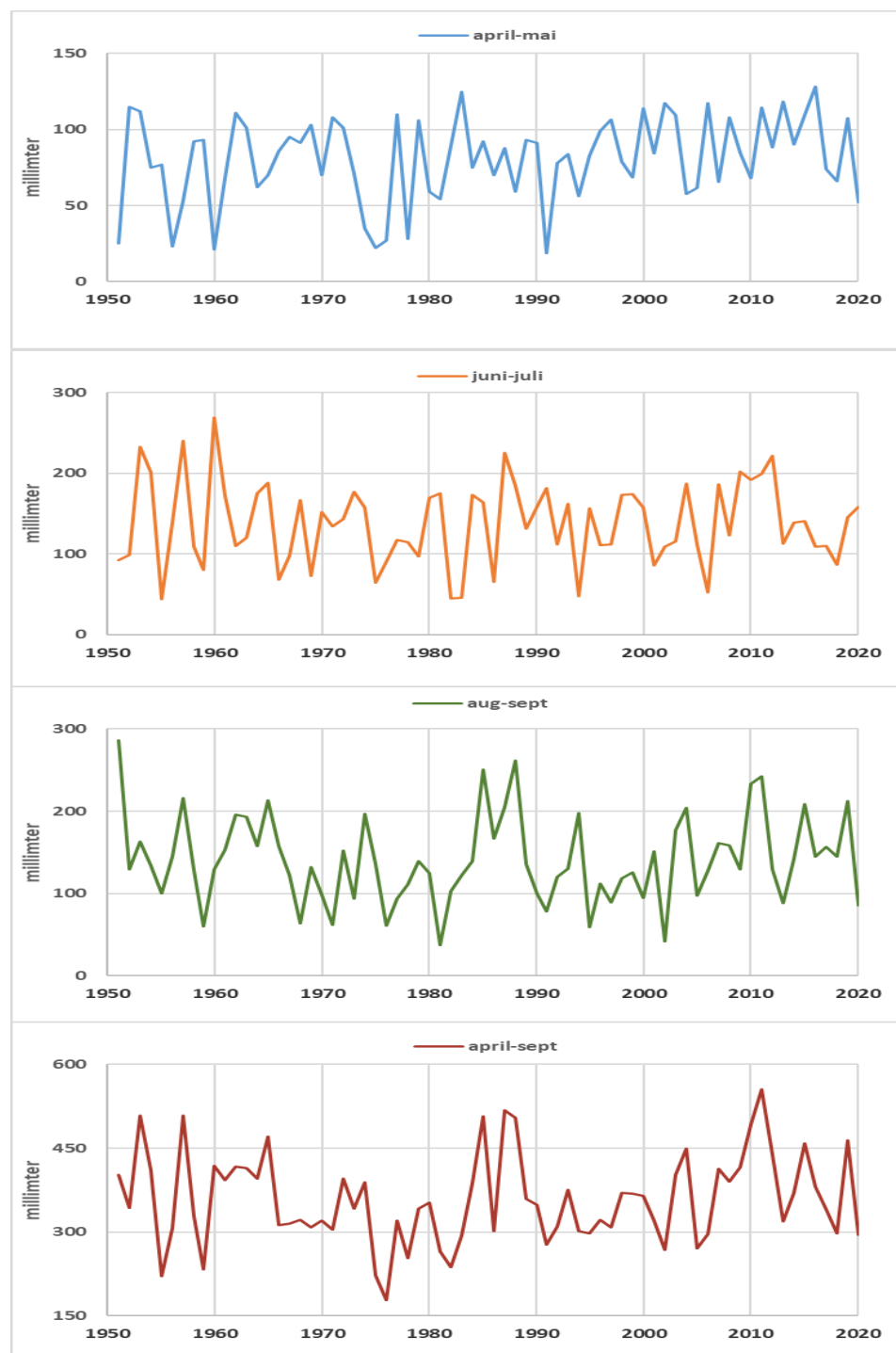
	april- moh		juni	juli-sept.	april- sept.	hele året
<b>Sør-Østlandet</b>						
Middel	71	173	266	439	856	
Std.avvik	52	16	20	34	100	
<b>Nord-Østlandet</b>						
Middel	205	144	219	363	622	
Std.avvik	84	19	25	44	97	
<b>Sørlandet/Sør-Vestlandet</b>						
Middel	35	210	359	572	1289	
Std.avvik	48	33	56	86	253	
<b>Midt-Norge</b>						
Middel	71	171	288	458	973	
Std.avvik	74	26	45	70	185	

Begrepet 'normal nedbør' kan være misvisende når man skal vurdere behovet for vanning, fordi det kan gi inntrykk av at 'normalen' er noe som forventes å inntreffe med relativt stor sikkerhet. Normalen er imidlertid et gjennomsnitt som kan skjule en betydelig variasjon mellom år. Dette illustreres med målinger fra en værstasjon (Kise, Nes på Hedmark) som er representativ for jordbruk i Mjøsområdet. Nedbørnormalene i vekstsesongen for periodene 1931-1960 og 1961-1990 var nesten like (tabell 1.3), mens det i årene etter 1990 har skjedd en liten økning i nedbøren (5 %).



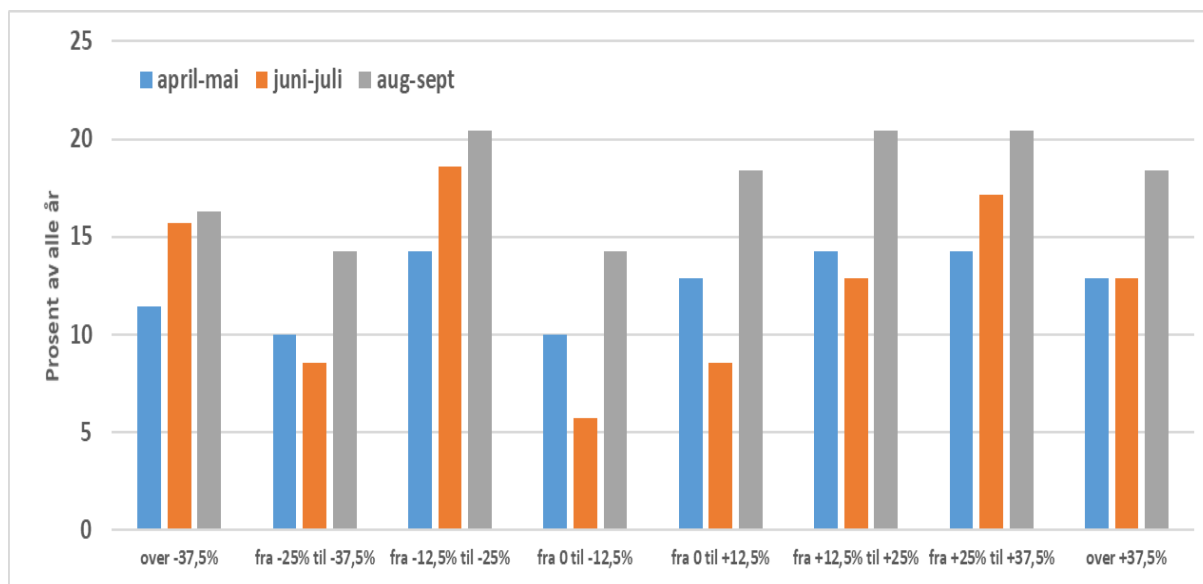
Tabell 1.3. DNMI's offisielle nedbørnormaler (mm) for periodene 1931-60 og 1961-1990 ved Kise værstasjon, Nes på Hedmarken, sammenliknet med middeltall målt ved stasjonen de siste 30 år

Periode	april	mai	juni	juli	august	sept.	april-sept.
1931-1960	31	38	63	82	70	64	348
1961-1990	34	44	59	66	76	64	343
1991-2020	33	54	67	72	81	57	364



Figur 1.1. Årlig variasjon i nedbøren målt i vekstsesongen ved Kise, Nes på Hedmarken, 1951-2020

Årsvariasjonen målt samme sted i perioden 1951-2020 er imidlertid betydelig (figur 1.1): Vi ser at nedbørsummen i vårperioden (april-mai) svinger fra ca. 20 til 120 mm, midt på sommeren (juni-juli) fra under 50 til over 200 mm, mens seinere i vekstsesongen (august-september) svinger det enda mer. Det er vanskelig å spore en tidstrend i utviklingen av nedbørsmengden på Kise i denne perioden. Når man uttrykker variasjonen som prosent av normalnedbøren, ser vi at år med store avvik fra normalen forekommer vel så ofte som år med små avvik, i både positiv og negativ retning (figur 1.2). Dette betyr f.eks. at begrepet 'forsommertørke', som mange forbinder med en 'normal' mangel på nedbør om våren, trolig er overdrevet! Om høsten inntreffer år med mye mer nedbør enn gjennomsnittet oftere enn år med mye mindre enn normalt. Også i perioden midt på sommeren er det ofte store avvik fra nedbørnormalen.



Figur 1.2. Fordeling av år med avvik fra normalnedbøren i ulike %-klasser (-/+ ) ved Kise 1951-2020.

#### 1.2.1.2 Potensiell fordampning og vannbalanse

Potensiell fordampning (Ep) defineres som det maksimale vanntapet til atmosfæren som skjer fra jord og planter som følge av de rådende klimatiske forholdene (strålingsbalanse, luftfuktighet, vindstyrke). Til jordbruksformål i Norge har fordampning fra ei fri vannflate plassert i høyde med kortklipt gras tidligere blitt brukt som et mål på slik fordampning (Hetager og Lystad 1974; Lystad 1981). Dette antas å tilsvare omtrent fordampningen som skjer fra et helt plantedekke som er godt forsynt med vann. Sett i forhold til en del metoder som brukes andre steder, tar metoden høyde for energiflyten som skjer ved oppvarming av jorda om våren og nedkjøling om høsten. Denne energiflyten utgjør hhv. et tap av energien som er tilgjengelig for fordampning om våren og en ekstra tilførsel av energi om høsten. Dette kan antas å ha større betydning under norske forhold enn andre steder, pga. den korte vekstsesongen.

Eksempler fra to av de lengste måleseriene (Kise på Nes, og Landvik ved Grimstad) er vist i tabell 1.4. Midlere fordampning og variabiliteten var nokså lik på disse to stedene, tross at Landvik ligger nær kysten på Sørlandet mens Kise ligger på 127 moh. i innlandet. Årsaken til at fordampningen på Landvik ikke er enda større enn på Kise, har trolig sammenheng med at det er betydelig mer nedbør der, spesielt seint i vekstsesongen. Overskyet vær gir som kjent mindre energitilførsel ved innstråling.

Den midlere vannbalansen gjennom sesongen for disse to målestedene er vist i figur 1.3, sammen med årsvariasjonen i balansen for hele sesongen (mai-sept.) og sammenhengen mellom summene av fordampning og nedbør. I middel av alle år ser vi at det er et betydelig nedbørsunderskudd på Kise, som øker fram til begynnelsen av august, for deretter å avta gradvis. På Landvik, derimot, er det tilnærmet balanse mellom nedbør og fordampning fram til midten av juli, og deretter et stort nedbøroverskudd.



Tabell 1.4. Månedssummer (mm) av fordamping fra fri vannflate og nedbør (middel og std.avvik) målt ved værstasjonene Kise, Nes på Hedmark, 1963-2005, og Landvik ved Grimstad, 1967-2011

	mai	juni	juli	August	sept.	mai-sept.
<b>Kise</b>						
Fordamping	63	81	82	66	38	330
Std.av.	14	19	17	15	8	44
Nedbør	45	67	69	69	63	314
Std.av.	25	39	32	37	31	71
<b>Landvik</b>						
Fordamping	65	85	87	69	39	346
Std.av.	14	21	18	17	12	53
Nedbør	77	71	92	111	136	487
Std.av.	47	40	70	73	76	130

Når man ser på hele vekstsesongen under ett, veksler vannbalansen i enkeltår mellom underskudd og overskudd. På Kise dominerer underskuddene i ca. 70 % av årene, og det har forekommet underskudd som er fem ganger så store som gjennomsnittet. På Landvik er det overskudd i ca. 80 % av årene, men også der forekommer det av og til store nedbørunderskudd, rundt 100 mm i ca. 10 % av årene. På både Kise og Landvik er det en negativ sammenheng mellom summene av fordamping og nedbør i vekstsesongen. Grovt regnet vil en dobling av nedbøren i sesongen redusere fordamping med ca. 100 mm.

Regnet på døgnbasis, er variabiliteten i fordampinga betydelig, avhengig av de rådende værforhold. Dette er framstilt i tabell 1.5, som viser døgnverdiene av fordamping målt i hver måned ved disse to stedene (middel +/- standardavvik), sett i forhold til værforholdene som er forventet i hver situasjon.

Tabell 1.5. Variasjonen i døgnverdier av fordamping (mm) fra fri vannflate målt ved Kise og Landvik, med tilhørende typiske værforhold (+/- 1 std.av. dekker 68%, og +/-2 std.av. dekker 95% av spredningen)

	mai	juni	juli	aug.	sept.	Typiske værforhold
+ 2 std.av.	4,1	5,3	5,0	4,2	3,0	Sterk sol, svært varmt og tørt, mye vind
+ 1 std.av.	3,1	4,0	3,9	3,2	2,1	Skyfritt, varmt, med lett-moderat bris
<b>Middel</b>	<b>2,1</b>	<b>2,8</b>	<b>2,7</b>	<b>2,2</b>	<b>1,3</b>	Normal temperatur, skiftende skydekke
- 1 std.av.	1,1	1,5	1,6	1,2	0,5	Kjølig, overskyet bygevær, med lite vind
- 2 std.av.	0,1	0,2	0,4	0,2	<0,0	Kaldt, stille regnvær, høy luftfuktighet

Av ulike årsaker, mest fordi det er relativt arbeidskrevende, er det mange år siden fordamping ble målt på rutinebasis i Norge. Etter at det på 1990-tallet ble etablert et nettverk av automatiske værstasjoner i landets viktigste jordbruksdistrikt (LandbruksMeteorologisk Tjeneste), har man istedenfor søkt å finne sammenheng mellom målt fordamping og værparametre som måles samme sted. En slik beregningsmåte framgår av likning (1), som er basert på målinger ved Kise værstasjon i årene 1987-2003. En tilsvarende likning, utledet av Johansson (1970), har vært brukt i Sverige ifm. jordbruksvanning. Mer informasjon om nåværende likning er presentert av Riley og Berentsen (2009, vedlegg 2):

$$E_p \text{ (mm d}^{-1}\text{)} = -5.38 + 0.0594 * X_1 + 0.1088 * X_2 + 1.84 * X_3 - 0.134 * (X_3)^2 \quad (1)$$

$E_p$  = potensiell fordamping

$X_1$  = kortbølget innstråling i MJ/døgn (representerer energitilførsel ved kortbølget innstråling)

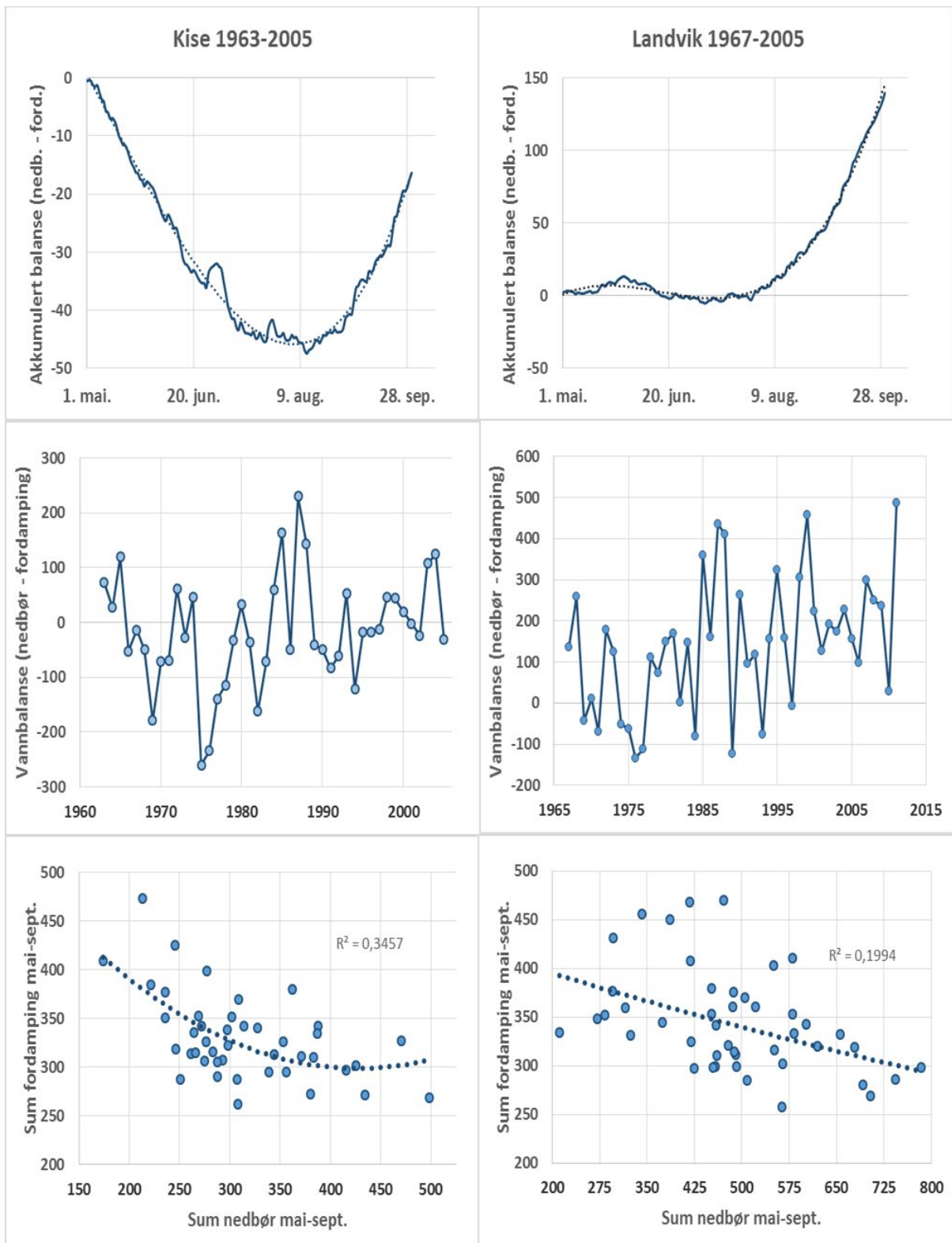
$X_2$  = vindhastighet i m/sek. x damptrykksdefisit i mbar (representerer bortførsel av damp x vannlagring i luft)

$X_3$  = månedsnr. (en empirisk sesongfaktor som forbedrer tilpasningen i ulike deler av vekstsesongen)

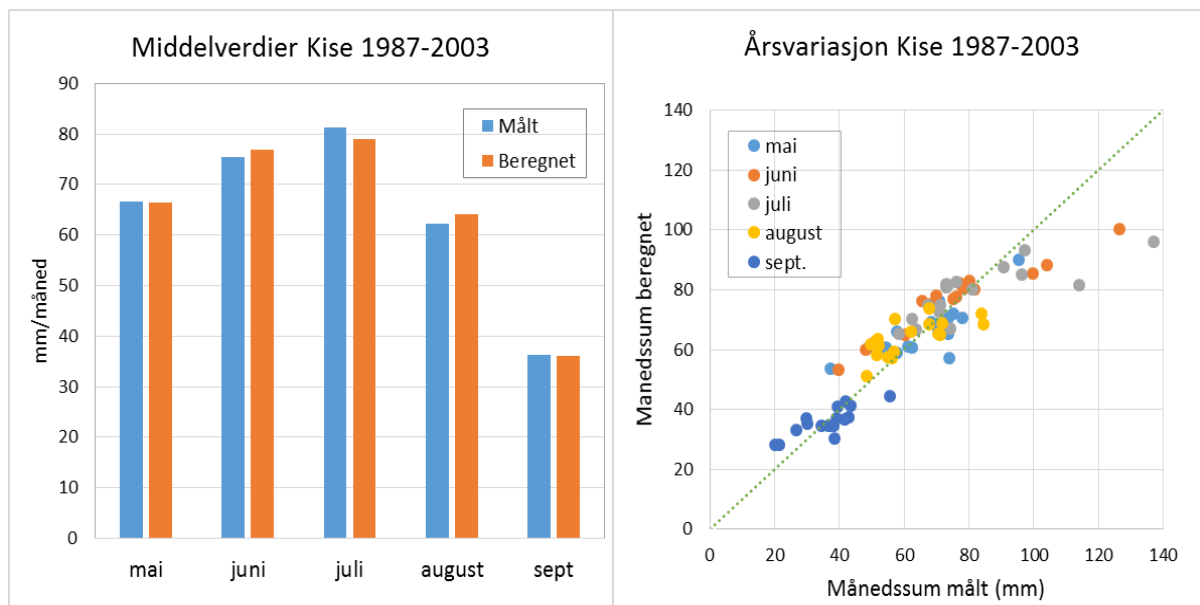
Under våre forhold står energitilførsel ( $X_1$ -leddet) for betydelig mer av fordampingen enn adveksjon ( $x_2$ -leddet).

Figur 1.4 sammenlikner månedlige  $E_p$ -summer beregnet med denne likningen med verdier av fordamping fra Kise i perioden 1987-2003. Figur 1.5 viser en sammenlikning med et uavhengig

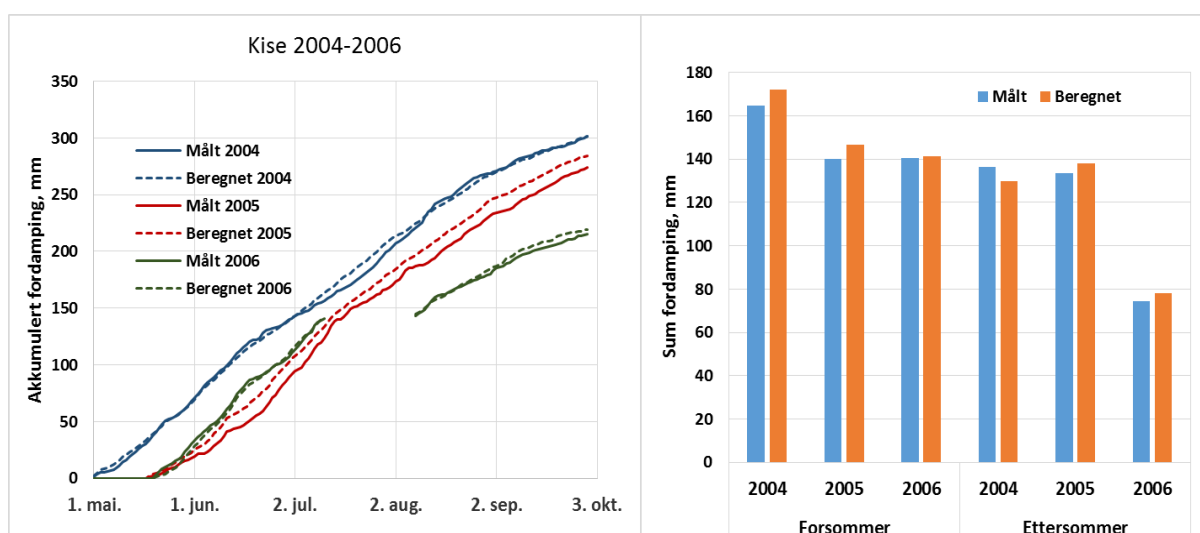
datasett fra Kise 2004-2006. I begge tilfeller er overensstemmelsen mellom målt og beregnet fordamping ganske bra over tid, men det ser ut til at likningen underestimerer noe i tilfeller med svært stor målt fordamping.



Figur 1.3. Midlere balanse mellom nedbør og fordamping i vekstsesongen (øverst), årlig variasjon i vannbalansen fra mai til september (i midten) og forholdet mellom fordamping og nedbør (nederst), basert på målte verdier ved Kise 1963-2005 (til venstre) og Landvik 1967-2011 (til høyre).



Figur 1.4. Månedlig Ep-summer beregnet med likning (1) sammenliknet med fordampning målt ved Kise værstasjon i årene 1987-2003.

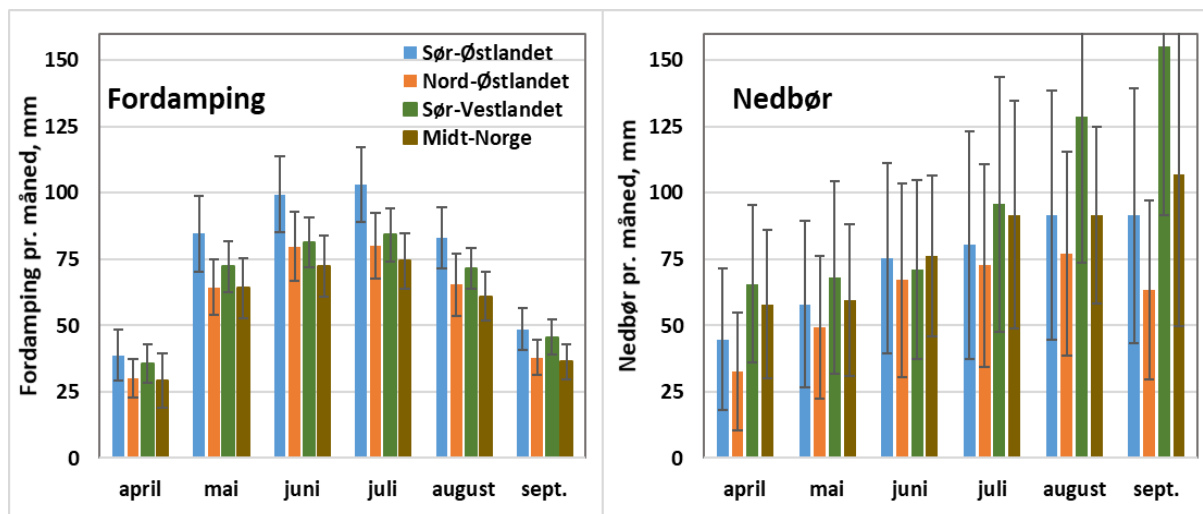


Figur 1.5. Summerte Ep-verdier beregnet med likning (1) sammenliknet med fordampning målt på Kise fra 2004 til 2006 (avbruddet i juli 2006 skyldes en feil ved måleren i denne perioden).

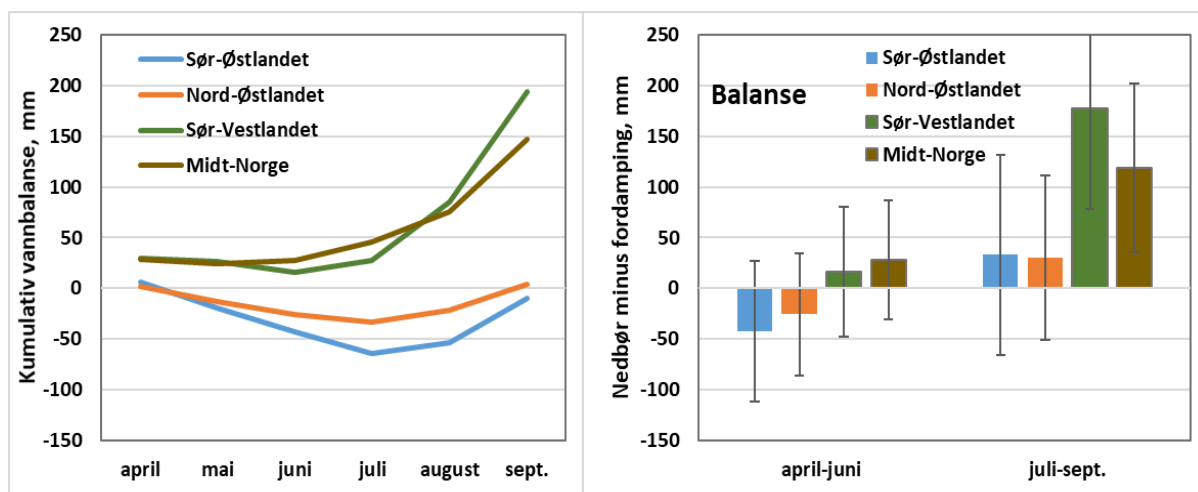
Likning (1) er brukt til å beregne fordampning med værdata fra 1973-2020 i ulike regioner (figur 1.6). Værstasjoner på hhv. Ås (Akershus), Kise (Hedemarken), Særheim (Klepp i Rogaland) og Kvithamar (Stjørdal i Trøndelag) er brukt, og nedbørmengdene på disse stedene er representative for regionene. Den beregnede fordampingen er i alle måneder størst på Sør-Østlandet og minst i Midt-Norge. Den er noe større på Sør-Vestlandet enn på Nord-Østlandet, særlig tidlig og seint i sesongen. Minst nedbør finnes på Nord-Østlandet og mest på Sør-Vestlandet. I alle regioner øker nedbøren utover sesongen og i alle regioner er årsvariasjon i nedbør større enn årsvariasjonen i fordampning.

Vannbalansen (nedbør minus fordampning) tyder på at behovet for vanning som regel er størst tidlig i vekstsesongens første halvdel (figur 1.7, venstre del). Selv om det ikke alltid er vannunderskudd i gjennomsnitt av alle år, er det store årsvariasjoner (figur 1.7, høyre del). På Østlandet er det nedbørunderskudd i ca. 70 % av alle år i sesongens første halvdel og i ca. 50 % av alle år i sesongens andre

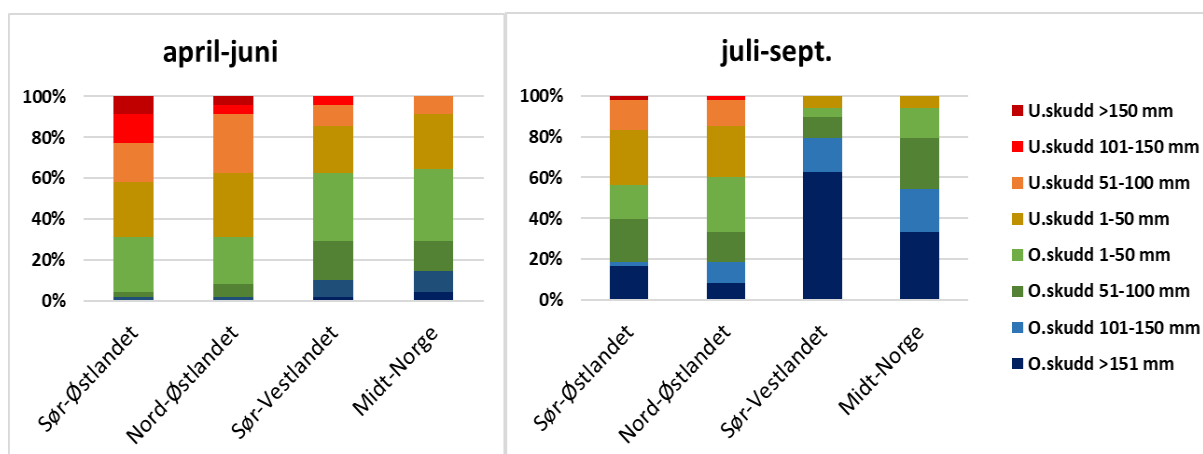
halvdel (figur 1.8). På Sør-Vestlandet og i Midt-Norge er det underskudd i ca. 35 % av årene i sesongens første halvdel, men det er oftest store overskudd i andre halvdel, spesielt på Sør-Vestlandet.



Figur 1.6. Beregnet fordamping og målt nedbør (mm) i fire regioner 1973-2020 (middel +/- std.av.).



Figur 1.7. Midlere vannbalanse (mm) i perioden 1973-2020 (kumulativ nedbør minus fordamping til venstre) og summert balanse tidlig og seint i vekstsesongen til høyre ((middel +/- std.av.).

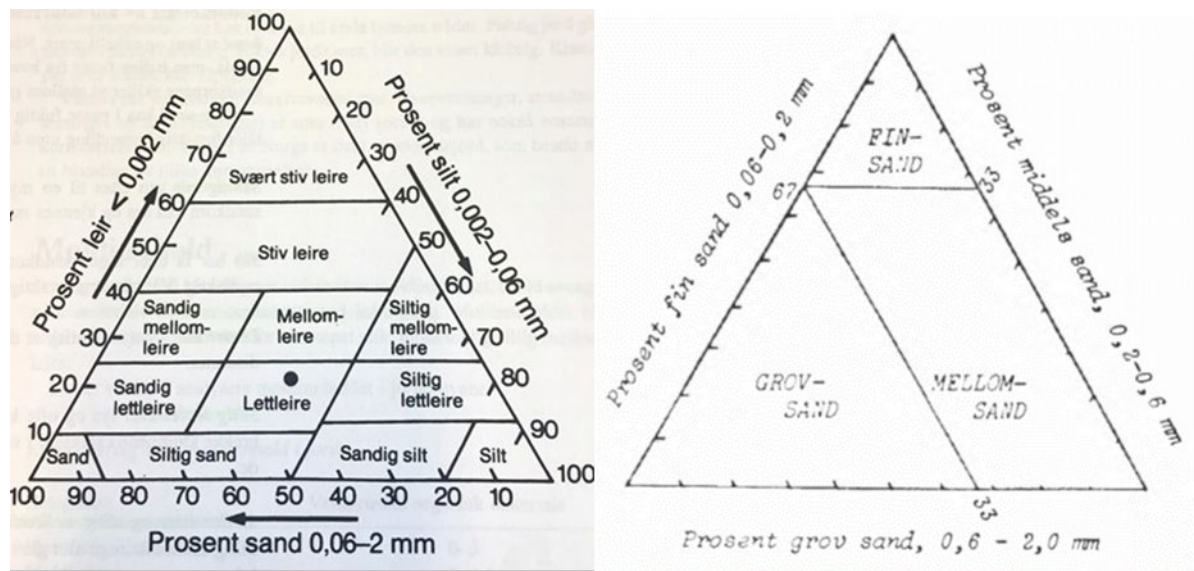


Figur 1.8. Prosentandel av år (1973-2020) med underskudd/overskudd av nedbør i ulike størrelser.

## 1.2.2 Jordfaktorerers betydning for vanningsbehovet

### 1.2.2.1 Jordartenes fysiske vannlagringssevne

Ved siden av klima, står jordas vannlagringsevne sentralt når det gjelder vanningsbehov. Jordas vannlagringsevne avhenger i stor grad av jordarten, dvs. teksturen eller kornstørrelsesfordelingen. Når det gjelder mineraljord, er det definert tolv jordartsklasser i Norge (Sveistrup og Njøs, 1984), som vist i figur 1.9. Svært stiv leire forekommer nesten ikke i Norge, og sandig leirjord er også sjelden. Videre kan sandjord deles i tre grupper avhengig av innholdet av fin-, mellom- og grovsand. I norsk åkerjord dominerer mellomleire og siltig leire i områder med marine avsetninger (Akershus, Østfold, Vestfold, Trøndelag og deler av Telemark og Buskerud), mens lettleire dominerer i områder med morenejord (Mjøsområdet, deler av Buskerud mfl.). Sandjordarter forekommer mest i Ra-områdene og øvre dalstrøk med fluviale avsetninger, mens siltjordarter finnes ofte i nedre dalstrøk og i overgangen fra fluviale til marine avsetninger. Informasjon om jordart i ulike områder kan finnes på lenken: <https://nibio.no/tema/jord/jordkartlegging/jordsmonnkart/teksturgrupper-i-plogsjiktet>.



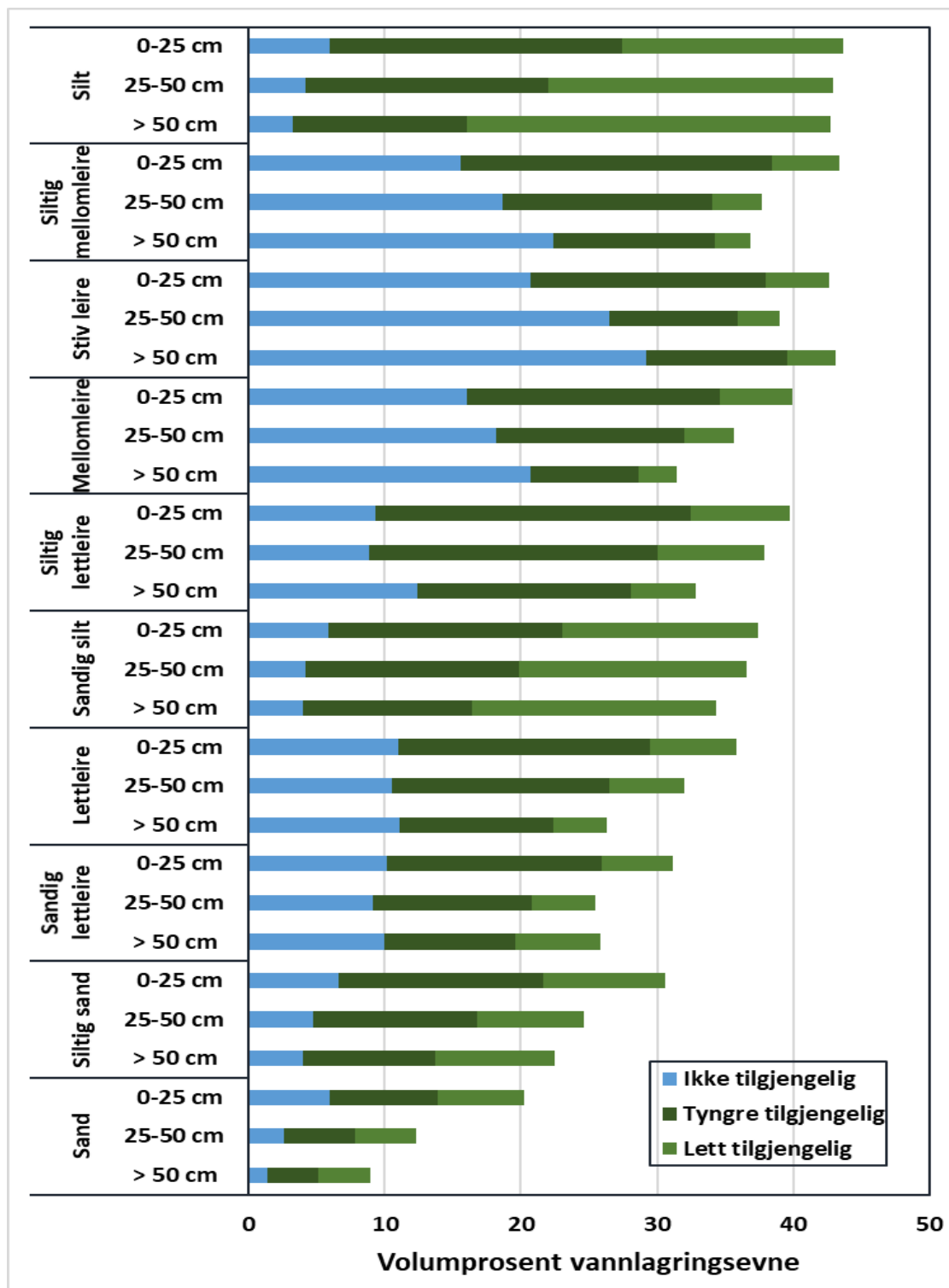
Figur 1.9. Teksturtrekanten til Sveistrup og Njøs (1984). Jordarten finnes ved å følge innhold av sand, silt og leir i retning av linjemarkørene (f.eks. 40 % silt, 40 % sand gir punktmerket • i lettleire). Trekanten til høyre viser inndeling av sandjord i undergruppene fin-, mellom- og grovsand.

I forbindelse med vanningsbehov er det jordas innhold av nyttbart vann som er avgjørende. Nyttbart vann er det som tilbakeholdes i jorda mellom feltkapasitet, som oppnås når avløpet til grøft slutter, og visnegrensen, som er vanninnholdet når planter visner og dør fullstendig. Vannet mellom feltkapasitet og visnegrensen er fysisk nyttbart for plantene, under forutsetning av at det er planterøtter til stede. Dette vannet deles vilkårlig mellom det som er lett tilgjengelig for planter (sug mellom 0,1 og 1 bar) og det som er tyngre tilgjengelig (sug fra 1 og 15 bar). Ved visnegrensen (>15 bar) er vannet ikke nyttbart.

Figur 1.10 viser midlere mengder av ikke-nyttbart vann og fysisk nyttbart vann målt i et datasett på ca. 1500 jordsjikt i norsk åkerjord i ulike jordbruksdistrikt. Tallene stammer fra materiale sammenstilt fra ulike kilder (Riley 1996, Kværnø & Haugen 2011, og Riley upublisert). Materialet inneholder målinger fra både matjord og undergrunn, hvorav 32 % er i klassen lettleire, 29 % i jord med høyt sandinnhold, 17 % i jord med høyt siltinnhold og 23 % i jord med > 25% leirinnhold.

Vi ser at jordarten silt har størst vannlagringsevne og svært mye av dette vannet er fysisk nyttbart. Også leirjordartene lagrer mye vann, men her øker mengden av ikke nyttbart vann ved stigende leirinnhold i jorda. I leirjord er en stor del av det fysisk nyttbare vannet tyngre tilgjengelig, mens i

sandjord og jordarter med høyt siltinnhold er ofte en stor del av vannet lett tilgjengelig. Vannlagrings-  
evnen avtar som regel med dybden, som følge av lavere moldinnhold, unntatt i siltjord.

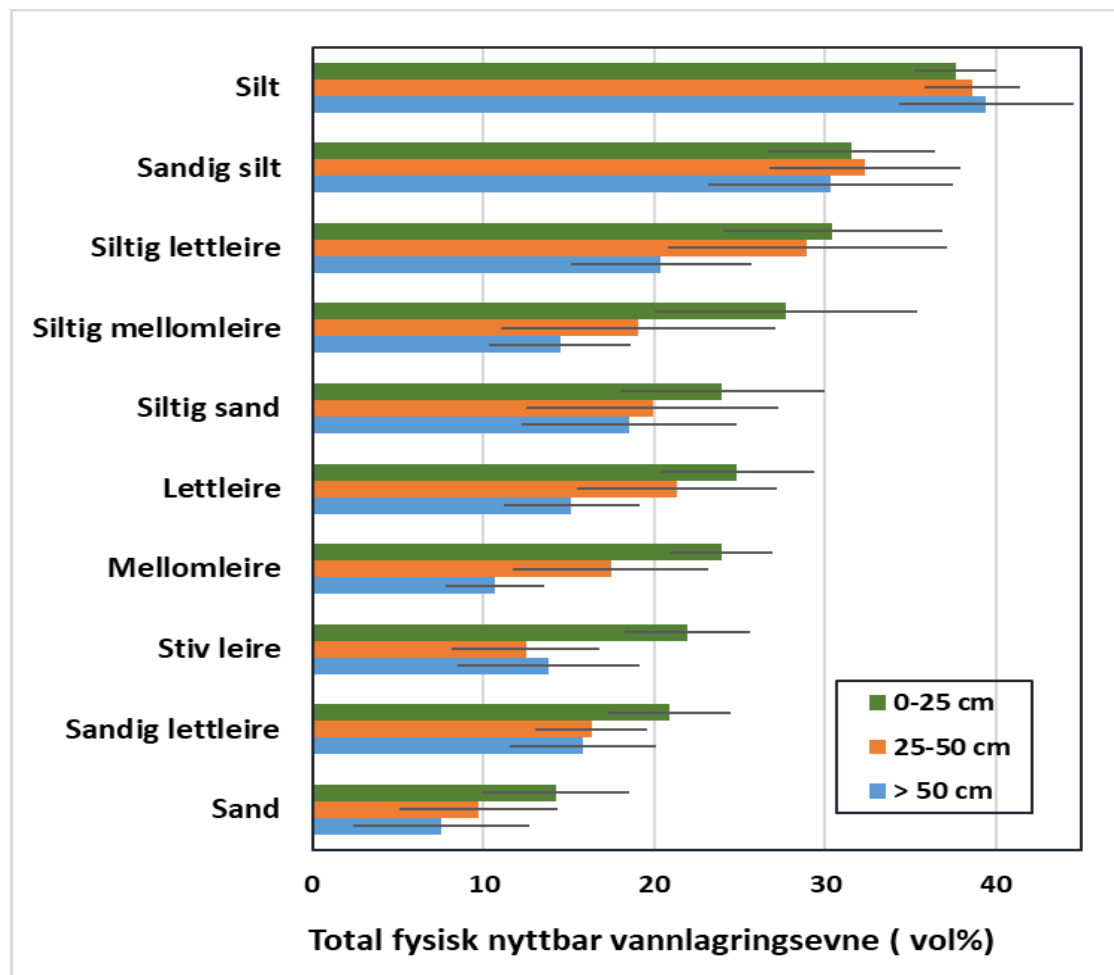


Figur 1.10. Midlere mengder av vann som lagres hos ulike jordarter, fordelt mellom lett tilgjengelig vann (0,1-1 bar), tyngre tilgjengelig vann (1-15 bar) og ikke nyttbart vann (> 15 bar), målt i norsk åkerjord i ulike jordbruksdistrikt. (Kilder: Riley 1996, Kværnø & Haugen 2011 og Riley upublisert).

I figur 1.11 er den totale lagringsevnen for fysisk nyttbart vann i ulike jordarter rangert i avtakende rekkefølge. Jordarter med høyt siltinnhold har klart mest fysisk nyttbart vann (30-40 % uansett



dybde), mens sandjord har minst (10-15 % i øvre sjikt og <10 % i nedre sjikt). Jordartene lettleire, siltig sand og mellomleire kommer i en mellomstilling (20-30 % i øverste sjikt og 15-20% i nederste sjikt). Stiv leire framstår her med relativt lite tilgjengelig vann, men det må nevnes at moldinnholdet i disse prøvene var lavt, og at antall prøver fra matjordene var lite i dette tilfellet.



Figur 1.11. Midlere verdier for total vannlagringsevne for fysisk nyttbart vann i ulike dybdesjikt av ulike jordarter. Strekene viser +/- ett standardavvik. (Datakilde: Som i figur 1.10).

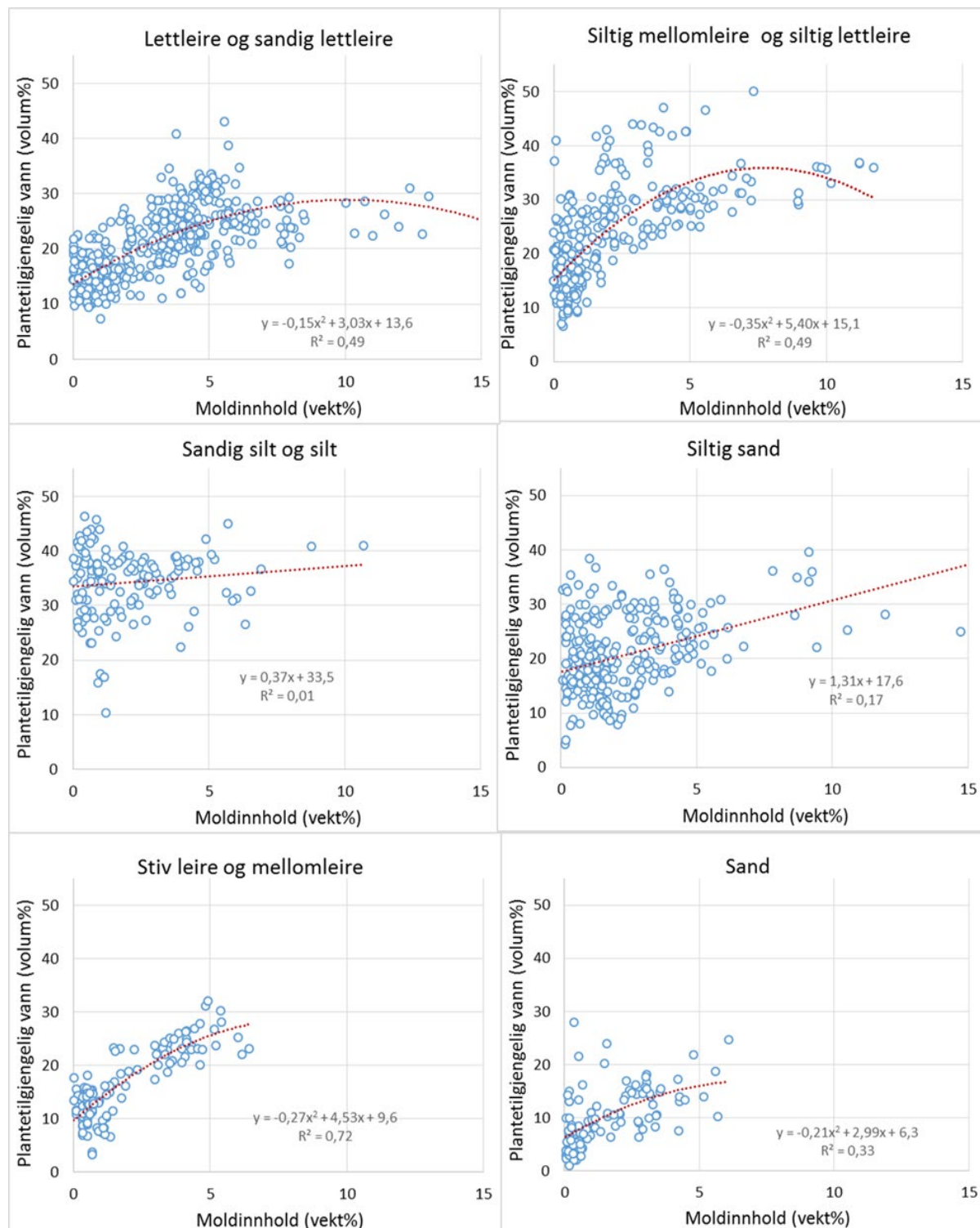
Moldinnholdet er av stor betydning for vannlagringsevnen for nyttbart vann, både fordi mold i seg selv fører til økt vannlagring og fordi mold påvirker jordstruktur i positiv retning gjennom dannelsen av aggregater med gunstige porestørrelser (såkalt 'grynstruktur'). Moldets betydning for nyttbart vannlagring er vist i figur 1.12 for ulike grupperinger av de samme jordprøvene som ovenfor.

Hos flere av jordartsgruppene er det en klar positiv sammenheng mellom moldinnhold og mengden nyttbart vann. Lagringsevnen er ofte dobbelt så høy i jord med 5-7 % moldinnhold som i jord med svært lavt moldinnhold. Dette gjelder både for ren sandjord og for alle de leirholdige jordartene. Det ser ikke ut til at en videre økning i moldinnhold til mer enn ca. 7 % har like stor virkning, men her må det påpekes til at prøveantallet var langt mindre.

Jordartene med høyt siltinnhold og lite leir (silt, sandig silt og siltig sand) skiller seg ut fra andre jordarter. De førstnevnte har ofte relativt høy vannlagringsevne for nyttbart vann, selv ved lavt moldinnhold, og lagringsevnen øker bare svakt ved stigende moldinnhold. Hos jord med høyt siltinnhold er det altså teksturen som er den viktigste faktoren som avgjør mengden nyttbart vann.

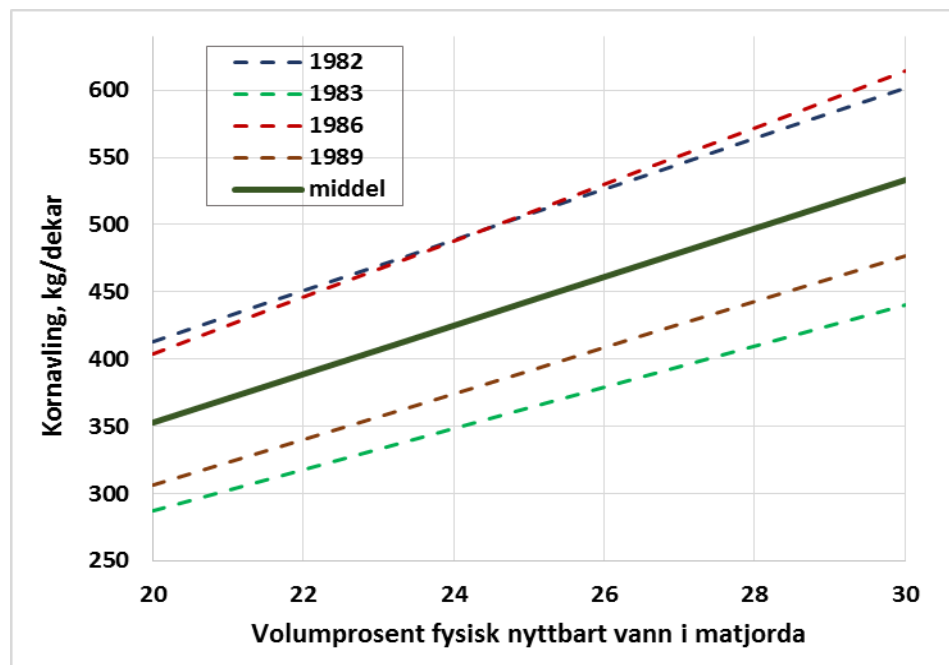
Myrjord, som er definert som jord med >20 % organisk materiale (OM) er kjent for å ha svært høy vannlagringsevne. Mengden påvirkes av både typen plantemateriale i torva og av omdanningsgraden

til det organiske materialet. En sammenstilling av jordprøver fra relativt godt omdanna myrjord, i hovedsak fra områder med morenejord (Riley 1996), viste at den totale nyttbare vannlagringsevnen steg fra ca. 35 vol % ved 20 % OM-innhold til ca. 50 vol % ved 60-70 % OM-innhold (Riley 1996). Av dette var ca. 70 % tyngre tilgjengelig og 30 % lett tilgjengelig. Mengden med ikke-nyttbart vann i myrjord var relativt konstant rundt 10-15 vol %.



Figur 1.12. Sammenheng mellom moldinnhold og total fysisk nyttbar vannlagring i ulike jordarter.

En relativt liten forskjell i jordas lagringsevne for fysisk nyttbart vann kan bety mye for avlingene under tørre forhold. Dette er illustrert i figur 1.13, som viser hvordan kornavlingene kan øke innenfor samme skifte når lagringsevnen i matjord stiger fra 20 til 30 vol %. Figuren er basert på målinger som ble gjort på store forsøksfelt i Mjøsområdet (Riley, upublisert). Hovedårsaken til variasjonen i vannlagring på feltene var at jordas moldinnhold varierte. Avlingsnivået var forskjellig i de ulike årene, men stigningen ved økende vannlagring var den samme i alle år (ca. 18 kg korn/dekar ved 1 vol %).



Figur 1.13. Effekt på kornavling av ulik mengde nyttbart vann i matjord, målt i fire tørre år på lettleire med varierende moldinnhold innenfor samme forsøksfelt.

#### 1.2.2.2 Fysiske og kjemiske hindringer til rotvekst

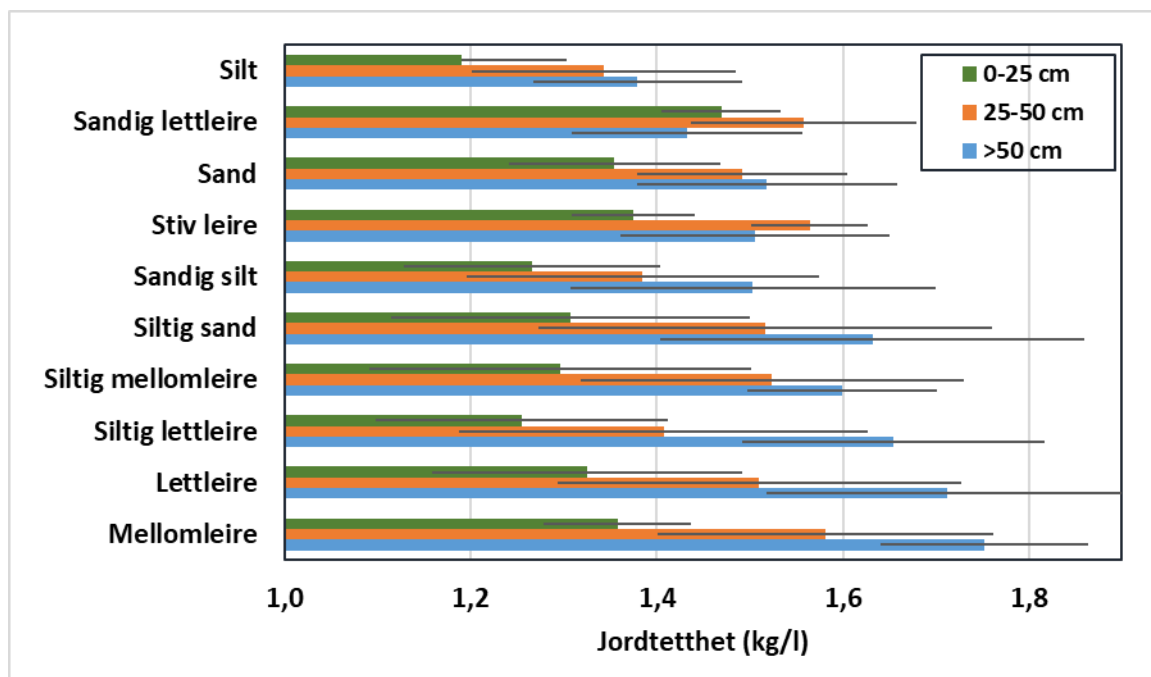
Selv om vannmengdene beskrevet ovenfor er nyttbare rent fysisk sett, er de ikke *biologisk* tilgjengelige for plantene dersom det ikke finnes røtter til stede. Dette kan være tilfellet dersom det er fysiske eller kjemiske hindringer til rotvekst i ett eller flere sjikt, eller fordi røttene til vedkommende planteart ikke har utviklet seg nok til å få tak i det fysisk nyttbare vannet. Noen eksempler på slike hindringer gis her, mens situasjonen for rotutvikling hos ulike vekster utdypes i neste avsnitt (1.2.3.1).

Grunn dybde til fast fjell er en opplagt hindring til rotvekst, mens eksempler på fysiske hindringer i jord kan være at den er for hardpakket (tett) eller at den er vassmettet i lengre perioder. Rotvekst kan også hemmes av ganske tynne sjikt med grovt materiale. Et lag med 10 cm grus eller grovsand er ofte nok til å hindre videre rotvekst, selv om det finnes rikelig med fysisk nyttbart vann i dypere sjikt. Av kjemiske hindringer til rotvekst er det trolig lav pH som har størst aktualitet i Norge (f.eks. pH < 4,5, som sees ofte i sandjord, f.eks i jordsmonngruppene *arenosol* og *podzol*).

Vassmetting av åkerjord er ganske utbredt i Norge, særlig i jordsmonngruppen *gleysol* som dannes når grunnvannspeilet står mindre enn 50 cm fra jordoverflata over en viss periode, slik at jorda får en gråblå farge (reduserende miljø), ofte med rustflekke. Jordteksturen i slik jord er svært variabel, fra grovsand til leire, med svak eller ingen jordstruktur. I Norge utgjør *gleysol* i overkant av fem prosent av den kartlagte jordbruksjorda (Sperstad og Nyborg 2008). Grøfting avhjelper situasjonen, men pga. luftmangel er dette ikke alltid nok til at rotveksten til åkervekster blir optimal.

For høy jordtetthet for rotvekst forekommer i undergrunnen av både morenejord i f.eks. Mjøsområdet, som er kompakt pga. tyngden av isbreene, og marine avsetninger (f.eks. *albeluvisol*) som i Norge er en av de mest utbredte jordsmonngruppene i leirjordsområdene (Sperstad og Nyborg 2008). I Danmark fant Andersen (1986) at rotvekst ble sterkt hemmet ved jordtettheter på over 1,8 kg/l (penetrometer-

motstand  $>3$  Mpa). Dette tilsvarer et totalt porevolum på  $<30\%$ , i motsetning til rundt  $50\%$  som er vanlig i matjordsjiktet. I det norske datasettet som er brukt ovenfor øker gjennomsnittlig jordtetthet fra ca.  $1,3$  kg/l i sjiktet ned til  $25$  cm og til  $1,6$  kg/l i sjikt dypere enn  $50$  cm. Jordtettheten varierer mellom jordarter, spesielt i dypere sjikt (figur 1.14), med lavest tetthet i silt og sand, og høyest tetthet i lettleire og mellomleire. Hos sistnevnte jordarter er tettheten i undergrunnen ofte på grensen til, eller høyere enn det som tillater rotvekst.



Figur 1.14. Midlere verdier for jordtettheten hos ulike jordarter i ulike dybdesjikt. Strekene viser +/- ett standardavvik. (Datakilde: Som i figur 1.10).

## 1.2.3 Vekstfaktorens betydning for vanningsbehovet

### 1.2.3.1 Rotdybdens betydning for jordartenes 'biologisk' tilgjengelig vannlagring

Vekstenes evne til å utnytte vannmengden som er fysisk nyttbar i jorda avhenger av deres maksimale rottybde, rottettheten og rotutviklingshastighet. Disse egenskapene varierer betydelig mellom ulike vekster. For danske forhold antok Aslyng og Hansen (1982) følgende rottybder som de maksimale:

25-30 cm	Salat, løk, spinat
50-60 cm	Jordbær, erter, kål, tidligpotet, beita eng
75-100 cm	Gulrot, sein potet, vårkorn, eng til høy og frø
100-150 cm	Høstkorn, oljevekster, rødkløver, lupin, mais

Nyere undersøkelser i Danmark har vist at rotsystemet kan gå betydelig dypere enn  $100$  cm hos flere jordbruksvekster, så lenge det ikke finnes fysiske hindringer. Hos gulrot og høstkål var det snakk om dybder på hhv.  $1,3$  og  $2,5$  m, i motsetning til  $0,6$  m hos raigras (Kristensen & Thorup Kristensen 2004).

I Sverige sammenliknet Wiklert (1960) rotutviklingen hos flere kornarter på stiv leirjord og sandjord. På godt strukturert stiv leire med sprekkdannelse, økte rottybden hos høstvetete fra  $60-70$  cm sent i mai til ca.  $150$  cm tidlig i august, mens mesteparten av røttene hos vårhavre ble funnet i dybden ned til  $80$  cm. På sandjord, derimot, nådde røttene til både høst- og vårkorn knapt dypere enn  $30$  cm. Det sistnevnte ble bekreftet i en dansk undersøkelse på jord med mye grovsand (Andersen 1985).

Rottettheten er betydelig større i matjorda enn i dypere sjikt. På bakgrunn av mange undersøkelser av jordbruksvekster i tempererte klimatrøk, kom Fan mfl. (2016) til at dybden som inneholder  $50\%$  av

alle røttene varierte fra 8 til 20 cm hos ulike vekster. Mange vekster hadde ca. 70 % av røttene i de øverste 30 cm. I en norsk studie av rotutvikling hos korn i nedgravde rør fylt med løs jord (uten fysiske hindringer), fant Heen (1980) ca. 50 % av rotmassen i sjiktet 0-20 cm, ca. 30 % fra 20-40 cm, 15 % fra 40-60 cm og bare 5 % i dypere sjikt.

I Danmark klassifiserte Madsen (1979) rotmengden i fire grupper med ulik rottetthet (dvs. rotlengde delt med jordvolum). Videre ble det etablert en relasjon mellom rottetthet og vannpotensialet (suget) som finnes i jorda når plantene visner (Madsen og Platou 1983). Dette er oppsummert i tabell 1.6. I forbindelse med jordkartlegging i Norge, uttrykkes rotmengden som antall røtter på en bruddflate med areal 100 cm<sup>2</sup>. En antar at 1 rot pr. cm<sup>2</sup> bruddflate motsvarer en rottetthet på ca. 1 cm/ml.

Tabell 1.6. Klassifisering av rotmengde og visnegrense ved ulik rottetthet

Klasse	Rottetthet (cm/ml)	Suget i jorda ved visning (bar)
Mange røtter	≥1	15
Få røtter	1-0,1	1-15
Svært få røtter	0,1 -0,01	0,1-1
Ingen røtter	<0,01	-

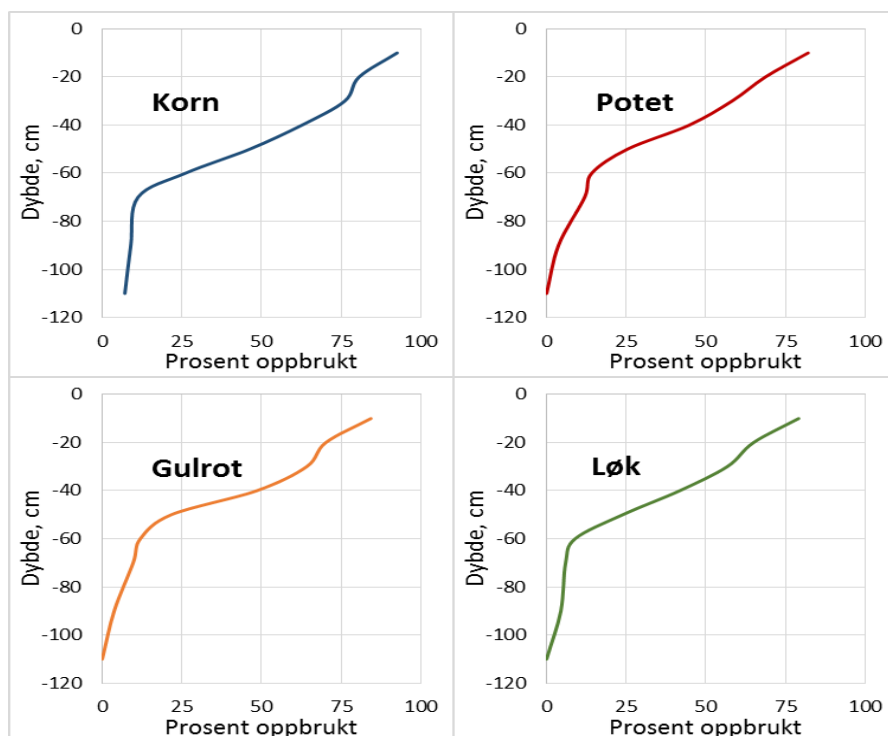
Tabellen ovenfor antyder at det er nødvendig med en rottetthet på minst 1 cm/ml for at plantene kan utnytte hele den fysiske tilgjengelige vannmengden, mens de ved lavere rottetthet bruker en mindre andel. Dette ble bekreftet i en undersøkelse (Andersen 1986) hvor sammenhengen mellom rottetthet og vannforbruk hos bygg og gras ble undersøkt på flere danske lokaliteter med ulik jordtekstur. Forbruket i et bestemt dybdesjikt ble uttrykt som prosentandelen av vannet som var fysisk tilgjengelig. Det ble funnet en logaritmisk sammenheng mellom vannforbruk (y) og rottetthet (x),  $y=43 \cdot x^{0.3}$ . Denne likningen viser at 86 % av det nyttbare vannet ble utnyttet ved en rottetthet på 10 cm/ml, men at andelen som ble utnyttet sank til 43 % ved 1 cm/ml, til 22 % ved 0,1 cm/ml og til 11 % ved 0,01 cm/ml.

Jordarten spiller inn når det gjelder utbredelsen av rotsystem med ulik rottetthet, særlig mengden av finmateriale i jorda. Madsen (1985) undersøkte sammenhengen mellom byggplanters rottetthet og jordas innhold av silt og leir. Det øvre jordsjiktet (0-40 cm) hadde stor rottetthet (>1 cm/ml) på alle typer jord, men den nedre dybden av sjiktet som inneholdt færre røtter viste en positiv sammenheng med summen av silt og leir. Sjiktdybden med en rottetthet på 0,1 cm/ml økte fra rundt 50 cm på sandjord (>80 % sand) til >100 cm ved >80 % silt+leir.

Det finnes få tilsvarende norske studier av jordbruksplanters vannopptak under naturlige forhold. Riley (1989a) målte vannopptaket fra ulike dybdesjikt ned til 1 meter på en veldrenert moreneleire. Målingene ble gjort i den aktive veksttiden til vårkorn, potet, gulrot og kepaløk, ved å måle endringene i vanninnhold over ganske lang tid i perioder med lite nedbør. Etter disse periodene ble vannforbruket uttrykt som prosent av det fysiske nyttbare vannlageret som ble uttømt fra ulike sjikt (figur 1.15).

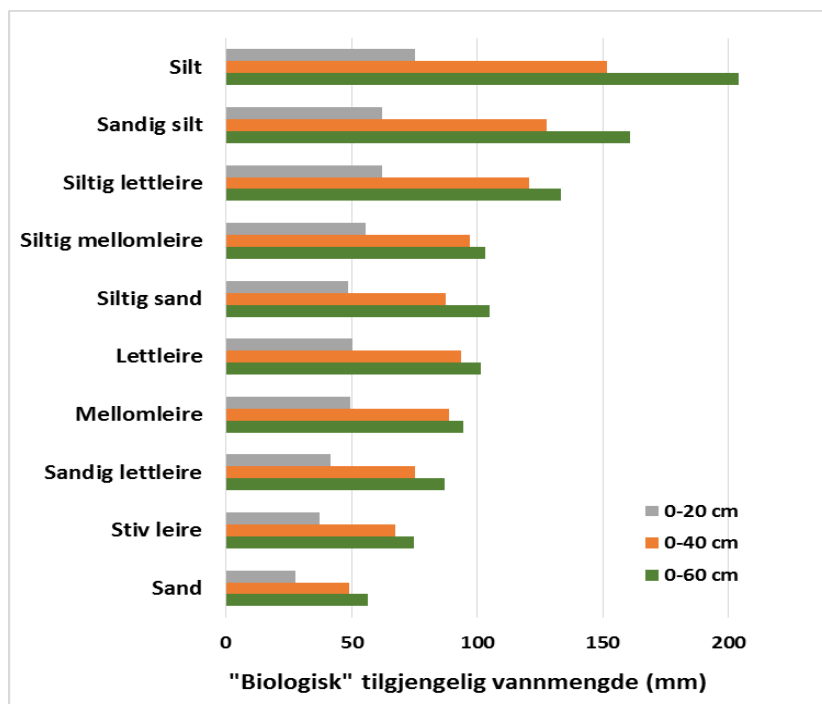
Målingene viste at ca. 70-90 % av det nyttbare vannet var blitt oppbrukt i sjiktet 0-20 cm. Fra sjiktet 20-40 cm var forbruket 70 % hos korn og noe mindre hos de andre vekstene. I 40-60 cm dybde hadde korn brukt ca. 45 %, mens de andre vekstene hadde brukt ca. 25 %. Fra dypere sjikt var mye mindre av det fysiske nyttbare vannet oppbrukt, i snitt 9 % hos korn, 5 % hos potet og gulrot og 3 % i løk.

På bakgrunn av disse målingene kan det anslås at vanlige jordbruksvekster kan benytte hele det fysiske nyttbare vannmengden ned til ca. 40 cm dybde, mens det fra sjiktet 40-60 cm er bare andelen som er fysisk lett-tilgjengelig som utnyttes. Som en tommelfingerregel kan derfor disse vannmengdene sies å representere den 'biologisk tilgjengelige' vannlagringsevnen under norske forhold. Dybdegrensen vil nok variere med både vekst og jordart, som antydnet i undersøkelsene som er sitert ovenfor. Det kan for eksempel være en grunnere grense enn 60 cm på skarp sandjord, dårlig drenert leirjord eller siltjord, og en dypere grense på veldrenert leirjord med god jordstruktur.



Figur 1.15. Prosentandelen av det fysiske nyttbare vannet som ble oppbrukt av ulike vekster fra ulike dybdesjikt av en moreneletteleire (etter Riley 1989a).

Lagringskapasitet for 'biologisk' tilgjengelig vann, summert til hhv. 20, 40 og 60 cm, er vist i figur 1.16. På samme måte som i forrige avsnitt, vil verdiene variere med ulikt moldinnhold. Kapasiteten i det øverste 20 cm sjiktet varierer fra ca. 25 til 75 mm på ulike jordarter, og den er omtrent dobbelt så stor når man tar med dybden til 40 cm. Når man også tar med det lett-tilgjengelige vannet i sjiktet til 60 cm, øker kapasitetene relativt lite på de fleste jordartene, med unntak av de med mye silt.



Figur 1.16. 'Biologisk' tilgjengelig vannlagringsevne hos ulike jordarter (Datakilde: Som i figur 1.10).



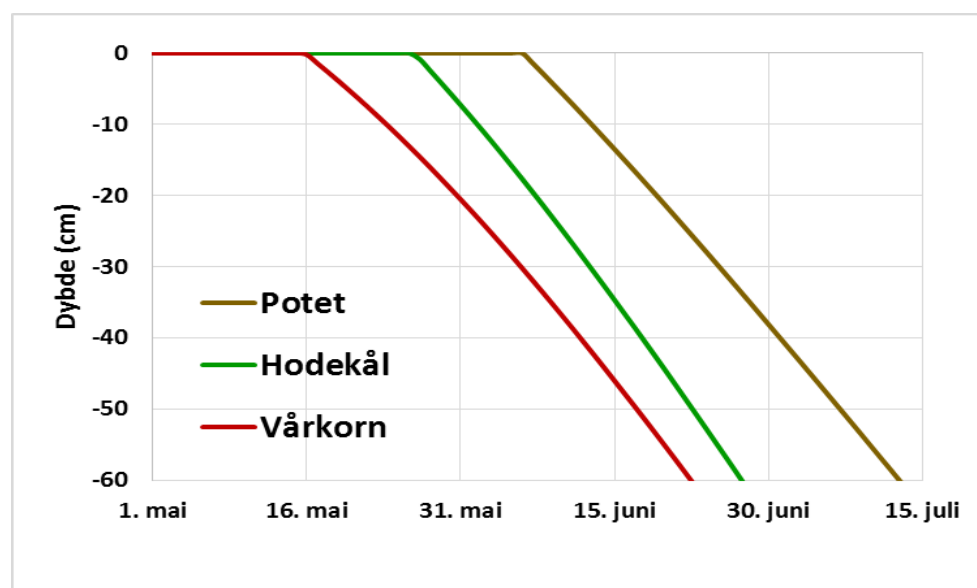
I denne rapporten blir det benyttet en gruppering i fem klasser av ulike jordarters følsomhet for tørke, med en biologisk tilgjengelig vannlagringsevne i rotsonen som varierer fra 50 til 130 mm (tabell 1.7). Spredningen i vannlagringskapasiteten er noe mindre her enn det som er brukt i vanningsplanlegging i Danmark, hvor rotsonekapasitet varierer fra ca. 60 til ca. 160 mm (Madsen og Platou 1983). Dette kan begrunnes med bl.a. kortere veksttid og generelt tettere jord under norske forhold enn i Danmark. Mellom hver av klassene endres vannlagringskapasitet med 20 mm, noe som tilsvarer den forventete potensielle fordampingen pr. uke under normale værforhold midt på sommeren (jfr. tabell 1.5).

Tabell 1.7. Tørkefølsomhetsklasser hos ulike jordarter, uttrykt som 'biologisk' tilgjengelig vann

Tørkeklasse	mm	Noen eksempler på typiske jordarter i hver klasse
Meget tørkesvak	50	Grov- og mellomsand, grunn og moldfattig siltig sand
Tørkesvak	70	Sandig silt, moldfattig (planert) leirjord, grunn lettleire og dårlig drenert leirjord
Middels	90	Lettleire og mellomleire med middels matjorddybde
Tørkesterk	110	Veldrenert lett- og mellomleire med djup og moldrik matjord
Meget tørkesterk	130	Djup siltjord, myrjord, moldrik siltig leire, samt moldrik og veldrenert stiv leire

Tidlig i vekstsesongen vil veksternes rotutvikling være for liten til at hele mengden med tilgjengelig vann i jordprofilen kan utnyttes. Derfor bør det også tas hensyn til den vertikale rotveksthastigheten nedover i jorda. I et dansk modelleringsarbeid (Holst og Madsen 1988) er det tatt utgangspunkt i at røttene til korn og gras finnes bare i sjiktet 0-20 cm inntil bladarealindeks = 1 (noe som tar 1-2 uker). Deretter antas rottybden å øke med 1,8 cm/døgn (12,5 cm/uke) ned til deres maksimale dybde.

I Norge ble røttenes utviklingshastighet undersøkt hos flere åkervekster over to år av Riley (1989a). Vekstene ble etablert i mai og rotvekst ble undersøkt ved bruk av isotopmerket fosfor plassert i ulik dybde ned til 45 cm. Det ble notert hvor lang tid det tok før røttene nådde ned til disse dybdene. Hos bygg, hodekål og potet var det nær sammenheng mellom rottybden og temperatursummen (døgngrader,  $\sum DG$ ) fra midten av mai. Relativt til bygg, tok det lenger tid hos hodekål og potet før røttene begynte å vokse nedover. Etter denne forsinkelsen gikk røttene ned med omtrent samme tilveksthastighet. Dette er illustrert i figur 1.17, ved hjelp av beregninger basert på måleverdiene.



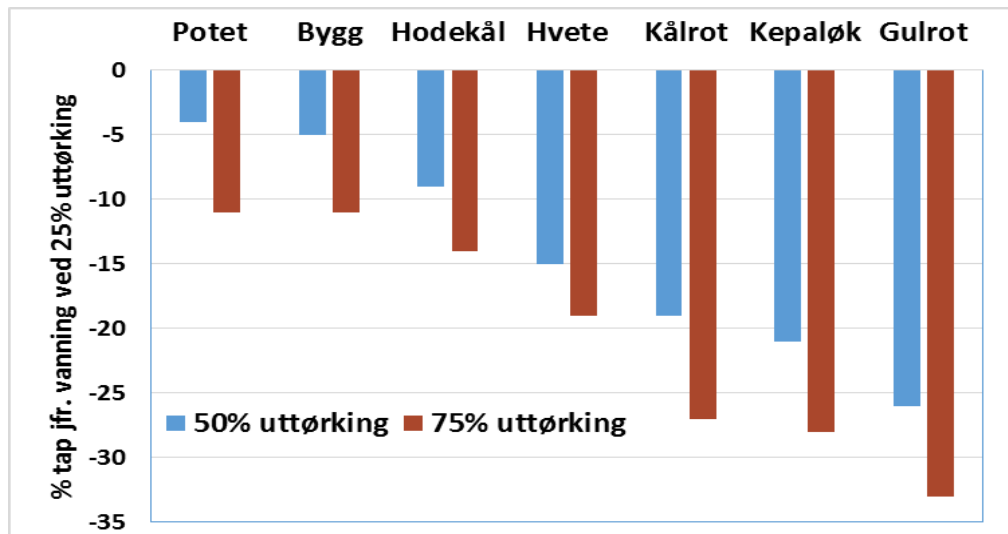
Figur 1.17. Rotdybdeutvikling hos korn, hodekål og potet som er sådd, plantet eller satt 1. mai, ved normaltemperatur på Kise (Korn  $cm=0,13*\sum DG-14$ ; Hodekål  $cm=0,14*\sum DG-30$ ; Potet  $cm=0,11*\sum DG-38$ ).

Ved såing 1. mai viser figuren at kornrøttene kan forventes å nå 20 cm i slutten av mai, 40 cm et par uker seinere og 60 cm rundt St.Hans. Tilsvarende datoer for hodekål og potet plantet/satt 1. mai er hhv. omtrent én eller tre uker senere enn for korn. I den aktive rotvekstfasen øker rottybden like raskt hos alle tre vekstene, med 1,6-1,8 cm/døgn. Dette er nokså lik verdien sitert ovenfor fra Danmark.

Et alminnelig spørsmål i forbindelse med vanning er hvor stor andel av vannlageret i jorda kan brukes opp før det er behov for vanning. Dette har stor betydning for nødvendig kapasitet på vanningsanlegg så vel som arbeidsbehov og økonomi. Andelen som passer varierer med både vekstslag og de rådende værforhold. Som en tommelfingerregel kan man si at det er lite behov for vanning når mindre enn 25 % av vannet i rotsonen er oppbrukt, mens behovet for vanning begynner å bli stort når ca. halvparten av lageret er oppbrukt, og at det er meget stort behov når 75 % er oppbrukt.

Vanning ved 25 % uttørking vil under normale værforhold midt på sommeren, uten nedbør, innebærer at det vannes ca. fjerdedel hver dag på den mest tørkesvake jorda, og ca. tiendedel hver dag på den mest tørkesterke. Vanning ved 50 % uttørking vil doble vanningsintervallet, noe som reduserer kostnader, samtidig som det øker muligheten for å dra nytte av evt. nedbør som kommer i mellomtiden. Det vil også redusere evt. uønsket N-nedvasking i jordprofilet.

Spørsmålet for dyrkeren er hvorvidt et økt vanningsintervall (større uttømmingsgrad) reduserer avlingene. Dette er belyst i Norge for en rekke vekster i feltforsøk der vanning ved hhv. 50 % og 75 % uttømming av vannlageret ble sammenliknet med vanning ved 25 % uttømming (Riley 1989a, 1994). Forsøkene ble utført på en middels tørkesterk lettleire med 95 mm biologisk tilgjengelig vann til 60 cm dybde. Forsøkene ble skjermet fra nedbør for å oppnå den tilsiktede uttørkinga mellom vanningene. Figur 1.18 viser den prosentvise avlingsreduksjonen hos de ulike vekstene ved økt vanningsintervall.



Figur 1.18. Avlingstap etter vanning ved større uttørkingsgrad enn 25 % av jordas lagringskapasitet for biologisk tilgjengelig vann i rotsonen (etter Riley 1994).

Utsettelse av vanning til 50 % eller 75 % uttørking gav ulik avlingsreduksjon hos de ulike vekstene. De minste tapene ble funnet hos bygg og potet (en sein sort ble brukt), mens tapene var litt større hos hvete og hodekål og betydelig større hos kålrot, kepaløk og gulrot. Hos løk er det sannsynlig at det er dens grunne rotutvikling som er årsak til det store tapet. Hos gulrot og kålrot kan det være at disse utvikler seg saktere enn f.eks hodekål, slik at røttene ikke når dypt ned i jorda før seint i sesongen. At bygg tåler noe et større vanningsintervall enn hvete kan bero på at bygg har større mulighet for å kompensere ved etterrenning. At potet ikke viste større avlingstap var overraskende, og her bør også mulig kvalitetsforringelse tas i betraktning i tillegg til avlingsstørrelse.

En god vanningsstrategi vil være å ta hensyn til at det er grunnere rotutvikling tidlig i sesongen enn senere. For vårkorn på en middels tørkesterk jordart, f.eks. lettleire, vil dette innebære at behov for vanning oppstår i andre halvdel av mai når ca. 20-25 mm er brukt, mens en i andre halvdel av juni trolig kan utsette vanning til ca. 40-45 mm er brukt. For vekster med senere rotutvikling, kan det være behov for å bruke et hyppigere vanningsintervall lenger utover i sesongen, avhengig av når i vekststutviklingen de er mest følsomme for tørke. Sistnevnte aspekt drøftes i kapittel 2 i rapporten.

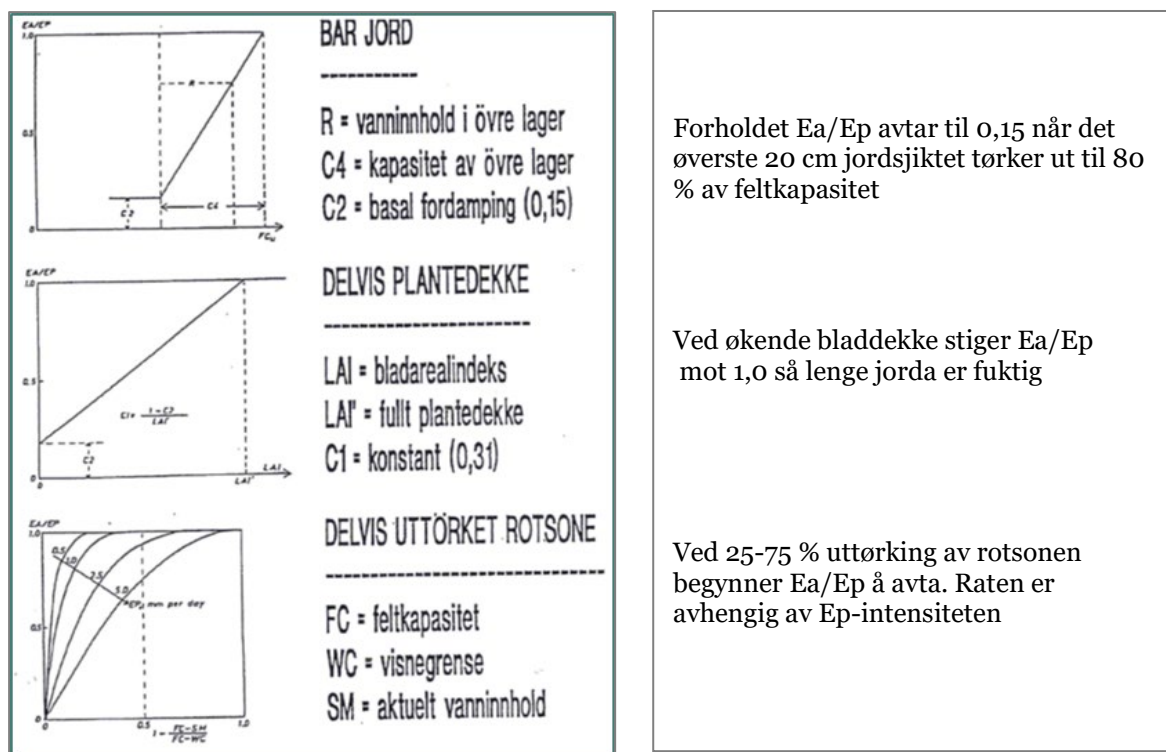
### 1.2.3.2 Aktuell fordamping sett i forhold til planteutvikling og vanninnholdet i jorda

Aktuell fordamping ( $E_a$ ) er det faktiske vannforbruket som skjer i praksis, og den er pr. definisjon lik eller mindre enn den potensielle fordampingen ( $E_p$ ). Faktorer som begrenser  $E_a$ , sett i forhold til  $E_p$ , er hvor mye av jordoverflaten som er dekket med grønt plantemateriale og hvor stor andel av jordas vannreserver er oppbrukt tidligere.

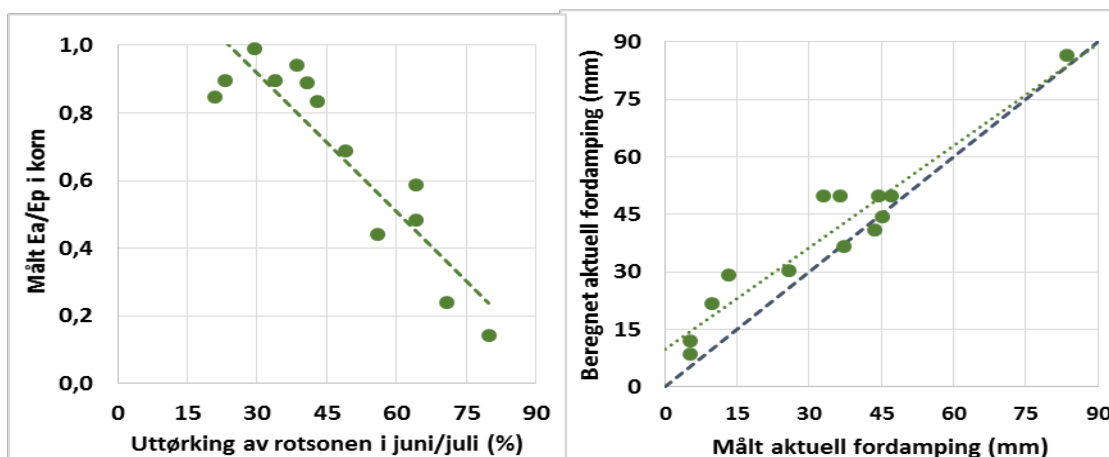
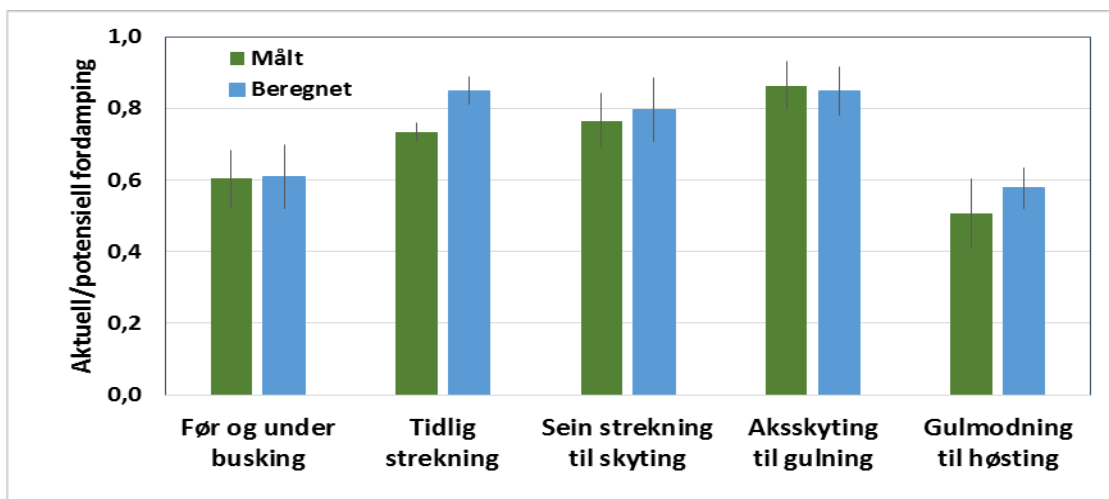
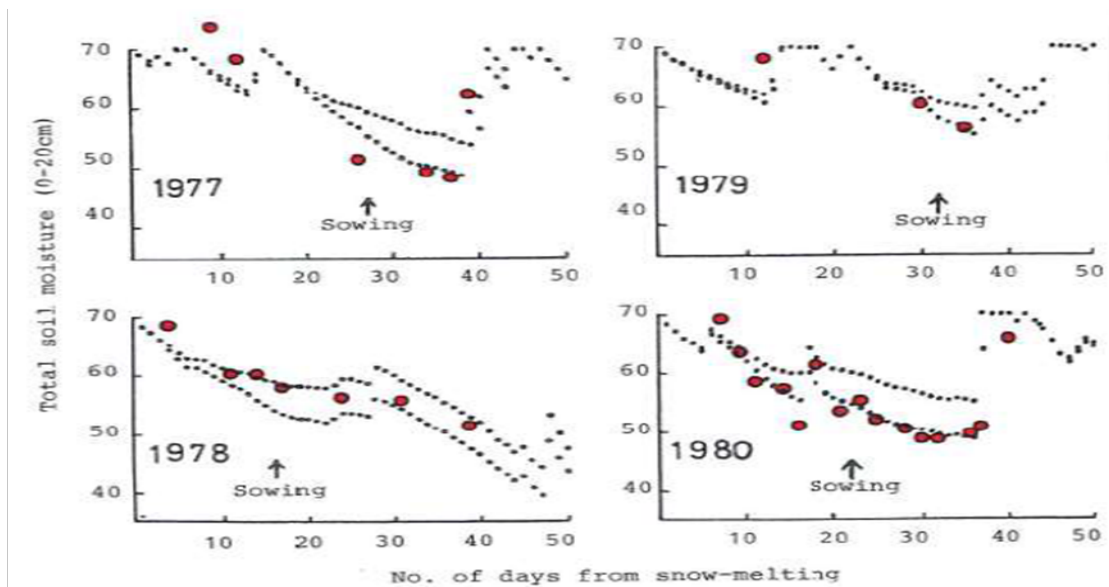
Så lenge overflaten er oppfuktet kan det fordampes mye vann fra bar jord, men fordampingen avtar raskt så snart overflaten tørker ut. Beregninger av vannforbruket i vårperioden har vist at  $E_a$  fra bar jord vanligvis er 55-60 % av  $E_p$  på Østlandet, mens det ligger noe over 70 % i Midt-Norge (Riley 2016). Forskjellen skyldes mer nedbør og lavere  $E_p$  i Midt-Norge, som resulterer i fuktigere jord der.

Den aktuelle fordampingen fra plantebestand er begrenset ved lav dekkingsgrad med grønne blad, og  $E_a$  kommer først på nivå med  $E_p$  ved en bladarealindeks på nærmere tre (dvs. når det er tre ganger så mye bladareal som overflatearealet). Det tar ca. 2-6 uker før et slikt bladareal er nådd, avhengig av planteart og vekstforholdene. Ved fullt bladdekke er  $E_a$  lik  $E_p$  så lenge vannlageret i rotsonen er fullt, men forholdet mellom  $E_a$  og  $E_p$  avtar ettersom jorda tømmes for vann, fordi det blir gradvis tyngre for planterøttene å 'få tak i' vannet. Denne nedgangen begynner ofte ved 25-50 % uttørking av rotsonen, avhengig av  $E_p$ -nivået. Ved høye  $E_p$ -verdier klarer plantene å oppfylle mindre av fordampingskravet enn ved lave  $E_p$ -verdier.

Det er mange måter å estimere  $E_a$ , med ulik grad av kompleksitet og ulike krav til parametervalg. Modellen til Kristensen og Jensen (1975) brukes i denne rapporten. Den har en relativt enkel tilnærming, samtidig som den tar hensyn til faktorene som er nevnt ovenfor (figur 1.19).



Figur 1.19. Beregning av aktuell fordamping ( $E_a$ ) med en dansk modell (Kristensen og Jensen 1975). Modellen tar hensyn til situasjoner med bar jord, med delvis plantedekke og delvis uttørket rotsone.



Figur 1.20. Noen eksempler på at beregningsmodellen vist i figur 1.19 passer under norske forhold:

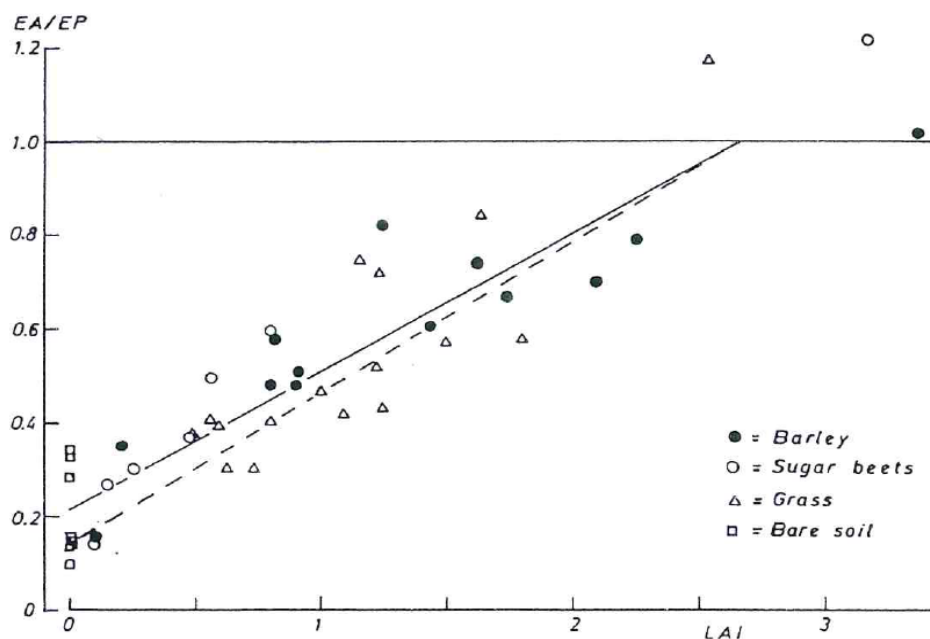
Øverst: Vanninnholdet om våren i de øverste 20 cm av bar jord 1976-1979: Røde punkt viser målte verdier, stiplete linjer viser verdier beregnet med +/- 30 % av målt feltkapasitet (Riley 1989a).

I midten: Gjennomsnittlige forhold mellom aktuell og potensiell fordampning i ulike vekstfaser av havre dyrket på tørkesvak jord i 1981-83 med skjerming fra nedbør til ulik tid (Riley upublisert).

Nederst: Venstre figur viser målte Ea/Ep-forhold ved målt uttørking av rotsonen i korn 1986-87, mens høyre figur viser beregnet mot målt aktuell fordampning i de samme periodene (Riley 1989a).

Som figur 1.20 viser, har denne modellen gitt rimelig god overensstemmelse med målte verdier under norske forhold. Målingene er gjort på tørkesvak og middels tørkesterk lettleire i forsøksfelt ved Kise. De viser at modellen passer om våren når jorda er bar, i ulike vekstfaser utover i sesongen, og dessuten ved ulik uttørking av vannlageret i rotsonen.

I tillegg til opplysninger om jordas vannlagringsevne, krever modellen daglig input av  $E_p$ , nedbør og passende verdier for bladarealindeks (LAI). Sistnevnte trengs opp til nivået som gir  $E_a = E_p$ , dvs. LAI når et nivå på 2,75. Denne verdien ble funnet å passe for både korn, radvekster og eng i Danmark (figur 1.21), og et tilsvarende nivå ble rapportert for bomull og durra i Texas (Ritchie & Burnett, 1971).



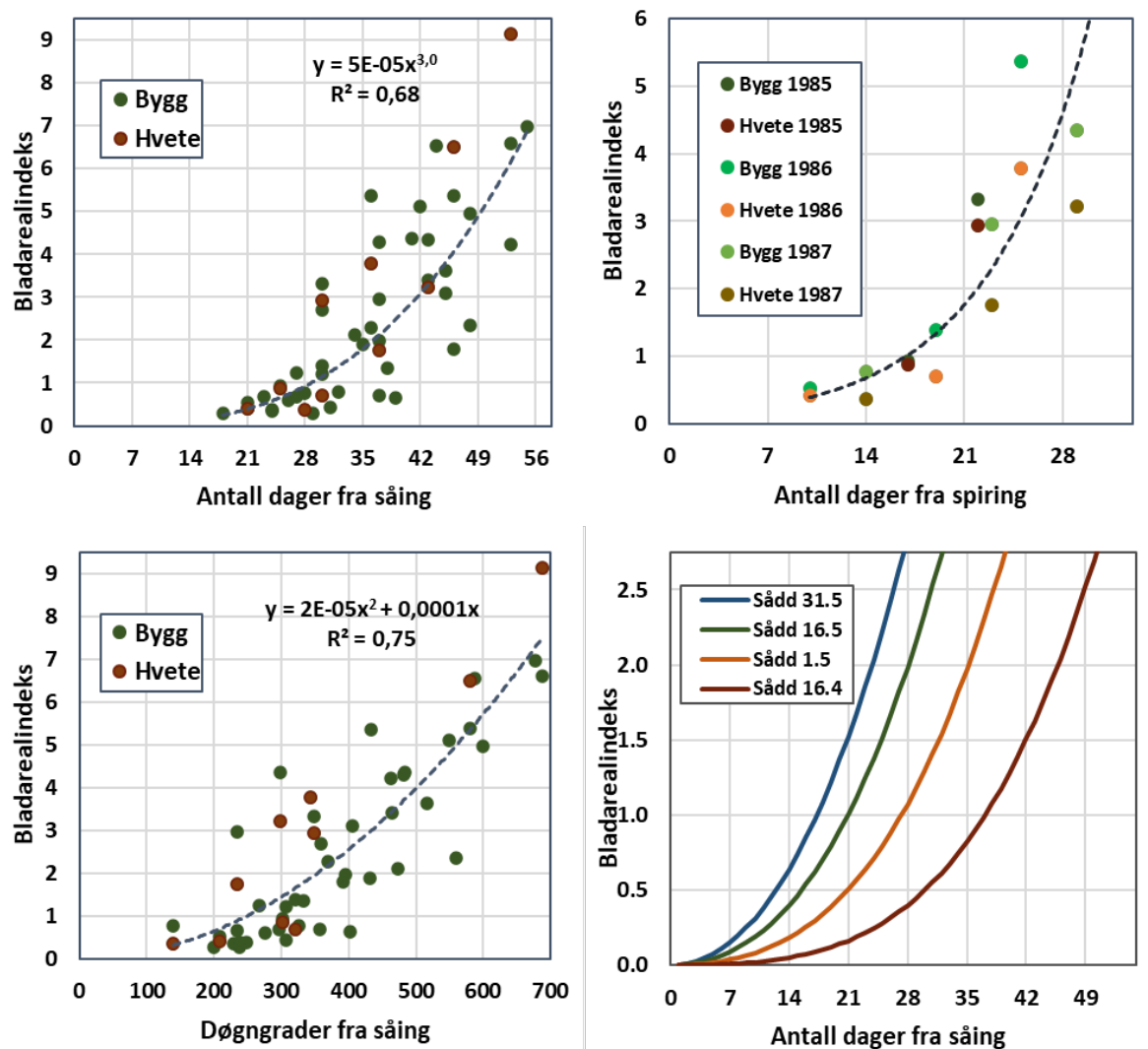
Figur 1.21. Sammenheng mellom  $E_a/E_p$  forholdet og bladarealindeks (LAI) hos ulike vekster når vasstilgangen ikke er begrensende (etter Kristensen og Jensen 1975). Stiplet linje brukt i modellen.

### 1.2.3.3 Bladarealindeks og utviklingsstadier hos ulike vekster under norske forhold

På Kise ble bladarealindeks målt på 1980-tallet hos en rekke jord- og hagebruksvekster i ulike forsøk (Riley 1989a og upubliserte data). Målingene fra flere år pr. vekst er stilt sammen i de følgende avsnitt.

Hos korn tar det gjerne 5-6 uker fra såing eller 3-4 uker fra spiring før plantene utvikler et LAI-nivå på 2,75 (figur 1.22, øvre del). Dersom man kjenner til spiredatoen, får man ofte et bedre estimat av LAI, men til praktiske formål er det enklere å bruke sådatoen, da bønder ikke alltid registrerer spiredatoen. Utviklingshastigheten er styrt i stor grad av temperaturen. I figur 1.22 (nedre del, til venstre) er kornets bladareal plottet mot temperatursummen fra såing fram til måledatoen, basert på målinger etter ulike såtidene fra 28. april til 26. mai. Det trengs litt over 400 døgngader fra såing til kornplantene når et LAI-nivå på 2,75. Likningen i denne figuren er brukt for å beregne forventet LAI-utvikling etter ulike såtidene, ved normale temperaturer målt ved værstasjon på Kise (figur 1.22, nedre del, til høyre).

Dette illustrerer at det ved tidlig såing som regel tar lenger tid å oppnå et LAI-nivå på 2,75 enn ved sein såing. Mye av forskjellen skyldes ulik tid fra såing til spiring. Ved den tidligste såing, midt i april, kan det ta nesten tre uker før spiring, mens spiretiden er knapt ei uke ved sein såing. Ifølge figuren går det ved normaltemperatur 7 uker fra svært tidlig såing til kornplantene oppnår et LAI-nivå på 2,75. Ved svært sein såing går bare 4 uker. Dette tilsvarer hhv. 4 og 3 uker fra spiring. Dersom temperaturen ligger to grader over normalen, tyder beregninger med likningen på at tiden til LAI=2,75 vil kortes ned med 4 til 7 dager, mens den vil forlenges med 6 til 9 dager ved temperatur to grader under normalen.



Figur 1.22. Øvre del: Kornplanters bladarealindeks målt fra hhv. såing og spiring (3 år);

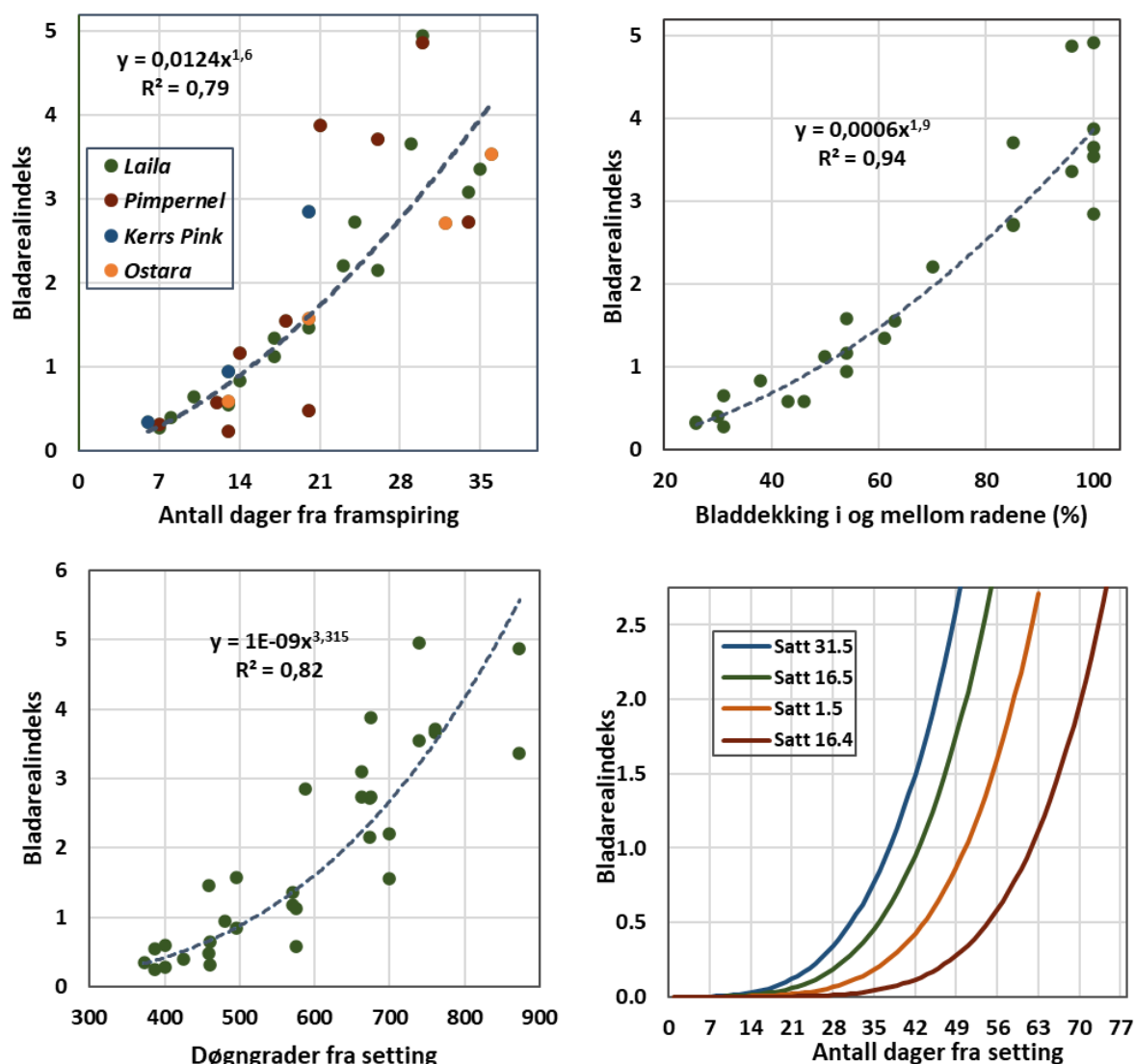
Nedre del, til venstre: Bladarealindeks plottet mot temperatursum fra såing;

Nedre del, til høyre: Beregnete verdier etter ulik såtid ved normaltemperatur på Kise.

Figur 1.23 viser LAI-verdier målt hos flere potetsorter med ulik tidlighet (*Ostara*, *Laila*, *Pimpernel* og *Kerrs Pink*). Settedatoen i forsøkene var fra 6.5 til 22.5, og tiden fra setting til framspiring var  $28 \pm 3$  dager. Da sistnevnte tiden påvirkes sterkt av evt. forbehandling som knollene får (med lys og/eller varme), er det ofte mest relevant å se på bladarealutvikling fra datoen for framspiring. Figuren øverst til venstre viser at det tar ca. 4 uker fra framspiring for potetplanter å oppnå et LAI-nivå på 2,75. I praksis kan bladarealindeks også estimeres ut fra visuelt bedømt prosentvis bladdekking av arealet i og mellom potetfårene, som vist i figuren øverst til høyre. En dekkingsgrad på 80-90 % av arealet motsvarer LAI-nivået 2,75.

Utviklingen i bladarealet hos potet er plottet mot temperatursummen fra setting nederst til venstre i figuren. Det trengs såvidt over 700 døgngrader fra setting til potetplantene når et LAI-nivå på 2,75. Nederst til høyre vises den forventete LAI-utvikling etter ulike settetider, beregnet ved normale temperaturer målt ved værstasjon på Kise (figur 1.22, nedre del, til høyre). Ved svært tidlig setting går det nesten 11 uker før potetplantene oppnår et LAI-nivå på 2,75, mens ved svært sein setting kan samme bladareal oppnås etter bare 6 uker.





Figur 1.23. Øverst til venstre: Bladarealindeks hos potet i forhold til antall dager fra spiring (3 år);

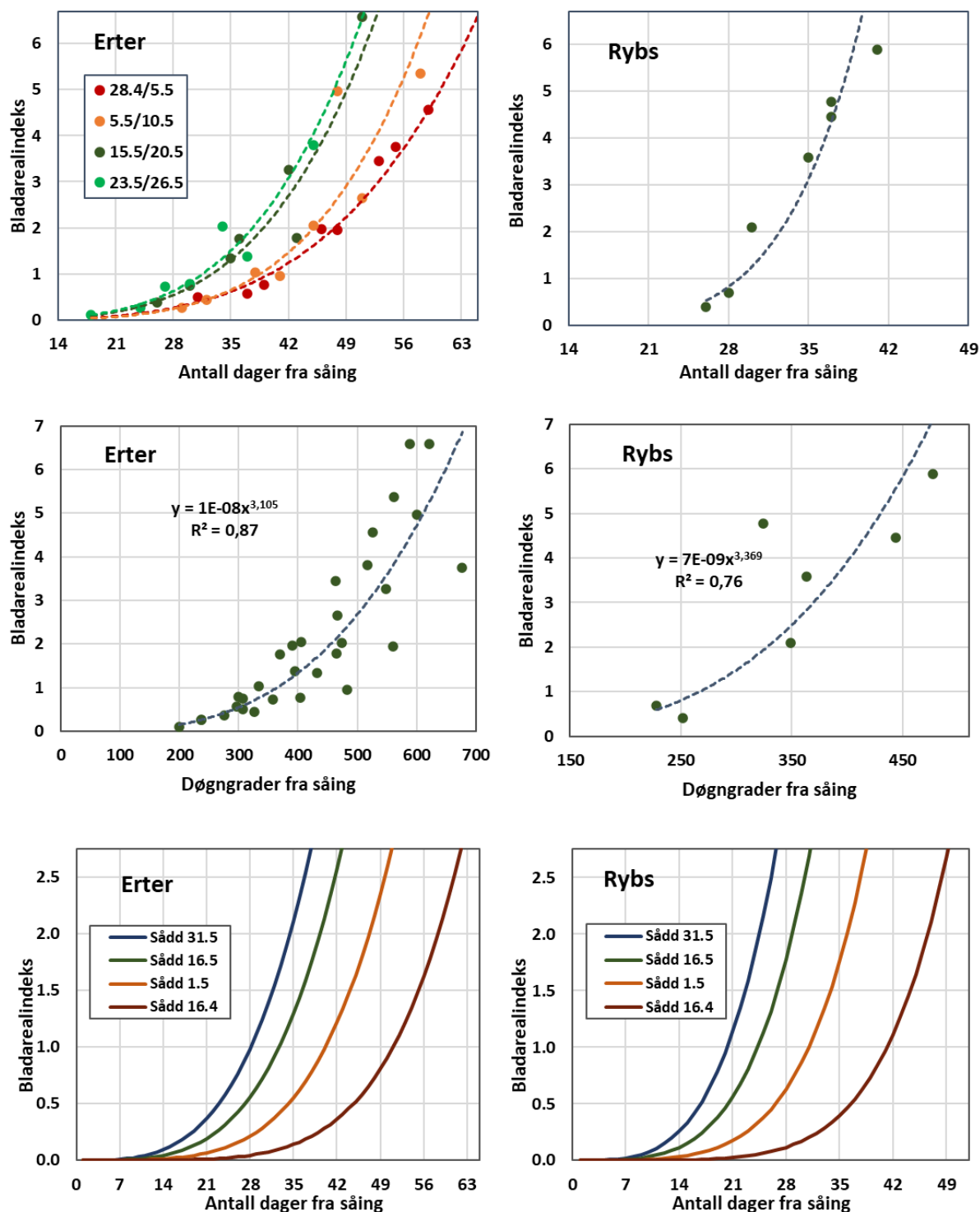
Øvre del, til høyre: Bladarealindeks ved visuelt bedømt bladdekking i og mellom potetfårene (2 år);

Nedre del, til venstre: Bladarealindeks plottet mot temperatursum fra setting;

Nedre del, til høyre: Beregnete verdier etter ulike settetid ved normaltemperatur på Kise.

Figur 1.24 (øverst) viser LAI-verdier målt hos erter og rybs. Hos begge disse vekstene var bladaeralet lite de første tre ukene fra såing. Hos erter ble LAI-nivået 2,75 nådd etter ca. 7,5 uker ved tidlig såing og etter ca. 10 dager raskere ved sein såing. Selv om det ble gjort få målinger hos rybs, var det i alle tre årene en rask og nesten lineær økning i bladareal etter spiring, slik at LAI-nivået 2,75 hos rybs trolig nås etter i underkant av 5 uker fra såing.

Også hos disse vekstene er sammenhengen mellom bladarealutvikling og temperatursummen fra såing (figur 1,24, midtre del) brukt for å beregne LAI-utvikling ved ulike såtidene. Erter trenger en varmesum på ca. 500 døgngreder, mens rybs trenger bare ca. 350 døgngreder for å oppnå LAI=2,75. Hos erter tar det ved svært tidlig såing nesten 9 uker før plantene oppnår dette nivået, mens ved svært sein såing kan samme bladareal oppnås etter bare litt over 5 uker (figur 1,24, nedre del). Hos rybs trengs det bare ca. 7 uker ved tidlig og ca. 4 uker ved sein såing.

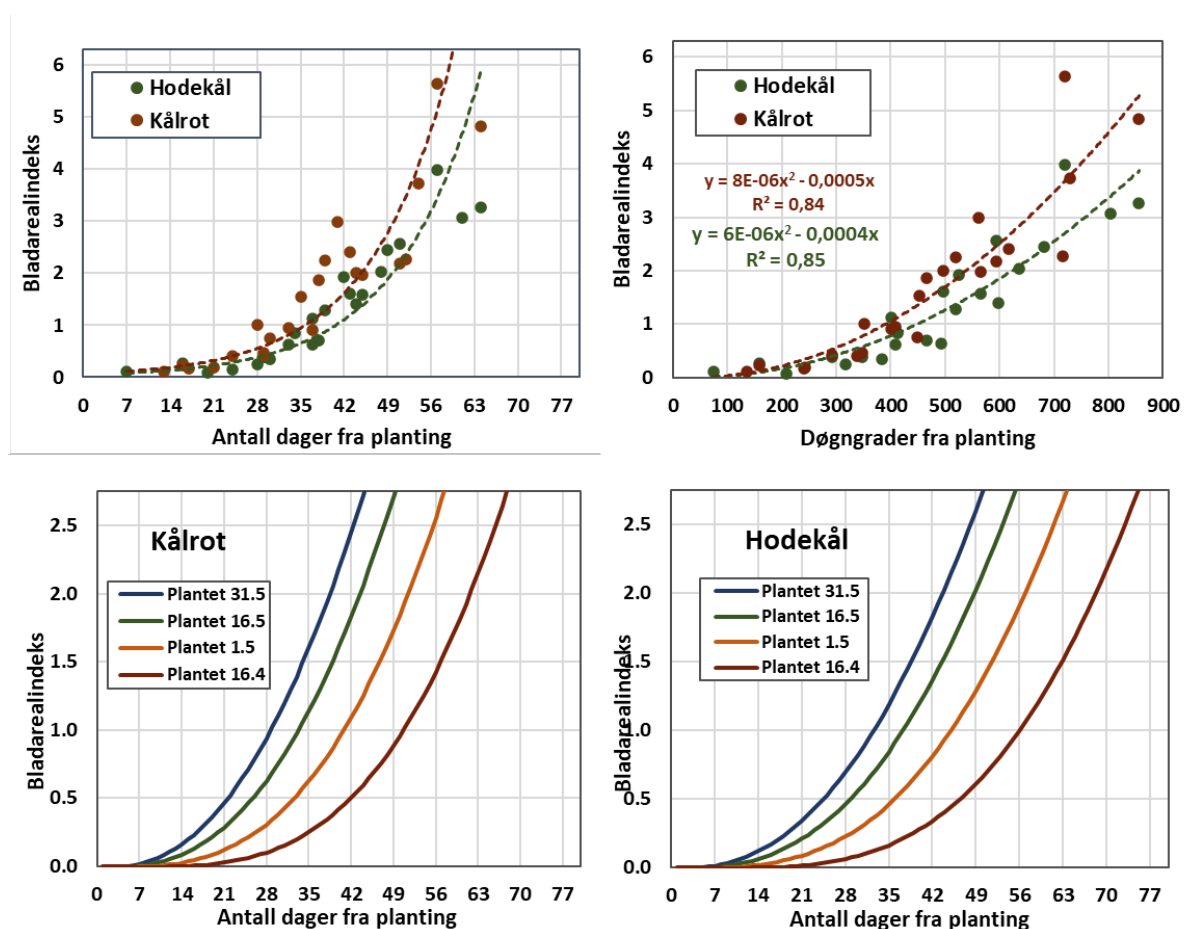


Figur 1.24. Øverst: Bladarealindeks hos erter (venstre) etter såing på ulike datoer (sådatoer vist i parentes, tall fra 2 år) og hos rybs (høyre) etter såing i første halvdel av mai (tall fra 3 år);

I midten: Bladarealindeks hos erter og rybs plottet mot temperatursummen fra såing;  
Nederst: Beregnede verdier etter ulik såtid ved normaltemperatur på Kise.

Målinger hos kålrot og hodekål viser at det tar relativt lang tid før disse vekstene oppnår et LAI-nivå på 2,75 (figur 1.25). Tiden vil avhenge av plantetettheten, som i dette tilfellet var 20 x 50 cm hos kålrot (10 planter/m<sup>2</sup>) og 40 x 50 cm hos hodekål (5 planter/m<sup>2</sup>), som begge er vanlig praksis i Norge. Med disse tetthetene utviklet bladarealet seg noe raskere hos kålrot enn hos hodekål.

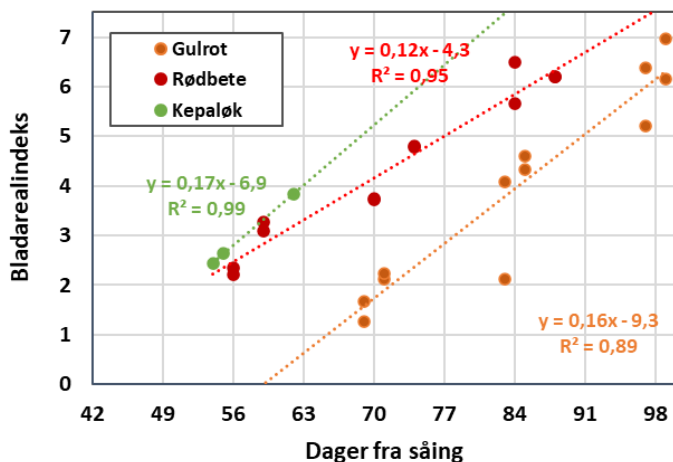
Varmesummen som trengs for å nå et LAI-nivå på 2,75 er litt over 600 døgngreder hos kålrot og ca. 100 døgngreder mer hos hodekål. Hos kålrot tar det ved svært tidlig planting nesten 10 uker før plantene oppnår dette nivået, mens ved svært sein planting oppnas samme bladareal etter litt over 6 uker (figur 1.25, nedre del). Hos hodekål drøyer det ca. én uke lenger både ved tidlig og sein planting.



Figur 1.25. Øverst: Bladareal hos kålrot (10 planter/m<sup>2</sup>) og hodekål (5 planter/m<sup>2</sup>) etter planting til ulik tid (tall fra hhv. 3 og 4 år) mot antall dager (venstre) og temperatursum fra planting (høyre);

Nederst: Beregnede verdier etter ulik plantetid ved normaltemperatur på Kise.

Det finnes begrenset informasjon om bladarealutvikling hos andre grønnsaker under norske forhold. Noen verdier for gulrot, rødbete og kepaløk er gitt i figur 1.26. Ut fra likningene som er vist der, ser det ut til at et LAI-nivå på 2,75 oppnås først 75 dager etter såing av gulrot, 59 dager etter såing av rødbete og 57 dager etter setting av rødbete. Disse vekstene har stor radavstand (40-50 cm) og relativt lang etableringstid. Dette begrenser fordampingen i den tidlige vekstfasen dersom jorda mellom radene er bar. Tidlig i sesongen, før evt. sprøyting/radrensing, kan det imidlertid være en god del ugras mellom radene. Dette vil jo medføre transpirasjon fra slike planter.



Figur 1.26. Bladareal hos gulrot, rødbete og kepaløk ved antall dager etter såing/setting (2 år pr. vekst).

Til bruk i beregninger av fordamping i vanningsmodeller trengs estimer av hvordan LAI øker tidlig i sesongen og hvordan det avtar seinere i sesongen. Sistnevnte skjer gradvis ved gulmodning eller nedvisning, eller brått ved høsting av vekster som fortsatt er grønne. For 'grønne' vekster kan man gå ut fra at LAI-nivået holder seg ved 2,74 (eller høyere) fram til høsting. Dette gjelder gras, potet osv. For kornvekster o.l. vil LAI derimot avta mot slutten av vekstsesongen. Det antas som regel at LAI avtar lineært fra 2,74 ved aksskyting til null ved modning. Tabell 1.8 viser standardverdier for LAI-utvikling hos ulike vekster i Sør-Norge, basert på erfaring og 'gjennomsnittlige' værforhold.

Tabell 1.8. Standardverdier valgt for varigheten av ulike vekstfaser med tilhørende LAI. Øverste rad i tabellen viser aktuelle intervall for LAI i periodene, øvrige rader viser antall dager i perioden

Vekst	Spiring - fra såing/setting	Spiring til fullt dekke	Til gulning (evt.høsting)	Gulning til modning	Sum veksttid
<b>LAI-intervall</b>	0	0 -> 2,74	2,74	2,74 -> 0	-
Bygg	10	21	49	28	98
Havre, vårhvete,	10	21	63	28	112
Vårrybs, erter	10	21	63	28	112
Høstkorn	- <sup>1)</sup>	14	70	28	112
Eng til slått	- <sup>1)</sup>	14	varierer <sup>2)</sup>	-	-
Tidligpotet	21	21	49	-	70
Halvsein potet	24	28	56	-	84
Sein potet	28	28	70	-	98
Kålrot, rødbete	21	56	56	-	112
Tidlig gulrot	21	56	28	-	84
Sein gulrot	21	70	42	-	112
Tidlig kål	-	42	14	-	56
Sommerkål	-	49	28	-	84
Sein kål	-	56	56	-	112
Kepaløk	-	70	42	-	112

<sup>1)</sup> Vekststart ved middeltemp. >5° C.

<sup>2)</sup> LAI øker fra 0 til 2,74 over 14 dager etter hver høsting

Andre vekster kan evt. plasseres skjønnsmessig: f.eks. høstraps (som høstkorn), salat (som tidligkål), brokkoli og blomkål (som sommerkål), purre (som løk) osv.

Mer nøyaktige verdier tilpasset den aktuelle vekstsesongen kan fås ved å bruke sammenhenger mellom plantenes utvikling og temperaturforhold. For sammenhengene som er illustrert i figurer 1.22 – 1.26 er grunnlaget for å beregne LAI ved aktuell temperatur oppsummert i tabell 1.9.

Tabell 1.9. LAI-utvikling for en del vekster beregnet etter temperatursummen fra hhv. såing (korn, erter, rybs) eller planting (potet, hodekål, kålrot)

Vekst	Sammenheng med døgngnader (x)	Sum ved LAI=2,74	R <sup>2</sup>
Vårkorn	$LAI=0,000135x+0,00016x^2$	410 døgngnader	0,75
Erter	$LAI=0,00000001x^{3,105}$	522 døgngnader	0,87
Vårrybs <sup>1)</sup>	$LAI=0,000000007x^{3,369}$	355 døgngnader	0,76
Potet	$LAI=0,000000001x^{3,315}$	703 døgngnader	0,82
Hodekål	$LAI=0,0004x+0,000006x^2$	710 døgngnader	0,85
Kålrot	$LAI=0,0005x+0,000008x^2$	617 døgngnader	0,84

<sup>1)</sup> Få målinger

For å illustrere betydningen av temperaturvariasjoner, ser vi at LAI=2,74 vil for korn oppnås ca. 6,5 uker etter såing i en kald vår (ca. 9°C) og etter bare 4,5 uker i en varm vår (ca. 13°C). For potet tar det tilsvarende ca. 11 uker i en kald vår og ca. ca. 8 uker i en varmere vår. Disse likningene inkluderer perioden fra såing til spiring, men de gir svært lave LAI-verdier i starten. I en norsk kornmodell er kravet for spiring satt til 140 døgngnader (M.A. Bleken, pers. medd).

I forbindelse med vurdering av vanningsbehovet hos f.eks. korn, er det relevant å beregne lengden av ulike utviklingsstadier, spesielt tiden fram til aksskyting. Dette kan for norsk korn anslås ut fra publisert data (f.eks. Strand 1987, Åssveen & Abrahamsen 1999, vist i tabell 1.10 og tabell 1.11).

Tabell 1.10. Lengden av periodene fra såing til aksskyting og derfra til modning (38 % vann), oppgitt i antall døgn og døgngnaderssum (±st.av.) hos ulike kornarter (etter Strand 1987)

Kornart	Fra såing til aksskyting		Fra aksskyting til modning	
	Antall døgn	Døgngnader	Antall døgn	Døgngnader
6-rads bygg	59 ±5	765 ±35	34 ±4	542 ±41
2-rads bygg	61 ±5	785 ±27	38 ±4	612 ±43
Vårhvete	57 ±6	735 ±37	48 ±7	757 ±75
Havre (sein)	62 ±6	815 ±45	38 ±8	605 ±94

I tillegg til temperatur fant Strand at faktorer som såtid og nedbørmengde også spiller en rolle for kornets utvikling, men temperatursummen er likevel trolig den viktigste faktoren.

Tabell 1.11. Varmekravet for hele vekstperioden hos ulike kornsorter, summert fra spiring til modning (etter Åssveen og Abrahamsen 1999), sammenliknet med tidligere tall (etter Strand 1987)

	Tidlig bygg	Sein bygg	Tidlig havre	Sein havre	Vårhvete	Høsthvete
Middel	1246	1327	1295	1378	1459	1475 <sup>2)</sup>
Spredning <sup>1)</sup>	1210-1276	1312-1358	1293-1299	1345-1408	1431-1482	1421-1509
Strands tall	1307	1397	-	1419	1493	-

<sup>1)</sup> Spredningen gjelder midler for ulike sorter. <sup>2)</sup> For høstkorn gjelder summen fra 1. april

Sammenliknet med Strands tall, som var basert på eldre sorter, fant Åssveen & Abrahamsen 5 % mindre krav til varmesum hos nyere byggsorter og 2-3 % mindre krav hos nyere havre- og hvetesorter. I førstnevnte studie utgjorde andelen av kravet fra spiring til aksskyting 57 % av summen hos bygg og havre og 49 % hos vårhvet. Hvis man antar de samme andelene fra såing til aksskyting, får vi følgende krav til varmesummer fra såing til aksskyting hos ulike kornarter i studien til Åssveen og Abrahamsen:

Tidlig bygg	Sein bygg	Tidlig havre	Sein havre	Vårhvet	Høsthvet
729	746	743	791	718	726



## 2 Tørkefølsomhet i ulike vekstutviklingsstadier

### 2.1 Bakgrunn og metodikk

For å kunne utnytte vanningsanleggene mest rasjonelt, er det ønskelig med kunnskap om hvordan ulike vekster reagerer på tørke ved ulike utviklingsstadier. Slik kunnskap bidrar til å unngå vanning i vekstfaser hvor plantene ikke trenger vann selv om det er tørt. Dette sparer dyrkerne for tid og penger og miljøet for unødvendig bruk av ressurser og økt risiko for evt. utvasking av næringsstoffer fra jorda. Dessuten gir det nyttig informasjon som hjelper dyrkere å prioritere en lønnsom rekkefølge av vanning i situasjoner hvor flere vekster trenger vanning samtidig, men hvor kapasiteten ikke strekker til.

For å undersøke effekten av tørke er det mest logisk å sammenlikne en vekst utsatt for tørke med en situasjon hvor samme vekst får jevn vasstilgang. På grunn av den store nedbørsvariabiliteten i vårt klima er det vanskelig å forutsi når tørkeperioder vil oppstå. Derfor har man i feltforsøk ofte benyttet en metodikk hvor små forsøksruter skjermes fra nedbør i bestemte perioder, for å framskynde tørke. Avlingseffekten av slike tørkeperioder måles da ved å sammenlikne med avlingen som er oppnådd på kontrollruter som har blitt holdt ved jevnt god vasstilgang gjennom hele vekstperioden.

I våre naboland har metoden vært brukt av bla. Andersen (1989) i Danmark og Linnér (1984) i Sverige. Ved Kise forskingsstasjon, Nes på Hedemarken, ble effekten av tørke undersøkt hos en rekke vekster i perioden ca. 1965-2000 (tabell 2.1). Hver undersøkelse nevnt her ble utført over en periode på 2-4 år. Forsøkene ble utført på en meget tørkesvak jord som bestod av mold- og grusrik lettleire i matjorda overliggende sedimentær grus i undergrunnen. Rotdybden i denne jorda var begrenset til 30-40 cm.

Forsøksruter ble skjermet fra nedbør med flyttbare tak i perioder på 3-4 uker i ulike deler av sesongen. Avhengig av plantedekke og fordampingskravet, inntraff 'tørke' vanligvis etter 10-14 dagers skjerming. Resten av tiden ble disse rutene, så vel som kontrollrutene, vannet med små vanningsvogner hver gang tensiometere plassert i 5-20 cm dybde viste utslag på ca. -0,4 bar (dvs. når ca. 25 % av det tilgjengelige vannet var oppbrukt). Figur 2.1 viser noen bilder av slike skjermer og vanningsvogner.

Tabell 2.1. Liste over vekster som er undersøkt i Norge mtp. tørke til ulik tid i deres vekstutvikling

Vekst	Forfatternavn (dato)	Henvisning
Eple	KL Kongsrud (1969)	Forskning og forsøk i landbruket 20: 351-365
Solbær	KL Kongsrud (1969)	Forskning og forsøk i landbruket 20: 351-365
Jordbær	KL Kongsrud (1970)	Forskning og forsøk i landbruket 22: 139-149
Bringebær	KL Kongsrud (1976)	Forskning og forsøk i landbruket 27: 73-83
Kepaløk	S Dragland (1975)	Forskning og forsøk i landbruket 26: 93-113
Hvitkål	S Dragland (1976)	Forskning og forsøk i landbruket 27: 355-374
Gulrot	S Dragland (1978)	Forskning og forsøk i landbruket 29: 277-299
Potet	S Dragland (1978)	Forskning og forsøk i landbruket 29: 139-159
Bygg/hvete	S Dragland (1979)	Forskning og forsøk i landbruket 30: 399-413
Rødbete	S Dragland (1981)	Forskning og forsøk i landbruket 32: 29-34
Kålrot	S Dragland (1982)	Forskning og forsøk i landbruket 33: 43-49
Havre	S Dragland (1984)	Forskning og forsøk i landbruket 35: 49-58
Potet	S Dragland (1985)	Forskning og forsøk i landbruket 36: 159-167
Erter	H Riley (1986)	Forskning og forsøk i landbruket 37: 105-113
Vårrybs	H Riley (1989c)	Norsk landbruksforskning 3: 167-175
Potet	H Riley (1990)	Norsk landbruksforskning 4: 279-300
Frilandsagurk	H Riley (1990)	Gartneryrket 2: 16-18
Timoteieng	H Riley (1992)	Norwegian J. Agric. Sciences 6: 333-348
Frøeng (svingel)	GH Jonassen (1992)	Norsk landbruksforskning 6: 245-260
Frøeng (timotei)	TS Aamlid & H Riley (1997)	Jord- og Plantekultur, Grønn forskning 4: 127-129
Frøeng (timotei)	TS Aamlid (1998)	Jord- og Plantekultur, Grønn forskning 1: 126-129
Blomkål/brokkoli	H Riley (2002)	Intern Prosjektrapport (upublisert)

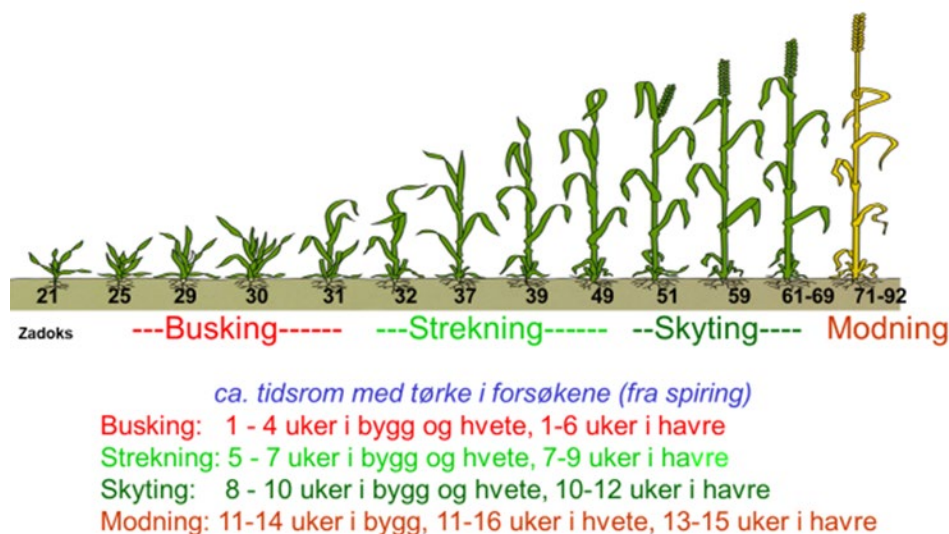


Figur 2.1. Skjerming av forsøksruter for å oppnå tørke. Øverst: Erter (vanningsvogn i forgrunnen); Midten: Kålrot og hodekål; Nederst: Rybs (legg merke til skarpt skille i veksten ved grensen).

## 2.2 Virkning av tørke hos ulike vekster

### 2.2.1 Korn

Virkningen av tørkeperioder hos *bygg* og *hvete* ble undersøkt på Kise i to år (Dragland 1979) og i tre år hos *havre* (Dragland 1984). Tørkeperioder ble frambrakt ved skjerming fra nedbør i vekstfasene som vises i figur 2.2, sammen med den omtrentlige varigheten av disse periodene. I disse forsøkene ble det ikke tatt med tørke under spirefasen, da man antok at jordråmen under norske forhold er som regel tilstrekkelig for kornspiring. Bare unntaksvis er det behov for vanning for å få korn til å spire, og vanning på dette stadiet medfører økt risiko for dannelsen av en skadelig jordskorpe.



Figur 2.2. Utviklingsstadier hos korn da virkningen av tørke ble undersøkt.

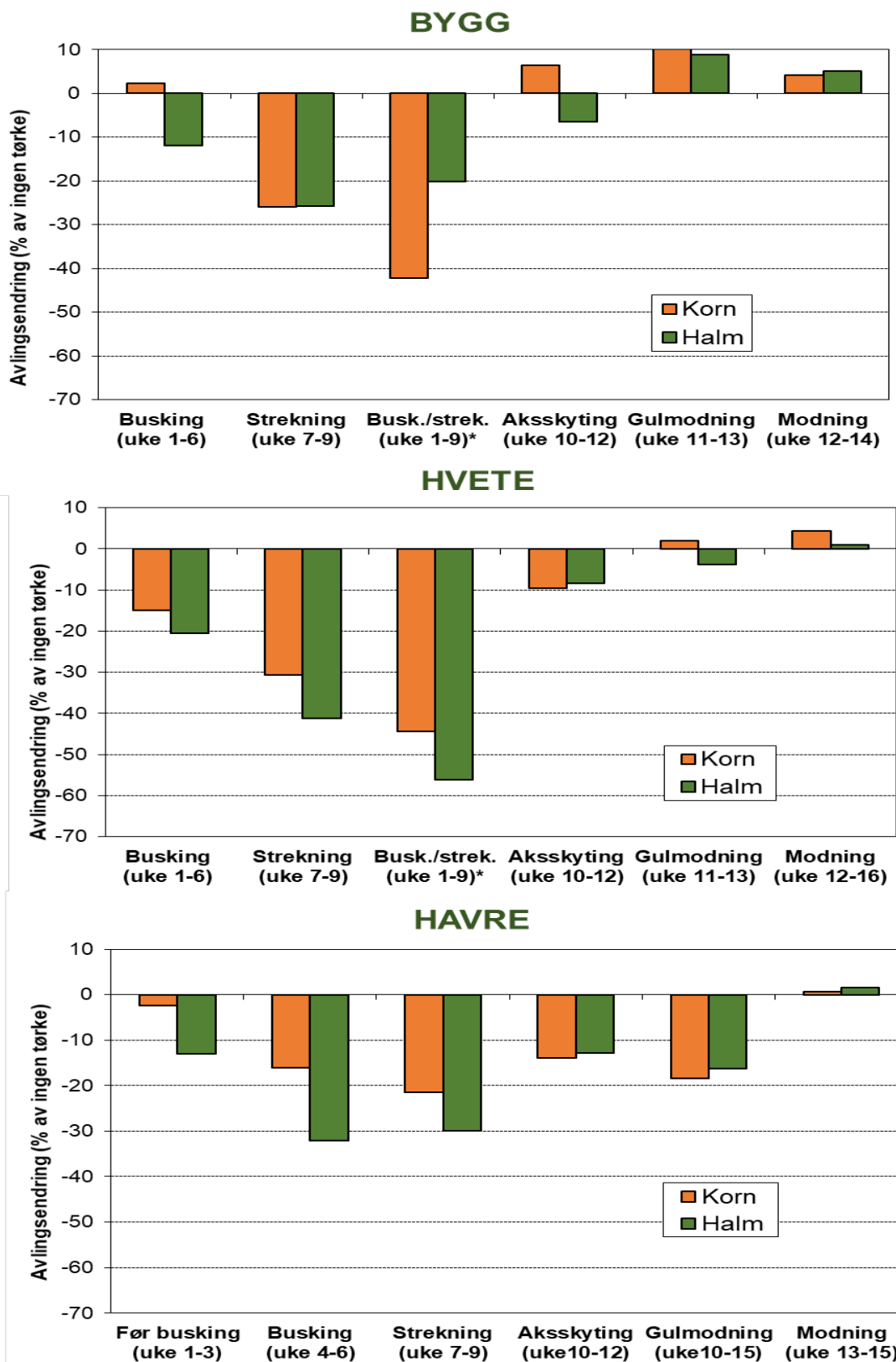
Effektene av tørke i de ulike vekstfasene er vist i figur 2.3, uttrykt som prosentvis endring i kornavling og halmmengde sett i forhold til situasjonen med god vasstilgang hele sesongen. Tørke i buskingsfasen hos bygg reduserte halmmengden, men ikke kornavlingen, trolig fordi nye skudd som ble dannet ved etterrenning fikk tilstrekkelig tid til aksutvikling. Tørke under busking førte til større avlingsnedgang hos hvete og havre enn hos bygg, trolig pga. deres manglende evne til slik etterrenning.

Store negative effekter av tørke ble hos alle tre kornarter funnet når tørken inntraff under perioden med strekningsvekst. Hos hvete og havre reduserte tørke da halmmengden mer enn kornavlingen, mens i bygg var det omvendt. Hos bygg dannet trolig ikke alle etterrenningsskuddene aks. I bygg og hvete ble kornavlingene nesten halvert når det var tørt under både busking og strekning. I havre ble effekten av tørke under busking og strekning undersøkt hver for seg. Begge tørkeperiodene førte til omlag 25 % avlingsnedgang, så det er rimelig å anta at også havreavlingen ville blitt halvert ved langvarig tørke under busking og strekning.

Tørke i perioden fra aksskyting til blomstring hadde negativ innvirkning på avlingen hos hvete og havre, men ikke hos bygg. Bygg når gulmodningsstadiet raskere enn hvete og havre. En langvarig tørkeperiode før høsting var negativt for havreavlingen, men ikke for hveteavlingen. Havre er mer utsatt enn hvete for 'bråmodning' ved slik tørke, og i forsøkene vistest dette ved at havrens vanninnhold ved høsting ble betydelig redusert. Hos ingen av kornartene hadde tørke under seinere modning noen negativ effekt på avlingene. Hos bygg så det faktisk ut til at tørke under den siste modningsfasen gav



en viss økning i både kornavling og halmmengde. Årsaken til dette er uviss, men det kan skyldes at plantene taper mindre tørrstoff under tørre forhold enn når det er fuktigere.



Figur 2.3. Effektene av tørke i ulike vekstfaser på avling og halm hos korn (prosent av ingen tørke). \* Obs. i ledd med tørke under både busking og strekning ble bygg og hvete vannet én gang i perioden (etter Dragland 1979, 1984).

Selv om bygg ser ut til å kunne kompensere noe for tidlig tørke ved å danne etterrenningsskudd, er dette ikke uten ulempe. Hos bygg ble modningen forsinket med 14 dager i forsøkene ved tidlig tørke. Hos bygg ble hektolitervekt og tusenkornvekt redusert ved tørke under busking (tabell 2.2), mens mot slutten av sesongen hadde tørke en positiv virkning på kvaliteten. Hos hvete var det relativt små utslag av tørke på hektolitervekt, men tidlig tørke gav betydelig reduksjon i falltall, trolig pga. seinere modning. Også hos hvete hadde tørke seint i sesongen positive virkninger på kornkvaliteten. I havre, derimot, var det negative effekter av tørke på kornkvalitet nesten uansett når i veksttida den inntraff. Tørke ved aksskyting og gulmodningsstadiet var spesielt skadelig, trolig fordi den førte til bråmodning.

Tabell 2.2. Endringer i kornkvalitet (HI-vekt i kg/hl, 1000 kornvekt i g) ved tørke i ulike vekstfaser hos ulike kornarter, sammenliknet med god vasstilgang i hele veksttida (etter Dragland 1979;1984)

	Bygg		Hvete		Havre	
	HI-vekt	1000-korn	HI-vekt	Falltall	HI-vekt	1000-korn
<b>Uten tørke</b>	73,6	39,9	83,3	259	53,9	39,1
<b>Busking</b>	-3,5	-6,5	-0,1	-57	-1,5	-4,8
<b>Strekning</b>	0,8	-0,4	-0,6	-19	-1,2	-3,1
<b>Aksskyting</b>	0,8	1,0	-0,2	19	-2,3	-6,5
<b>Gulmodning</b>	3,6	2,8	1,0	70	-2,6	-8,1
<b>Modning</b>	2,9	2,2	1,4	33	-0,5	-0,5

Disse norske forsøksresultatene er i samsvar med av forskning i flere andre land. Hos bygg ble effekten av tidlig tørke på seinere utvikling av sideskudd nevnt av Kivisaari og Elonen (1974) i Finland, av Day og Thomson (1975) i England og av Overgaard Mogensen (1978) i Danmark. Sistnevnte fant størst tørkefølsomhet hos bygg tidlig i sesongen og at den avtok utover i vekstperioden. Day et al. (1978) viste at langvarig, tidlig tørke hadde spesielt stor innvirkning på byggavlingen. Selv om bygg kompenserer seinere for tidlig tørke, er det likevel best å sørge for god vasstilgang også i den tidlige vekstfasen.

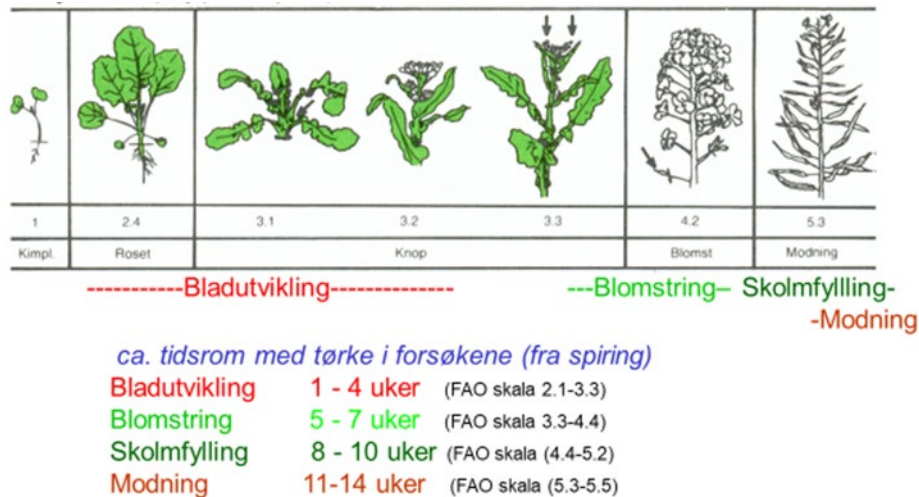
Når tørken inntreffer etter full aksskyting hos bygg, virker det derimot som lite aktuelt å fortsette med vanning. Også i tidligere norske forsøk (Myhr 1970) kom man til denne konklusjonen. Årsaken kan være, som nevnt av Andersen mfl. (1978), at oppbygging av tørrstoff hos bygg stopper ved 40-50 % vanninnhold i kornet. Dette tilsvarer omtrent grønnmodningsstadiet, dvs. noe før gulmodning.

Resultatene for både hvete og havre tyder på at det aktuelt å sørge for god vasstilgang lenger utover i veksttida enn hos bygg. Undersøkelser fra flere verdensdeler tyder på at vanning til hvete bør fortsette til kornet har nådd melkestadiet (f.eks. Sharma mfl. 1990 i India). I USA fant Neibling mfl. (2017) en positiv virkning av vanning på melkestadiet men ingen avlingsøkning ved vanning når kornet var på deigsstadiet. De skrev at vanning seinere enn dette kunne gi avlingsnedgang. I Ny Zealand fant Martin mfl. (2001) at havre var påvirket like mye ved alle utviklingsstadier. For å unngå reduksjoner i kvalitet, anbefalte de at vanning bør fortsette til kornet har fylt seg helt.

## 2.2.2 Oljevekster

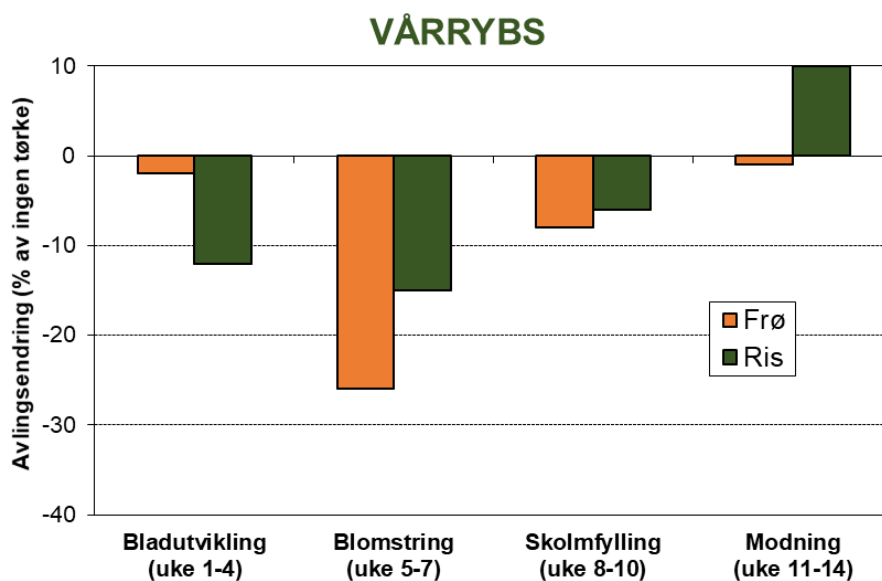
Virkingen av tørkeperioder hos *vårrybs* ble undersøkt på Kise i fire år (Riley 1989c). Tørkeperioder ble frambrakt ved skjerming fra nedbør i vekstfasene som vises i figur 2.4, sammen med varigheten av disse periodene. Heller ikke her ble det undersøkt virkning av tørke under spirefasen.





Figur 2.4. Utviklingsstadier hos vårrybs da virkningen av tørke ble undersøkt.

Effektene av tørke i de ulike vekstfasene er vist i figur 2.5, uttrykt som prosentvise endringer på samme måte som for korn. Det var noe variasjon mellom år i avlingsutslagene for tørke. Tørke i den tidligste vekstfasen førte til sterk hemming av bladutvikling i tre av årene, mens det motsatte skjedde i et svært fuktig år. I sistnevnte tilfelle ble det trolig stor N-utvasking på leddene uten skjerming. Tidlig tørke hadde likevel relativt liten innvirkning på frøavlingene, og man regner med at en viss reduksjon i rismengden kan være fordelaktig i praksis siden det resulterer i mindre legde og lettere innhøsting.



Figur 2.5. Effektene av tørke i ulike vekstfaser på frøavling og rismengde hos vårrybs (prosent av ingen tørke) (etter Riley 1989c).

Tørke under blomstring reduserte også rismengden, noe som skyldes at strekningsveksten ennå ikke er avsluttet ved begynnende blomstring. I gjennomsnitt ble frøavlingen redusert med en fjerdedel ved tørke under blomstring, men den ble nesten halvert i to av årene da fordampingen var ekstremt høy.

Tørke under skolmfylling hadde som ventet mindre innvirkning på rismengden, men det førte til et visst tap av blad. Frøavlingen ble redusert noe i alle forsøksårene ved tørke på dette stadiet. Tørke

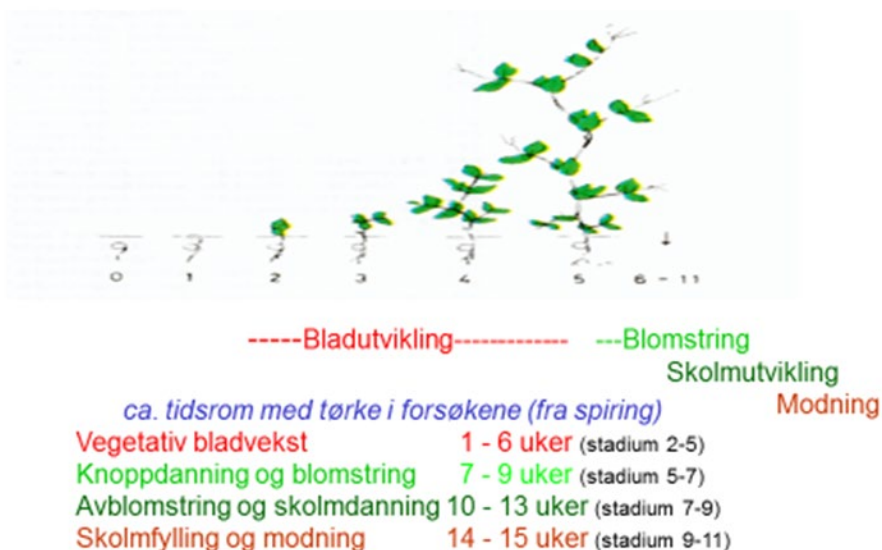
under modningsfasen førte til mindre visning av bladene, noe som gav en økning i rismengde ved høsting, men det hadde ingen effekt på frøavlingen.

Proteinprosent i frøene var sterkt negativt korrelert med avlingsmengde mens konsentrasjonen av olje økte med frøavlingen. Sett i forhold til ingen tørke, økte den relative proteinkonsentrasjonen med 5 % ved tidlig tørke og med 8 % ved tørke under blomstring, mens den relative oljekonsentrasjonen ble redusert med 3-4 % ved tørke i disse periodene. Seinere tørke hadde liten effekt på disse parameterne.

Også her støttes de norske forsøksresultatene av forskning i flere andre land. I Kanada rettet Clarke og Simpson (1978) oppmerksomheten mot vannmangel ved blomstring, da det fører til færre skolmer pr. plante, men både de og Krogman & Hobbs (1975) nevnte at vanning bør fortsette til etter blomstring. Fra Australia meldte Wright mfl. (1988) at perioden etter blomstring var viktig fordi konkurranse mellom skolmer, enten det forårsakes av vann- eller næringsmangel, kan føre til abort. I England viste Mendham mfl. (1981) at både frø- og skolmantall hos raps bestemmes i perioden etter full blomstring, i motsetning til situasjonen for korn hvor aksantall avgjøres ved busking og kornantall ved blomstring. Det konkluderes at en relativt hyppig vanningsintensitet bør anbefales under både blomstring og skolmutvikling. I den vegetative vekstfasen, derimot, anbefalte Jensen (1986) å bruke en moderat vanningsintensitet for å redusere legde som er et alminnelig problem hos oljeverkster i Danmark.

### 2.2.3 Erter

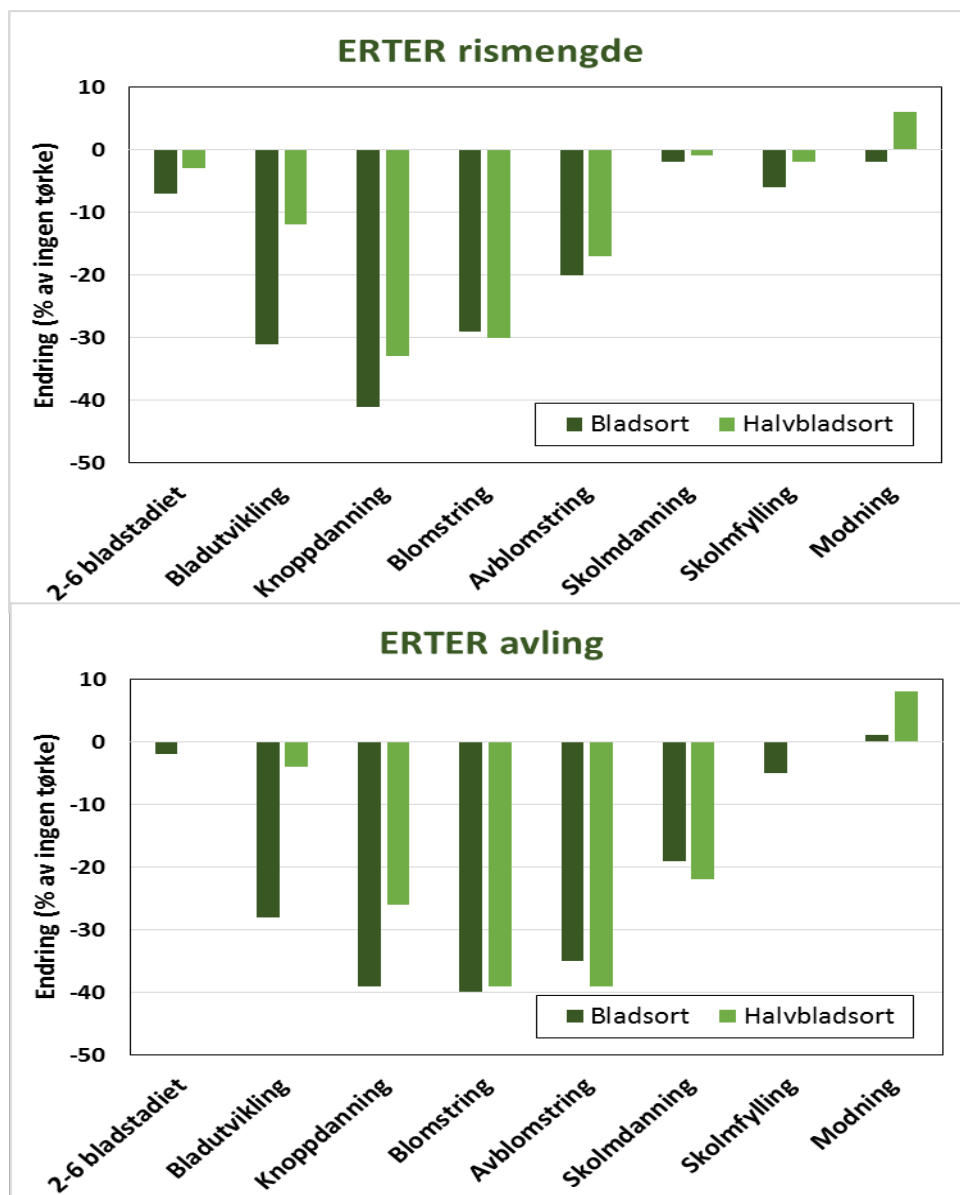
Virkingen av tørkeperioder hos *erter* ble undersøkt på Kise i to år (Riley 1986). Tørkeperioder ble frambrakt ved skjerming fra nedbør i vekstfasene som vises i figur 2.6. I disse forsøkene ble skjerming fra nedbør utført i åtte til dels overlappende perioder, hver med en varighet på tre uker. To av disse periodene dekket den vegetative veksten, to falt sammen med knoppdannelse og blomstring, to med avblomstring og skolmutvikling og to med skolmfylling og modning. Det ble brukt både bladsorter og halvt bladløse sorter, for å se om det var forskjell mellom disse i utslagene på tørke.



Figur 2.6. Utviklingsstadier hos erter da virkingen av tørke ble undersøkt (vekststadiene er angitt etter en skala som er brukt i Norge).

Effektene av tørke i de ulike vekstfasene på rismengden og erteavlingen er vist i figur 2.7. Ertene ble høstet ved full modning, men resultatene har trolig også relevans for konservert som høstes tidligere. Tørke i den tidlige vegetative vekstfasen (2-6 blad) reduserte rismengden lite og hadde ingen effekt på avlingen. Både rismengde og erteavling hos bladsorten ble redusert kraftig når tørkeperioden varte gjennom hele fasen med bladutvikling, men halvbladsorten ble påvirket i mye mindre grad.

Tørke under periodene med knoppdannning, blomstring og avblomstring gav store reduksjoner i både høstet rismengde og erteavling, med nesten ingen forskjell mellom sorter med ulik bladmengde. Antall skolmer pr. plante ble nesten halvert ved tørke under knoppdannning og blomstring, og skolmantalet ble også reduserte ved tørke like før og etter blomstringsperioden. Tørke under skolmdanningsfasen reduserte erteavlingen en del, mens tørke i den seinere delen av veksttida så ikke ut til å være skadelig.



Figur 2.7. Effektene av tørke i ulike vekstfaser på avling og rismengde hos ertes (prosent av ingen tørke) (etter Riley 1986).

Tørke under vekststadiene knoppdannning til avblomstring førte til litt færre ertes pr. skolm (tabell 2.3) mens vekten pr. ert ble noe redusert ved tørke seinere i sesongen. Disse effektene var likevel små sammenliknet med effekten på skolmantalet. Vanninnholdet i ertene ca. 1 uke før høsting ble kraftig redusert ved tørke i periodene omkring blomstring, fordi det førte til framskyndet modning. Også N-konsentrasjonen i ertene ble redusert ved tørke på disse stadiene. Dette førte til at den høstede proteinmengden ble redusert av tørke i enda større grad enn selve avlingen.

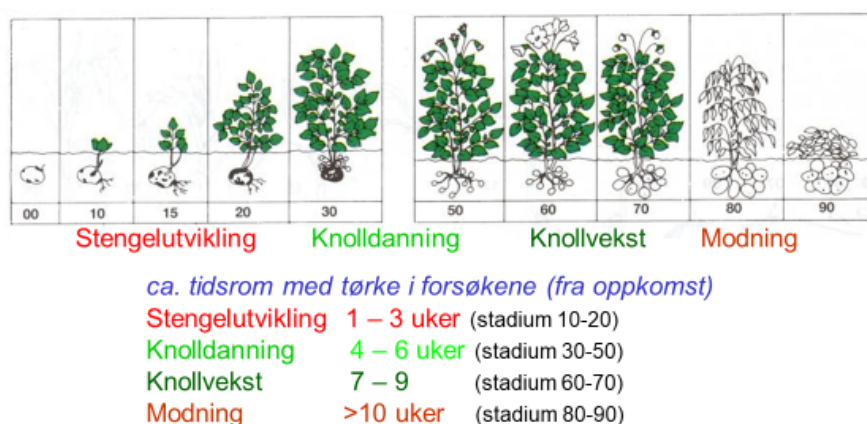
Tabell 2.3. Endringer i ulike egenskaper hos erter ved tørke i ulike vekstfaser, sammenliknet med god vasstilgang i hele veksttida (etter Riley 1986)

	Erter pr. skolm	Vekt pr. ert (mg)	Vann% 1 uke før høsting	N% av tørrstoff	Råprotein kg/daa
<b>Uten tørke</b>	6,0	246	41,5	3,40	111
<b>2-6 bladstadiet</b>	0,1	0	0,0	0,07	1
<b>Bladutvikling</b>	0,2	-6	-3,8	0,03	-16
<b>Knoppdanning</b>	-0,2	2	-8,1	-0,04	-37
<b>Blomstring</b>	-0,3	18	-13,8	-0,14	-47
<b>Avblomstring</b>	-0,4	-8	-10,8	-0,11	-43
<b>Skolmdanning</b>	-0,5	-11	-6,5	0,05	-22
<b>Skolmfylling</b>	-0,1	-8	-6,8	-0,04	-5
<b>Modning</b>	-0,1	-7	0,8	0,03	5

Disse forsøkene viste at vanning ved tørke under og omkring blomstring er ekstremt viktig, i tråd med erfaringene til Salter og Goode (1967) i England og Gregersen (1984) og Andersen (1989) i Danmark. Derimot ser det ut til at en viss vannmangel kan trolig tåles tidlig i vekstsesongen. Det kan faktisk være en fordel dersom redusert bladvekst fører til mindre legde og lettere innhøsting. Vanning til erter bør trolig fortsette 2-3 uker etter at blomstringen er avsluttet, dvs. under tidlig skolmutvikling. Tørke under skolmfylling hadde liten effekt på avlingen, men det gav en viss forsinkelse i modning. Dette kan være fordelaktig dersom ertene skal høstes til konserver, siden den optimale høstingsperioden vil forlenges noe. Ved erter til modning kan en viss tørke være en fordel også i ukene før høsting, da det vil gi mindre dryssing og reduserte tørkekostnader, som påpekt under danske forhold av Andreasen og Mortensen (1985).

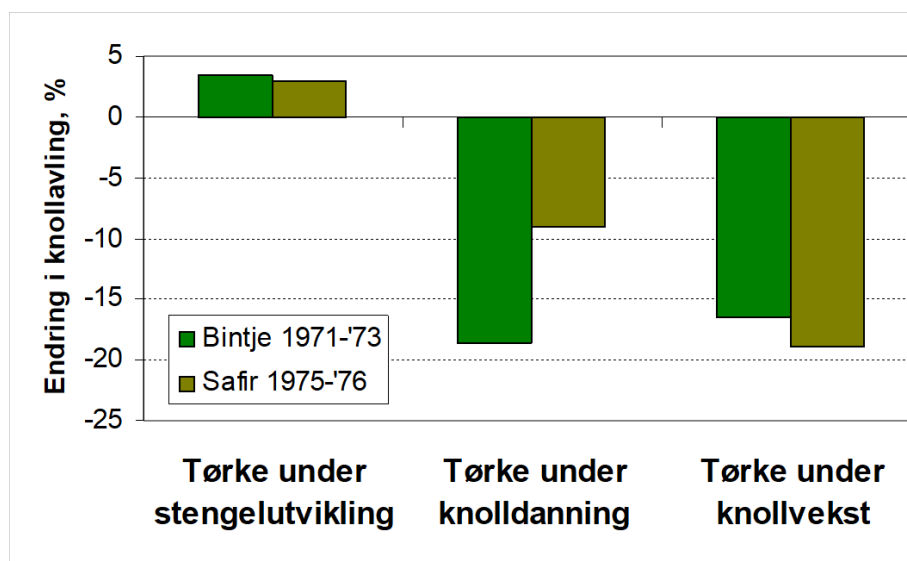
## 2.2.4 Poteter

Virkingen av tørkeperioder hos *potet* ble undersøkt på Kise i flere perioder og hos flere ulike sorter. Første ble sorten *Saphir* undersøkt i to år av Dragland (1978a). Deretter ble sortene *Laila*, *Beate*, *Kerrs pink* og *Pimpernel* undersøkt i tre år av Dragland (1985). Senere ble sortene *Pimpernel*, *Beate*, *Peik*, *Troll*, og *Saturna* undersøkt i to år av Riley (1990a). Tørkeperioder ble frambrakt ved skjerming fra nedbør i vekstfasene som vises i figur 2.8.



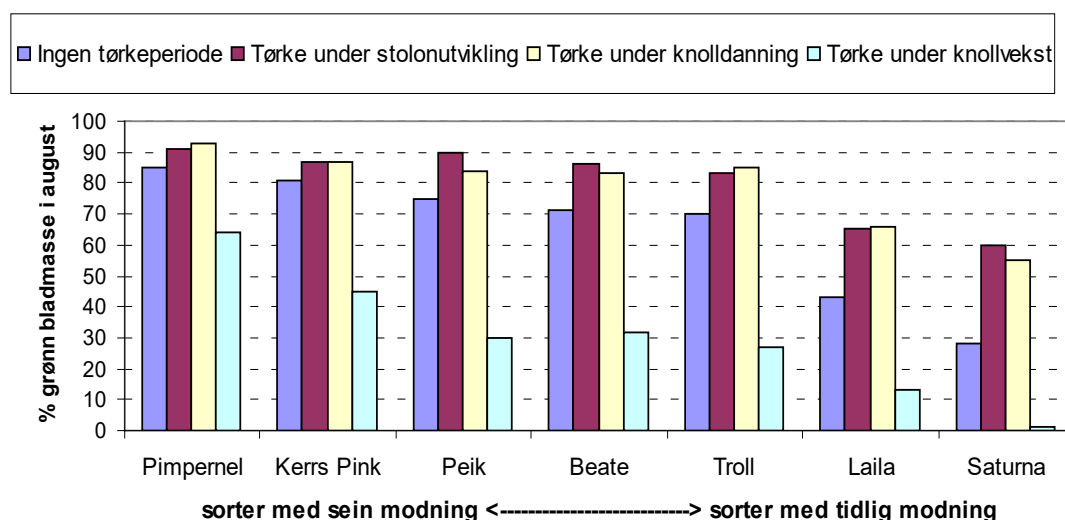
Figur 2.8. Utviklingsstadier hos potet da virkingen av tørke ble undersøkt (vekststadiene er angitt etter en skala som er brukt i Norge).

I den første serien ble den halvtidlige sorten *Saphir* høstet i midten av september. Disse forsøkene viste at den tidligste tørkeperioden, under stengelutvikling, hadde en viss positiv virkning på sluttavlingen, selv om det forsinket knollveksten noe. Derimot virket tørke under knolldanning og spesielt under knollvekst, sterkt negativt inn på avlingen. At tidlig tørke ikke var skadelig for avling var overraskende og det stridte mot den rådende oppfatningen om at det var viktig å begynne å vanne poteter så tidlig som mulig. Resultatet ble likevel støttet av liknende funn gjort i Sverige (Linner 1984) med den halvtidlige sorten *Bintje* (figur 2.9). I forsøkene til Dragland (1978a) ble potetene høstet ved full knollmodning, og dette reiste spørsmålet om man ville få samme resultat ved tidligere høsting. I de neste seriene ble det derfor utført høsting ved ulike tidspunkt for å finne ut om hvordan dette påvirket behovet for vanning i de ulike vekstfasene. Det ble dessuten brukt flere potetsorter med ulik tidlighet.



Figur 2.9. Effektene av tørke i ulike vekstfaser av potet på knollavling hos sortene Bintje og Saphir (prosent av ingen tørke) (etter hhv. Linnér 1984 og Dragland 1978a).

En viktig aspekt i forbindelse med tørke til ulik tid hos potet er sortenes evne til å kompensere for tørke ved fortsatt vekst dersom vassstilgangen bedres seinere i sesongen. En pekepinn på dette kan fås av å se på andelen av bladmassen som fortsatt holder seg grønn når det nærmer seg høsting.



Figur 2.10. Prosentandelen av potetriset som fortsatt holdt seg grønt like før høsting i august etter tørke i tidligere vekstfaser, sammenliknet med situasjonen uten tørke (etter Riley og Dragland 1991).

Hos alle sortene som ble undersøkt i de to seinere seriene var det en større andel grønn bladmasse i august når plantene hadde blitt utsatt for tørke under stengelutvikling eller knolldanning enn når de hadde hatt god vasstilgang hele tiden (figur 2.10). Etter slike tørkeperioder holdt bladene seg grønne mye lengre på seine sorter som *Pimpernel* og *Kerrs Pink* enn på den halvtidlige sorten *Laila* eller den tørkesvake sorten *Saturna*. Tørke under knollvekstperioden, derimot, førte til sterk nedvisning av riset, spesielt hos de sistnevnte sortene, og etter en slik tørkeperiode var det ingen tegn til at riset fortsatte å vokse når vasstilgangen bedret seg seinere.

Tørke under stengelutvikling viste seg å ha negativ effekt på antall knoller pr. plante i forsøkene til både Dragland (1985) og Riley (1990a), mens tørke seinere ikke hadde noen slik virkning. Tidlig tørke fører trolig til høyere jordtemperatur, og det er kjent at færre knoller utvikles ved 15-20°C enn ved 9-10°C. I sistnevnte forsøksserie ble det utviklet nesten dobbelt så mange knoller pr. plante i en kjølig forsommer (1987) enn i en varm forsommer (1986). Tabell 2.4 viser at tørke under stengelutvikling reduserte antall små knoller betydelig, men at antall store knoller økte noe. Mens det er ønskelig med mange små-middels knoller ved f.eks. dyrking av settepoteter, kan det være ønskelig med noen færre små knoller ved andre produksjonstyper. Derimot kan det være ønskelig å begrense antall store knoller ved dyrking av sorter som er utsatt for kolv (f.eks. *Peik* og *Troll*).

Tabell 2.4. Effekt av tørke til ulik tid på antall knoller pr. plante (etter Riley 1990a)

	<35 mm	35-45 mm	>45 mm	Totalt
<b>Uten tørke</b>	7,3	7,5	3,1	17,9
<b>Stengelutvikling</b>	-2,4	-1,7	+1,0	-3,0
<b>Knolldanning</b>	+1,1	-0,6	-0,6	-0,1
<b>Knollvekst</b>	+2,0	-0,8	-1,7	-0,4

*Tørke under stengelutvikling* gav lite utslag på avlingen av knoller >35 mm ved tidlig høsting (august), men ved seinere høsting (september) resulterte den tidlige tørken i større knollavling hos alle sortene. Økningene varierte fra 6 % i *Saturna* til 16 % i *Peik* (figur 2.11, øverst). Avlingen av knoller >45 mm (ikke vist) hadde økt ved begge høstetider etter tidlig tørke, med 31 % ved tidlig høsting og 45 % ved sein høsting, i middel av alle sortene. Økningene var størst hos *Peik* (60 % og 70 %), og minst (ca. 15 % og 25 %) hos *Kerrs Pink* og *Laila*. Færre, men større knoller er trolig forklaringen på disse økningene. Avlingen av knoller i settepotetstørrelse (35-45 mm) var derimot nesten alltid lavest når det hadde vært tørke under stengelutvikling.

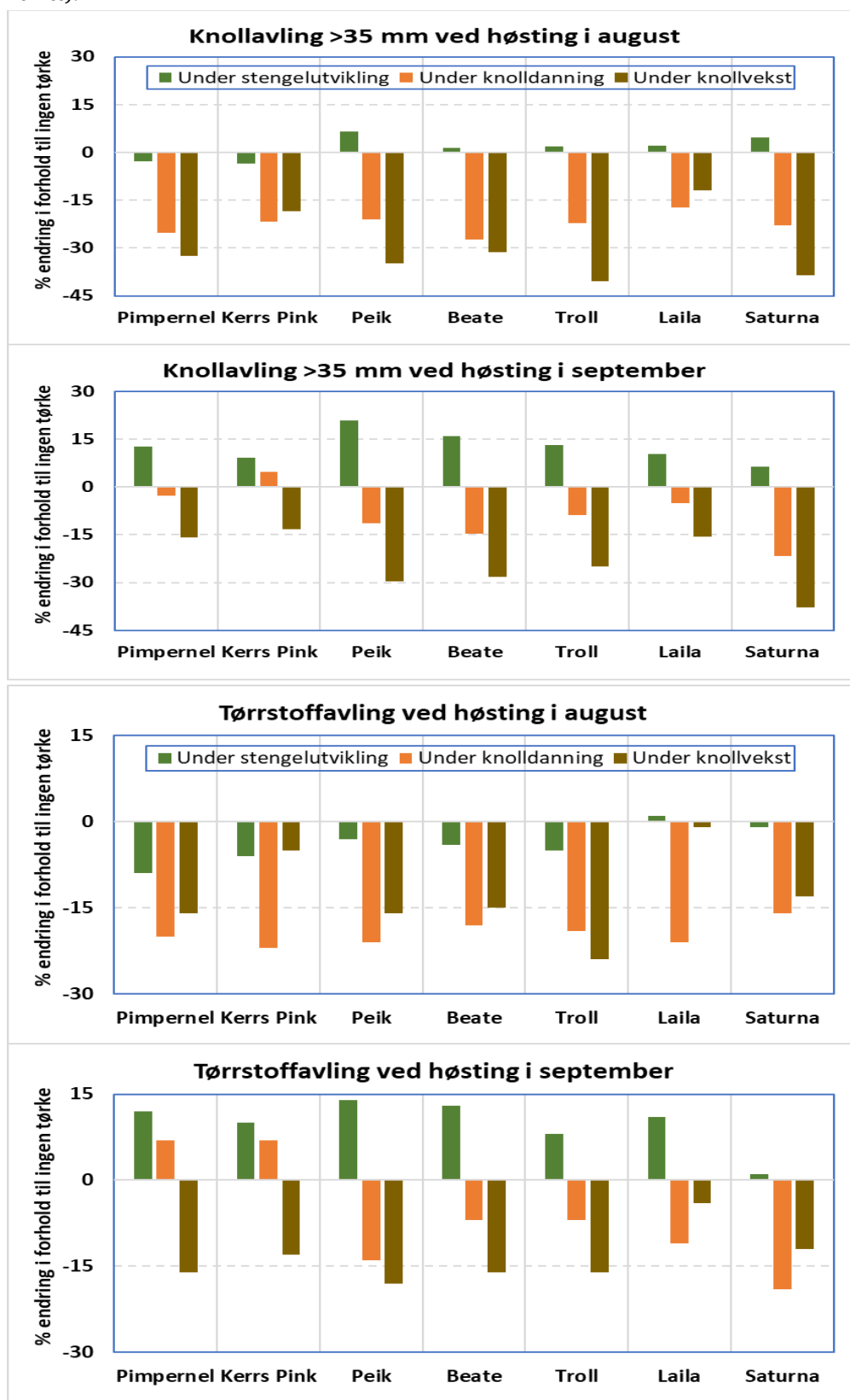
*Tørke under knolldanning* gav en nedgang i knollavling >35 mm hos alle sorter ved høsting i august (22 % i gjennomsnitt), mens ved seinere høsting varierte nedgangen fra ubetydelig hos *Pimpernel* og *Kerrs Pink* til 22 % hos *Saturna*. Årsaken til sortforskjellene var lengre veksttid hos de førstnevnte, som mellom først og annen høstetid hadde størst knollvekst av alle sortene.

*Tørke under knollvekst* gav nedgang i knollavling >35 mm hos alle sortene, i gjennomsnitt 30 % ved tidlig høsting og 24 % ved sein høsting. Ved sein høsting hadde sortene *Pimpernel*, *Kerrs Pink*, og *Laila* bare ca. 15 % nedgang ved slik tørke, mens *Peik*, *Troll* og *Beate* viste nedganger på 25-30 % og *Saturna* nesten 40 %.

Ved høsting i august ble det målt lavere *konsentrasjon av tørrstoff* i knollene når det hadde vært tørt under stengelutvikling eller knolldanning, men nedgangen var sjelden mer enn 1 %-enhet. Ved sein høsting var disse nedgangene ikke lenger til stede. Tørke under knollvekst økte som regel konsentrasjonene med 1-3 %-enheter. Effektene av tørke på *tørrstoffavlingene* viste et annerledes mønster mellom tidlig og sein høstetid (figur 2.11, nederst). Ved tidlig høsting ble tørrstoffavlingen hos de fleste sorter redusert ved tørke under stengelutvikling, mens ved sein høsting ble den økt hos alle sortene unntatt *Saturna* (10 % i snitt). Ved sein høsting hadde også tørke under knolldanning en viss



positiv effekt på tørrstoffavlingen hos *Pimpernel* og *Kerrs Pink*, mens det ved tidlig høsting var skadelig hos alle sortene. Tørke under knollvekst reduserte tørrstoffavlingen uansett høstetid (13-14 % i snitt).



Figur 2.11. Effektene av tørke i ulike vekstfaser av potet på knollavling > 35 mm (øverst) og på tørrstoffavling (nederst) hos sju sorter ved høsting til ulik tid (etter Riley og Dragland 1991).

Vel så viktig som effektene av tørke på avlingsstørrelse hos potet, kan nok være skadevirkninger på knollkvalitet. Økt forekomst av flatskurv er et problem som forbindes med tørke under knolldanning (Bjør 1972, Foley 1989). Andre vanlige problem forbundet med tørke er forekomsten av hulrom (kolv) og vekstsprekker i knollene. Disse problemene øker når tørke fører til opphold i vekstutviklingen.

Det var lite *flatskurv* i forsøkene nevnt ovenfor, men det er kjent fra forsøk andre steder at vanning tidlig i vekstsesongen gir en effektiv kontroll. I England viste Bailey (1990) til to forsøksserier, hvor vanning ble gjennomført ved nedbørunderskudd på mellom 15 mm og 45 mm. I den ene serien ble angrepet av flatskurv redusert fra 24 % uten vanning til 2 % når det ble vannet ved 15 mm underskudd, og til 6 % når vanning ble utsatt til 40 mm underskudd. I den andre serien ble forekomsten redusert fra 33 % uten vanning til hhv. 14 % og 16 % når det ble vannet ved 15 mm eller 45 mm underskudd. Jordas vannlagringsevne spiller en rolle, og i danske forsøk fant Jørgensen (1984) betydelig større forekomst av flatskurv på grovsand enn på finsand. På førstnevnte ble angrepet halvert ved hyppig vanning. I de norske forsøkene ble det etter tidlig tørke funnet en del *kolv* hos sortene Peik og Troll, som begge hadde en stor andel store knoller. Tidlig vanning er trolig viktig i slike tilfeller for å øke antall knoller og dermed redusere risikoen for kolv. Sein tørke gav en del vekstsprekker, spesielt hos sorten *Beate*.

På bakgrunn av danske forsøk konkluderte Jørgensen og Edlefsen (1987) at mens avlingsmengden er mest følsom for tørke i knollvekstfasen, er knollantallet og ulike kvalitetsparametere mest påvirket av vanningsstrategi i knolldannelsesfasen. For å oppnå god kvalitet og store avlinger uten mange store knoller, anbefalte de å vanne hyppig gjennom hele vekstperioden. Hvis knollkvalitet og knolltørrelsesfordeling er av mindre betydning, mente de at vanning kan utsettes mot en noe større uttørkingsgrad.

Behovet for god vasstilgang i potetens ulike vekstfaser avhenger av sort, bruksområde og høstetid. Vår erfaring er at tørke tidlig i sesongen ikke nødvendigvis er skadelig. Dette støttes av utsagn fra USA, hvor van Loon (1981) skrev at uttørking de første 3-4 uker etter oppspiring, etterfulgt av høy fuktighet, gir større bladmasse senere i sesongen, og at planter dyrket med tørre forhold tidlig i veksttida har bedre evne til å vokse under knollvekstfasen, med påfølgende større avlinger. Konklusjonen kan være at man bør vanne hyppig allerede tidlig i vekstsesongen for å oppnå stor avling ved tidlig høsting eller når man ønsker å ha mange, men ikke for store knoller, og dessuten i tilfeller hvor flatskurv er et stort problem, f.eks. på lett sandjord. For å unngå stor andel små knoller i avlingen, og spesielt hvis det planlegges å høste seint for å oppnå størst mulig avling, kan derimot tidlig tørke tåles, eller til og med ha en gunstig virkning.

## 2.2.5 Eng og frøgras

Effekten av tørkeperioder til ulik tid på *engvekst* høstet som grovfôr ble undersøkt over tre år i eng av timotei, i dette tilfelle på ei tørkesterk lettleire (Riley 1992). I to av årene ble tørke framprovosert ved skjerming fra nedbør i perioder på ca. fire uker, hhv. tidlig og seint i veksttida foran hver høsting i et system med to slåtteperioder. I det tredje året ble det skjermet i ca. 8 uker i begge slåtteperiodene.

Engavlingen ble redusert likt ved skjerming i både første og andre halvdel av veksttiden før 1. slått og etter skjerming i andre halvdel av veksttiden før 2. slått (tabell 2.5). Tørke i disse periodene gav relativt beskjeden avlingsnedgang, mens skjerming i første halvdel av veksttiden til 2. slått reduserte avlingen betydelig. Tørre forhold like etter slåtten forsinker gjenveksten i å komme i gang igjen. Ved skjerming i 8 uker ble den prosentvise avlingsreduksjonen nesten like stor ved 1. slått som ved 2. slått.

Tabell 2.5. Effekt av skjerming til ulik tid i vekstsesongen på tørrstoffavling av timoteieng med to slåtter (kg/daa og % endring). Skjerming i 4 uker til venstre, 8 uker til høyre (etter Riley 1992)

1989-90	4 uker med skjerming			8 uker med skjerming		
	Uten tørke	1. halvdel	2. halvdel	1991	Uten tørke	skjerming
1. slått	852 (100%)	732 (-14%)	712 (-17%)	1. slått	797 (100%)	488 (-39%)
2. slått	502 (100%)	219 (-56%)	420 (-16%)	2. slått	521 (100%)	254 (-51%)

Proteinavlingen ble ikke påvirket av tørke i samme grad som tørrstoffavlingen, da N-konsentrasjonene i tørrstoffet var høyere etter tørke enn i leddet uten tørke. Tørrstoffprosenten i graset økte imidlertid betydelig ved tørke, og det er sannsynlig at dette hadde en negativ effekt på grasets fordøyelighet.

Det var nær sammenheng mellom de relative engavlingene etter tørke (% av avlingen uten tørke) og den relative fordampingen beregnet i hvert tilfelle ( $E_a/E_p$ , jfr. avsnitt 1.2.3.2). Den relative avlingen avtok lineært fra 100 % ved  $E_a/E_p = 1,0$  til ca. 40 % ved  $E_a/E_p = 0,4$ . Dette betyr at effekten av en lik grad av uttørking kan forventes å være den samme uavhengig av når i engas veksttid den inntreffer.

Effektene av tørke ved utviklingsstadier til *frøeng* viser et annerledes mønster enn det som er funnet når enga høstes som grovfôr. I Norge ble slike effekter undersøkt i *engsvingel* av Jonassen (1992) i fire år og i *timotei* av Aamlid og Riley (1997) og Aamlid mfl. (1998) i tre år. Også disse forsøkene ble utført på relativt tørkesterk jord. Skjerming fra nedbør ble utført i ulike vekstfaser før høsting og i noen tilfeller også etter høsting.

Tørke i vekstfasen før skyting førte til en nedgang i frøavlingen hos begge engartene (tabell 2.6). I forsøkene med engsvingel var perioden med skjerming kortere i denne fasen enn hos timotei, og det er trolig derfor effekten ble mindre. Hos begge artene ble tusenfrøvekten redusert ved slik tidlig tørke. Tørke fra skyting til høsting hadde den motsatte effekten, med en betydelig avlingsøkning i to av tre år. I ingen av tilfellene der skjerming ble utført etter høsting hadde dette innvirkning på avling året etter.

Tabell 2.6. Effekt av skjerming til ulik tid i vekstsesongen på frøavling (kg/daa) og tusenfrøvekt (g) av engsvingel og timotei (etter Aamlid og Riley 1997 og Aamlid mfl. 1998)

Engsvingel	Skjerming	Frøavling	1000-frøvekt
Uten tørke	-	39 (100%)	2,32 (100%)
Under skyting	1.6 - 20.6	36 (-8%)	2,19 (-6%)
Under blomstring	21.6 - 10.7	40 (+2%)	2,34 (+1%)
Under modning	11.7 - 5.8	45 (+15%)	2,37 (+2%)
Timotei	Skjerming	Frøavling	1000-frøvekt
Uten tørke	-	95 (100%)	0,65 (100%)
Vekststart - skyting	20.4 - 17.6	72 (-24%)	0,61 (-6%)
Skyting - høsting	15.6 - 14.8	107 (+13%)	0,66(+1%)

## 2.2.6 Grønnsaker på friland

Virkingen av tørkeperioder er undersøkt på Kise hos de vanligste frilandsgrønnsakene som dyrkes i Norge. Først ble *kepaløk* undersøkt i to år (Dragland 1975), etterfulgt av *hodekål* og *gulrot*, begge i tre år (Dragland 1976, 1978), *rødbete* og *kålrot* i to år (Dragland 1981, 1982). Forsøkene er omtalt også i en artikkel av Riley & Dragland (1988). Seinere ble også *sylteagurk* undersøkt i to år (Riley 1990b) og *blomkål* og *brokkoli* i ett år (Riley 2002).

Kålvekstene så ut til å tåle tidlig tørke relativt sett bedre enn tørke seinere i vekstperioden (tabell 2.7). Tørke gav mindre avlingsnedgang enn tørke seinere i sesongen. En sein tørkeperiode hos *hodekål* gav mindre sprekking av hodene, men pga. høyere tørrstoffinnhold ble spisekvaliteten trolig noe dårligere. Forsøkene ble utført med sein hodekål, og større effekt av tørke kan ventes hos tidligkål (Drew 1966).

Hos både *brokkoli* og *blomkål* førte tørke under periodene med hodeutvikling og høsting til svært stor nedgang i både avlingsnivå og andelen av avlingen som oppnådde klasse I kvalitet. Tørke under denne perioden gav en stor andel små og ikke-salgbare hoder med besk smak. I andre land er betydningen av god vasstilgang under perioden med hodedannelse understreket av Salter & Goode (1967).

Tabell 2.7. Effekt av skjerming til ulik tid i vekstsesongen på avling og ulike kvalitetsegenskaper hos hodekål, brokkoli og blomkål (etter Dragland 1976 og Riley 2002)

Hodekål	Skjerming (fra - til)	Vekstfase	Kålavling t/daa (rel.)	Sprukne (%)	Tørrstoff (%)	Lagertap (%)
Ingen tørke	ingen	---	9,6 (100%)	15,5	8,0	11,2
Tidlig tørke	21.5 - 10.6	Etablering	9,2 (-4%)	15,0	7,8	13,0
Tørke midtveis	10.7 - 30.7	Bladvekst	8,3 (-14%)	14,5	8,0	12,0
Sein tørke	21.8 - 10.9	Hodevekst	8,5 (-12%)	4,5	8,6	13,5
Brokkoli og blomkål	Skjerming (fra - til)	Vekstfase	Brokk. avling t/daa (rel.)	Klasse I (%)	Blom. avling t/daa (rel.)	Klasse I (%)
Ingen tørke	Ingen	---	2,1 (100%)	45	2,5 (100%)	95
Svært tidlig tørke	12.6 - 3.7	Bladutvikling	2,2 (+5%)	82	2,6 (+6%)	93
Tidlig tørke	22.6 - 13.7	Skuddutvikling	1,9 (-10%)	74	2,4 (-4%)	93
Tørke midtveis	3.7 - 24.7	Strekningsvekst	1,9 (-10%)	68	2,4 (-3%)	91
Sein tørke	13.7 - 3.8	Hodeutvikling	1,8 (-14%)	21	1,3 (-47%)	56
Svært sein tørke	24.7 - 10.8	Høsteperioden	1,4 (-31%)	12	1,2 (-53%)	46

Tidlig tørke hos alle tre *rotgrønnsakene* viste en klar trend til å øke avlingene heller enn å redusere dem (tabell 2.8). Årsaken kan ligge i en positiv effekt av høyere jordtemperatur når jorda var tørr i denne vekstfasen eller at røttene søkte raskere nedover i jorda. Tørke seinere i veksttida reduserte avlingene.

Hos *gulrot* førte tidlig tørke til noe mer sprekking og lavere sukkerinnhold, mens sein tørke førte til en økning i både tørrstoff- og sukkerinnhold. I to av tre år vurderte et testpanel at røttene med den beste søtsmaken var de som hadde blitt utsatt for tørke seint i veksttida. At gulrot er lite følsom for tørke de første seks ukene etter oppspiring ble også funnet av Fradgley (1971) i engelske forsøk.

Hos *kålrot* førte tørke ofte til større angrep av kålrotflue, som førte til stor nedgang i salgbar avling ved tørke midtveis eller seint i sesongen. Relativt tidlig tørke (før rot diameter nådde 3 cm) gav minst indre brunfarge, men det ble funnet få utslag av tørke på andre kvalitetsegenskaper. Forutsatt lang veksttid, ser det ut til at vanning til kålrot er unødvendig før rot diameteren har nådd ca. 1 cm. Utslagene av tørke på avling i disse forsøkene viste samme tendens som det som ble funnet av Stanhill (1958) i matnepe.

Hos *rødbete* hadde tidlig tørke en positiv effekt på nivå med det som ble målt hos gulrot, mens seinere tørke gav liknende prosentvis tap i totalavling som hos kålrot. Salgbar avling var påvirket litt mindre av tørke enn totalavling. Tørke tidlig eller midt i veksttida førte til økt nitratinhold i røttene, mens sein tørke økte tørrstoffinnholdet betydelig.

Tørke tidlig i vekstsesongen hadde en klar negativ effekt på avlingen hos både *kepaløk* og *sylteagurk* (tabell 2.9). *Kepaløk* er den eneste av vekstene undersøkt på Kise som viste større skadevirkning av tidlig tørke enn av tørke seinere i sesongen. Tørkeskade som skjedde tidlig i sesongen ble ikke rettet opp senere, og dette kan skyldes at rotutviklingen ble hemmet. Det ble ikke funnet noen effekt av tørke på stokkløping. Tørke gav noe mer råtne løk, men hadde ikke noen entydig effekt på lagringstapene.

Hos *sylteagurk* var det størst avlingsnedgang ved tørke under blomstring og tidlig i bæringsperioden. Dette er i tråd med utenlandske resultater som viser stort behov for vanning på disse stadiene (Salter & Goode 1967). Tørke hadde imidlertid negativ effekt allerede fra midten av juni, da plantene var bare ca. 20 cm i diameter. Tørke reduserte fruktantallet betydelig, og gav noe større andel med dårlig form.

Tabell 2.8. Effekt av skjerming til ulik tid i vekstsesongen på avling og ulike kvalitetsegenskaper hos gulrot, kålrot og rødbete (etter Dragland 1978, 1981 og 1982)

<b>Gulrot</b>	<b>Skjerming (fra-til)</b>	<b>Vekstfase</b>	<b>Totalavling t/daa (rel.)</b>	<b>Salgbar avling t/daa (rel.)</b>	<b>Sprukne (%)</b>	<b>Sukker (%)</b>
Ingen tørke	ingen	---	6,1 (100%)	4,5 (100%)	2,8	3,0
Tidlig tørke	15.6 - 6.7	Bladutvikling	6,9 (+13%)	5,2 (+15%)	4,2	2,4
Tørke midtveis	23.7 - 13.8	Blad-/rotutv.	4,8 (-22%)	3,6 (-20%)	2,6	2,8
Sein tørke	26.8 - 15.9	Rotvekst	5,2 (-15%)	3,9 (-14%)	2,2	3,9
<b>Kålrot</b>	<b>Skjerming (fra-til)</b>	<b>Rotdiam.</b>	<b>Totalavling t/daa (rel.)</b>	<b>Salgbar avling t/daa (rel.)</b>	<b>Insekt-skade (%)</b>	<b>Bruning (%)</b>
Ingen tørke	ingen	---	10,1 (100%)	7,5 (100%)	8	28
Svært tidlig	30.5 - 20.6	< 0,5 cm	10,3 (+2%)	7,8 (+4%)	7	33
Tidlig	20.6 - 11.7	0,5 - 3 cm	10,7 (+6%)	6,9 (-1%)	15	12
Midtveis	11.7 - 1.8	3 - 5 cm	8,9 (-12%)	4,8 (-36%)	24	23
Seint	1.8 - 22.8	> 5 cm	8,9 (-12%)	4,3 (-23%)	18	28
<b>Rødbete</b>	<b>Skjerming (fra-til)</b>	<b>Rotdiam.</b>	<b>Totalavling t/daa (rel.)</b>	<b>Salgbar avling t/daa (rel.)</b>	<b>Nitrat (% av ts.)</b>	<b>T. stoff (%)</b>
Ingen tørke	ingen	---	3,6 (100%)	3,0 (100%)	0,24	16,1
Svært tidlig tørke	12.6 - 3.7	< 0,5 cm	4,2 (+15%)	3,3 (+10%)	0,36	-
Tidlig tørke	4.7 - 24.7	0,5 - 3 cm	3,3 (-8%)	2,8 (-6%)	0,37	-
Tørke midtveis	25.7 - 15.8	3 - 5 cm	3,5 (-5%)	2,9 (-4%)	0,31	-
Sein tørke	16.8 - 7.9	> 5 cm	3,2 (-12%)	2,7 (-10%)	0,24	17,8

Tabell 2.9. Effekt av skjerming til ulik tid i vekstsesongen på avling og ulike kvalitetsegenskaper hos kepaløk og sylteagurk (etter Dragland 1975 og Riley 1990b)

<b>Kepaløk</b>	<b>Skjerming (fra-til)</b>	<b>Vekstfase</b>	<b>Totalavling t/daa (rel.)</b>	<b>Salgbar avling t/daa (rel.)</b>	<b>Råte løk (%)</b>	<b>Lagertap (%)</b>
Ingen tørke	ingen	---	4,5 (100%)	4,1 (100%)	6,1	35
Tidlig tørke	15.5 til 5.6	Bladvekst	3,4 (-25%)	3,4 (-19%)	6,8	33
Tørke midtveis	9.7 til 30.7	Knollvekst	3,5 (-17%)	3,5 (-17%)	10,0	29
Sein tørke	6.8 til 27.8	Modning	3,9 (-7%)	3,8 (-7%)	10,2	30
<b>Sylteagurk</b>	<b>Skjerming (fra-til)</b>	<b>Vekstfase</b>	<b>Totalavling t/daa (rel.)</b>	<b>Salgbar avling t/daa (rel.)</b>	<b>Antall pr. kv.meter</b>	<b>Dårlig form (%)</b>
Ingen tørke	---	---	4,2 (100%)	3,9 (100%)	47	3,5
Tidlig tørke	14.6 - 4.7	Bladvekst	3,6 (-15%)	3,4 (-12%)	40	2,5
Tørke midtveis	5.7 - 25.7	Blomstring	3,3 (-21%)	3,0 (-23%)	36	4,6
Sein tørke	26.7 - 15.8	Beg. bæring	2,9 (-30%)	2,6 (-32%)	34	5,9
Sv. sein tørke	16.8 - 3.9	Sen bæring	4,3 (+1%)	4,0 (+2%)	49	4,3

## 2.2.7 Frukt og bærvekster

Virkningen av tørke hos flerårige vekster som frukt og bær kan påvirke veksten i seinere vekstår så vel som i året tørken inntreffer. Dette betyr at effekten bør undersøkes i flerårige forsøk. Kongsrud (1969)

utførte seksårige forsøk der han studerte effekten av tørkeperioder hos eple og solbær. Han undersøkte dessuten effektene av tørkeperioder i flerårige forsøk med jordbær (Kongsrud 1970) og noe seinere i forsøk med bringebær (Kongsrud 1976). I disse forsøkene, til forskjell fra de med ettårige vekster, ble det ikke tatt med noe 'kontroll-ledd' med jevn vasstilgang gjennom hele sesongen.

Hovedtrekkene av resultatene for *eple* og *solbær* vises i tabell 2.10. Hos *eple* gav tørke under blomstring færrest antall klaser pr. tre og lavere avling enn de andre tørkeperiodene. Tørke like etter blomstring førte til flest klaser pr. tre, men ikke tilsvarende økning i avling, trolig fordi det var færre epler pr. klase (pga. økt kartfall). Eplestørrelsen var likevel størst etter en slik tørkeperiode. Størrelsen på eplene ble redusert sterkt ved tørke like før høsting, mens tørke under innhøsting hadde mindre virkning på fruktstørrelsen, og gav størst avlingsnivå. Tørke seint i sesongen så ikke ut til å påvirke skuddveksten det påfølgende året.

Hos *solbær* førte tørke i perioden med intensiv skuddvekst og blomstring (juni/juli) til redusert avling pga. lavere bærvekt og økt kartfall, mens leddet med tørke i perioden like før høsting hadde den største avlingen. Tørke under/etter høsting (august/sept.) reduserte avlingen, og det samme gjaldt tørke seint i sesongen. Disse effektene skyldes at skuddveksten året etter reduseres sterkt av tørke om høsten, og det ble funnet nær sammenheng mellom avlingsstørrelse og skuddvekst. Det er derfor viktig å sørge for god vasstilgang til solbær om høsten.

**Tabell 2.10.** Effekt av skjerming til ulik tid i sesongen på avling og ulike egenskaper hos eple og solbær (etter Kongsrud 1969). Epler ble høstet i september-oktober og solbær i august-september

Eple	Skjerming	Avling (kg/tre)	Klaser/tre	Epler/klase	Eplevekt (g)
Blomstring	16.5 - 15.6	3,6	29	1,4	84
Like etter blomstring	16.6 - 15.7	3,9	48	1,0	88
Kartvekst	16.7 - 15.8	4,1	35	1,5	87
Før høsting	16.8 - 15.9	3,8	40	1,3	65
Under/etter høsting	16.9 -15.10	4,4	37	1,3	76
Solbær	Skjerming	Avling kg/bus	Blomster/klase	% kartfall	Bærvekt (g)
Tidlig i sesongen	16.5 - 15.6	2,5	11,8	17	1,6
Intensiv skuddvekst	16.6 - 15.7	2,3	11,9	23	1,4
Før høsting	16.7 - 15.8	2,8	12,5	19	1,5
Under/etter høsting	16.8 - 15.9	2,5	11,3	17	1,6
Etter høsting	16.9 -15.10	2,2	11,6	19	1,6

Hovedtrekkene av resultatene for *jordbær* og *bringebær* vises i tabell 2.11. Hos *jordbær* førte tørke før og under høsting til avlingstap med både færre og mindre bær og en kortere høstesesong fordi det framskyndet modning. Tørke tidlig i sesongen hadde liten effekt på avling, men reduserte dannelsen av utløpere. Tørke like etter høsting hadde positiv virkning i det påfølgende året, fordi det øker antall blomsteranlegg og utløpere og dermed antall bær. I likhet med solbær kan også være aktuelt å vanne jordbær seint i sesongen etter høsting.

Hos *bringebær* førte tørke fra ca. 14 dager før høsting til stort avlingstap med færre og mindre bær og kortere høstesesong. En slik tørkeperiode resulterte imidlertid i de søteste bærene (tall ikke vist her). Også tørke før høsting (juni/juli) gav stor negativ virkning året etter, trolig fordi det reduserte veksten av nye skudd. Det ble derimot ikke funnet negativ effekt av tørke etter endt høsting på neste års avling.



Tabell 2.11. Effekt av skjerming til ulik tid i sesongen på avling og ulike egenskaper hos jordbær og bringebær (etter Kongsrud 1970 og 1976). Jordbær ble høstet ca. 18.7 - 10.8 og bringebær 27.7 - 18.8

Jordbær	Skjerming	Avling t/daa	Bærvekt (g)	Bær/plante	% høstet e. 8 dager
Tidlig i sesongen	1.6 - 1.7	1,1	8,2	53	36
Blomstring	20.6 - 20.7	0,9	7,2	47	47
Før/under høsting	10.7 - 10.8	1,0	7,0	50	41
Under/etter høsting	1.8 - 1.9	1,3	8,5	59	30
Etter høsting	20.8 - 20.9	1,1	8,8	50	32
Bringebær	Skjerming	Avling t/daa	Bærvekt (g)	Bær/skudd	% høstet e. 8 dager
Tidlig i sesongen	1.6 - 1.7	2,0	3,3	308	37
Blomstring	20.6 - 20.7	1,7	3,0	281	47
Før/under høsting	10.7 - 10.8	1,0	2,3	225	35
Under/etter høsting	1.8 - 1.9	1,8	3,0	304	44
Etter høsting	20.8 - 20.9	1,9	3,3	294	38

## 2.3 Prioritering av vanning til ulike vekster

### 2.3.1 Åkervekster

Blant åkervekstene melder behovet for vanning seg til ulik tid i vekstsesongen. Kjennskap til dette er gunstig med tanke på å få brukt kapasiteten til vanninganlegg mest mulig rasjonelt. I figur 2.12 er det satt opp en oversikt over hvordan vanning til de vanligste åkervekstene kan prioriteres til ulik tid.

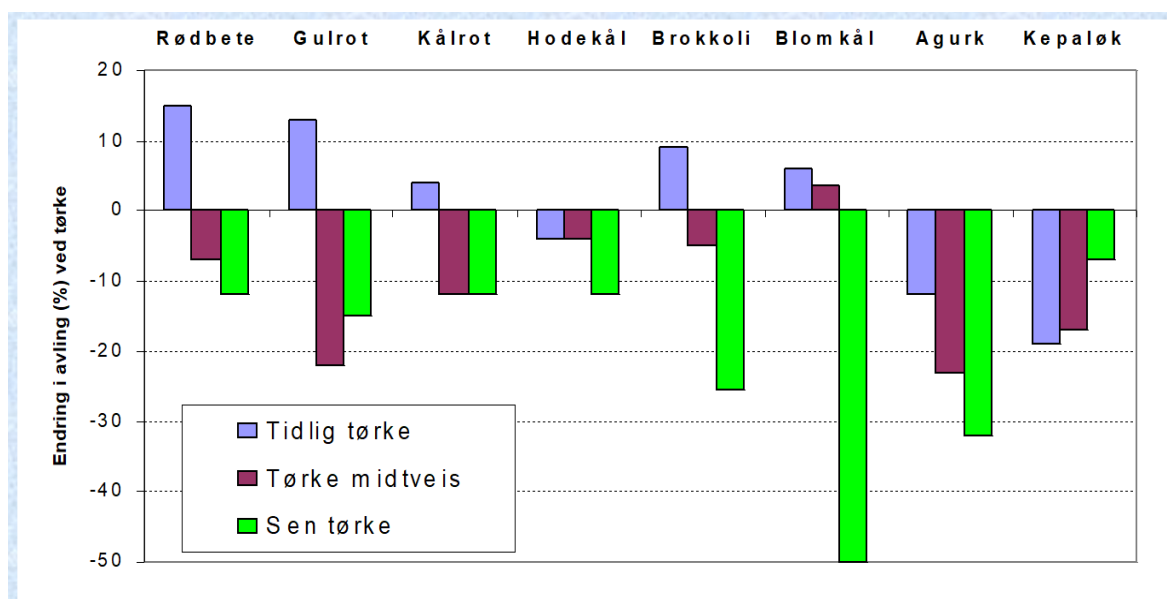
	fra spiring til 1. juni	fra 1. juni til 21. juni	fra 22. juni til 12. juli	fra 13. juli til 2. august	fram til høsting
<b>Tidligpotet</b>	Høy prioritet	Svært høy prioritet	Svært høy prioritet	Ikke behov	Ikke behov
<b>Bygg, høstkorn</b>	Middels prioritet	Høy prioritet	Middels prioritet	Lav prioritet	Ikke behov
<b>Vårhvete, havre</b>	Middels prioritet	Svært høy prioritet	Høy prioritet	Middels prioritet	Ikke behov
<b>Settepotet</b>	Middels prioritet	Høy prioritet	Svært høy prioritet	Svært høy prioritet	Middels prioritet
<b>Erter</b>	Lav prioritet	Middels prioritet	Svært høy prioritet	Høy prioritet	Lav prioritet
<b>Vårrybs</b>	Lav prioritet	Middels prioritet	Høy prioritet	Høy prioritet	Lav prioritet
<b>Sein potet</b>	Ikke behov	Lav prioritet	Høy prioritet	Svært høy prioritet	Svært høy prioritet

Figur 2.12. Forslag til prioritering av vanning til ulike åkervekster i ulike perioder, basert på normale værforhold og vekstutvikling på Østlandet.

Behovet for vanning oppstår tidligst blant kornartene, fra omkring busking fram til full aksskyting hos bygg og fram til gulmodning hos hvete og havre. Behovet hos potet avhenger av potettypen. Tidligpotet må naturligvis vannes allerede i mai dersom det er tørt. Også potet dyrket til settepoteter bør vannes tidlig for å sikre stort knollantall. Derimot kan vanning til sein potet ofte utsettes noe, med mindre det er grunn til å vanne tidlig for å unngå problem med f.eks. flatskurv og/eller kolv.

Både erter og vårrybs ser ut til å ha lav prioritet for vanning tidlig i sesongen, men hos høstraps kan behovet melde seg noe tidligere. I perioden omkring blomstring er det viktig å prioritere vanning til disse vekstene, spesielt hos erter og trolig også åkerbønner. De bør gis relativt høy prioritet også i perioden med skolmfylling.

### 2.3.2 Grønnsaker



Figur 2.13. Prosentvis avlingsendring ved tørke tidlig, midtveis og seint i veksttiden til grønnsaker.

## 3 Forventede utslag for vanning i Norge

I 30-års perioden fra midten av 1950-tallet ble det utført relativt mange feltforsøk for å måle avlingsutslagene ved vanning sammenliknet med det man oppnådde med 'naturlig nedbør' alene. Forsøk ble oftest utført i korn og potet, men det var også en del forsøk i eng. De fleste av forsøkene ble utført i Mjøsdistriktet (Østre Toten/Hedemarken) og i søndre del av Akershus. Disse var som regel på middels tørkesterk jord, men en del forsøk ble også utført på mer tørkesvak jord i Sør-Østerdal (korn) og på Frosta i Trøndelag (potet). En del av engforsøkene ble utført i det nedbørfattige Lesja-området.

I motsetning til forsøkene med kontrollerte tørkeperioder som ble beskrevet i kap. 2, var resultatene av disse forsøkene prisgitt værforholdene i vekstsesongene som de ble utført i. De enkelte forsøkene var sjelden langvarige nok til å dekke hele variasjonen i nedbørsforhold som kan forventes over en lengre årrekke. I tillegg var det varierende jordforhold mellom forsøksstedene, og dessuten store variasjoner i både hyppigheten av vanning og vannmengdene som ble brukt. Samlet sett over en årrekke, tjener likevel resultatene av disse forsøkene til å illustrere mulighetene som vanning kan gi under praktiske forhold. Det presenteres derfor en sammenstilling av avlingsresultatene fra forsøkene i avsnitt 3.1.

For å dra nytte av erfaringene oppnådd gjennom norske vanningsforsøk i videre forstand, er det laget modeller for korn, potet og gras (Riley 1989a; 1994). Disse gjør det mulig å beregne forventete effekter av hhv. tørke og vanning over lengre årrekker på jordtyper med ulik vannlagringsevne og i distrikt med ulike nedbørforhold. I avsnitt 3.2 er modellene beskrevet nærmere og det presenteres der beregninger gjort for en rekke lokaliteter med hjelp av værddata målt i tidsrommet 1973-2020.

### 3.1 Utslag for vanning målt i norske feltforsøk

Gjennomsnittlige utslag for vanning i norske feltforsøk er presentert i tabell 3.1, basert på rundt 100 feltår i hhv. korn og potet, men med langt færre for gras. For de to førstnevnte var spredningen relativt jevnt fordelt i perioden 1956-87, men for gras ble bare tre forsøk utført etter 1970. I korn ble flest forsøk utført i bygg, og disse viste noe mindre utslag for vanning enn havre og hvete. De prosentvise avlings-responsene for korn og potet var relativt like. De var betydelig høyere for gras, men dette har trolig en sammenheng med ulikheten i fordeling av forsøkene mellom år. Felles for alle vekstene var at det var stor variasjon i utslagene mellom forsøkene (feltår), med CV=40 % for korn og potet og 20 % for gras.

Variasjonene mellom år er vist i figur 3.1 for korn og figur 3.2 for potet. I disse forsøkene var det 3-5 'tørkeår' i nevnte periode, da utslagene for vanning oversteg hhv. 100 kg/daa korn og 1000 kg/daa potet. Hos begge vekstene var utslagene mindre enn hhv. 25 og 250 kg/daa i om lag halvparten av forsøkene, og i mange av disse tilfellene var utslagene negative, dvs. at vanning førte til en nedgang i avling. Slike negative utslag kan ha vært tilfeldige, men det var trolig flere som var reelle. Årsaker til at vanning noen ganger gir avlingsnedgang kan være f.eks. når det fører til økt legde i korn, eller når det kommer mye nedbør kort tid etter vanning som fører til nedvasking av nitrogen i jorda.

Spredningen i utslagene for vanning til gras (figur 3.3) viste samme mønster som for korn og potet, med små utslag i nesten halvparten av tilfellene og store utslag (>500 kg/daa) i noen få år. Alle disse forsøkene hadde to engslåtter. I dag er det nokså vanlig med 3-4 engslåtter. Det er mulig at dette vil gi mindre utslag for vanning totalt sett, da det gir flere sjanser for vekstkompensering i perioder med god vasstilgang. I forsøkene til Ekeberg (1984) gav imidlertid vanning den samme prosentvise gevinsten ved fire slåtter som ved to slåtter. I frøeng, som jo høstes bare én gang, er det ingen mulighet for vekst-kompensasjon. I et 12-årig forsøk (1958-69) med timotei (Myhr og Rognerud 1974) ble halmmenden økt ved vanning med i gjennomsnitt 42 % og frøavlingen økte med 37 %.

I tillegg til at vanning gir økninger i avlingsmengder, kan det også påvirke kvalitetsegenskaper. I korn fant Hauge mfl. (1981) varierende utslag på hektoliter- og tusenkornvekt, men som oftest en nedgang i proteinprosent. I potet fant Kirkerød (1978) betydelige økninger i stivelsesprosent og bedre lagring.

**Tabell 3.1. Gjennomsnittlig avlingsutslag for vanning i feltforsøk med og uten vanning utført i Norge (korn= kg/daa ved 15 % ts, potet=kg/daa knoller, gras=kg/daa ts. høy i sum av to slåtter)**

	<b>Bygg</b>	<b>Havre</b>	<b>Hvete</b>	<b>Middel</b>	<b>Potet</b>	<b>Gras</b>
Antall feltår	56	22	23	101	103	37
Uten vanning	359	444	398	386	3093	771
Med vanning	396	506	457	434	3507	970
Meravling	37	62	59	47	414	200
std.av. (meravl.)	55	71	83	66	583	240
% økning	10	14	15	12	13	26

Kilder:

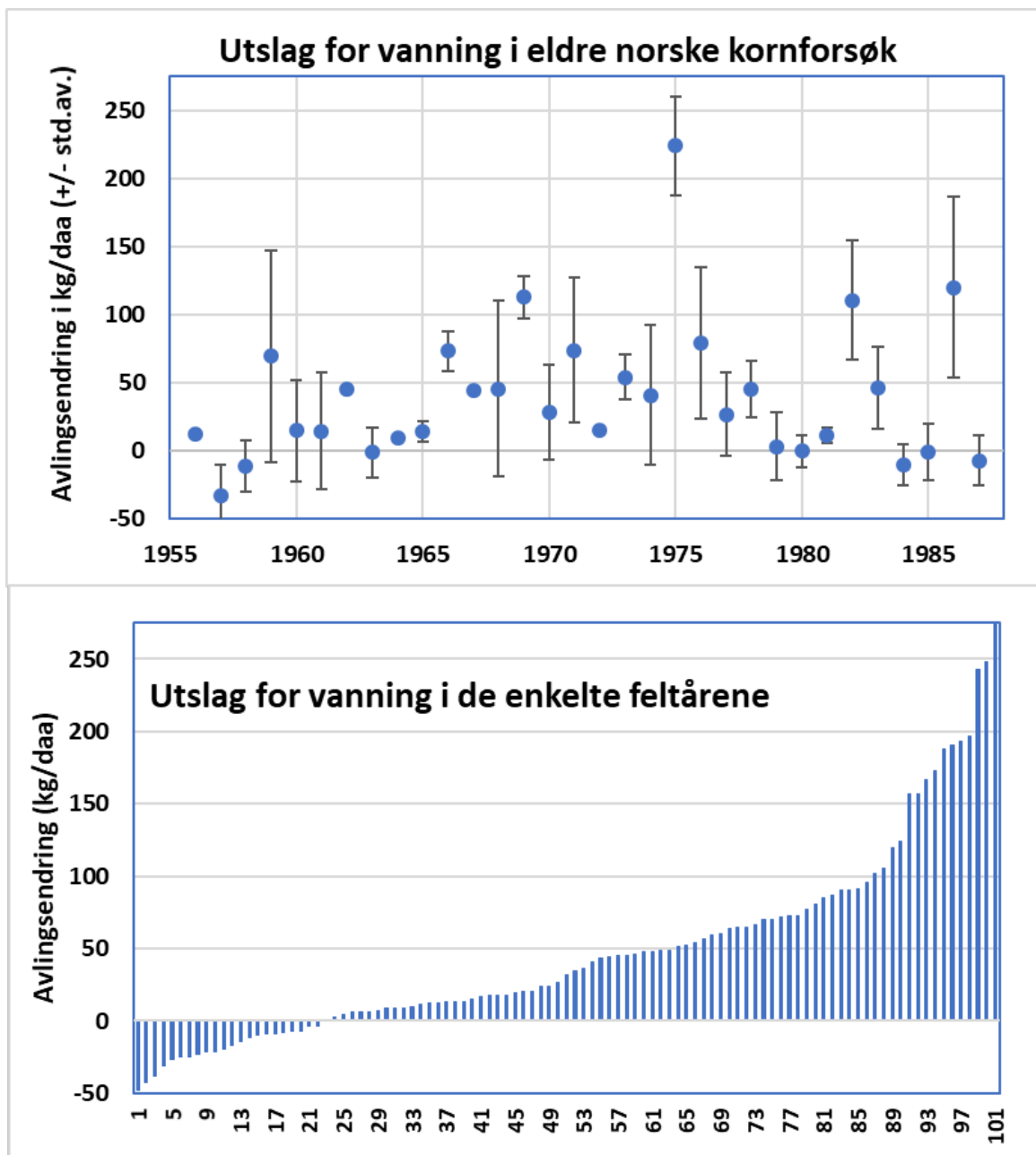
*Korn:* Myhr 1964a,1964b,1970; Myhr og Rognerud 1974; Dragland 1976a, 1979; Hauge mfl. 1981; Ekeberg 1988 og upubl.; Riley 1989a.

*Potet:* Myhr 1964a,1964b,1970; Myhr og Rognerud 1974; Dragland 1976a; Kirkerød 1978 og upubl.; Ekeberg 1986a og upubl.; Riley 1989a, 1990.

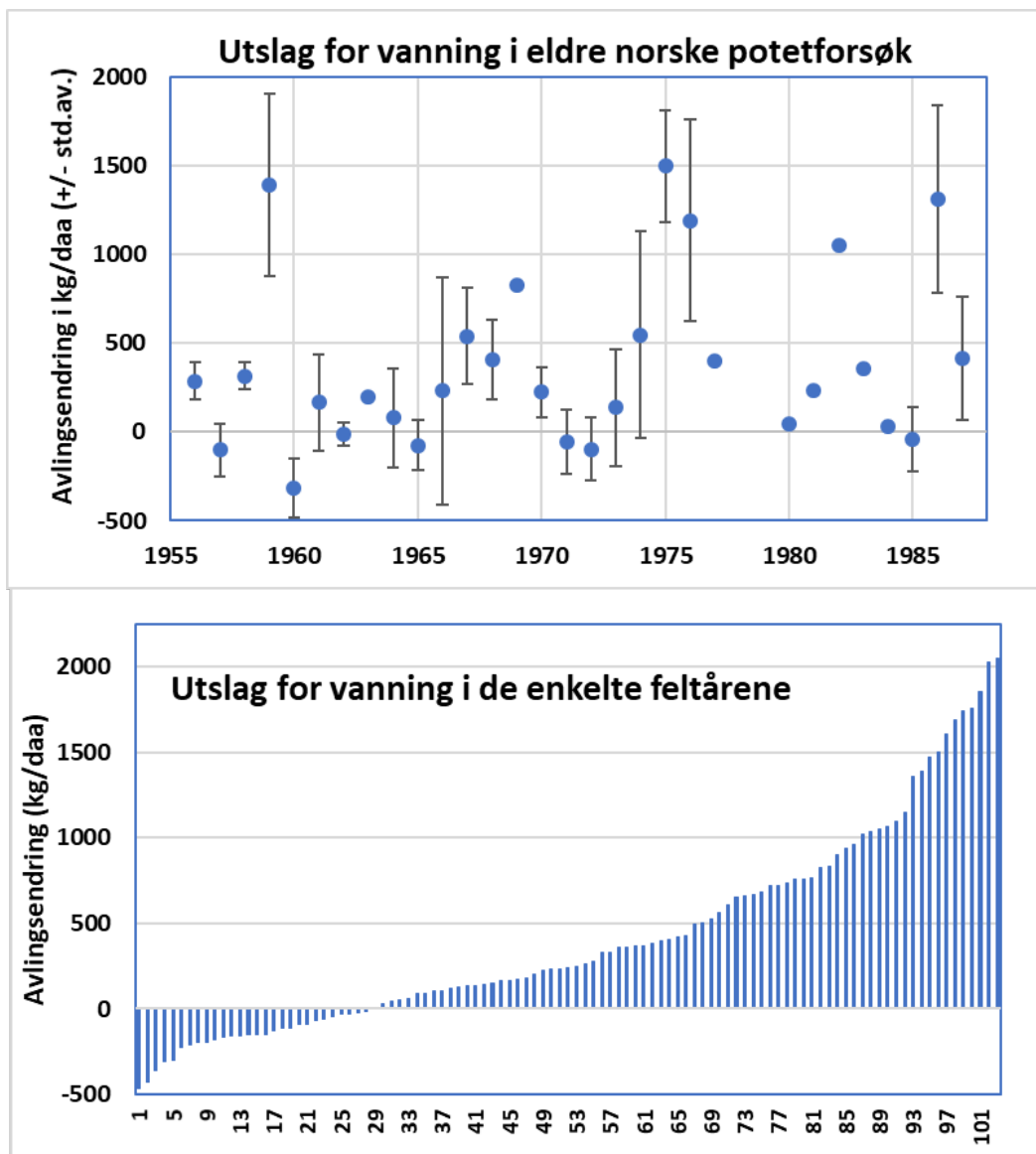
*Gras:* Rognerud og Myhr 1962; Myhr 1964a,1964b,1964c,1970; Rognerud og Vigerust 1975; Ekeberg 1984; Riley 1992.

Variasjonen i utslagene for vanning påvirkes av flere faktorer, men været i vekstsesongen, og særlig nedbørmengden, har opplagt mye å si. Et visst inntrykk av hvor mye dette betyr får man ved å plote utslagene mot nedbørsummene. Hos korn og potet var det nedbørsummene fra hhv. mai og juni og juni-august som betydde mest (figur 3.4). I kornforsøkene var det lite utslag for vanning når nedbørsummen var ca. 150 mm i mai og juni, mens ved en nedbørsum på 50 mm var det meravlinger på rundt 100 kg/daa. I potetforsøkene var det lite utslag for vanning ved nedbørsummer >275 mm i juni-august, mens ved en nedbørsum på 100 mm var det meravlinger på rundt 1000 kg/daa. Uttrykt som prosent av avlingene uten vanning, representerer 100 kg korn og 1000 kg potet økninger på 30-35 %. Liknende plottinger med prosentvise avlingsutslag forklarte imidlertid noe mindre av variasjonen.

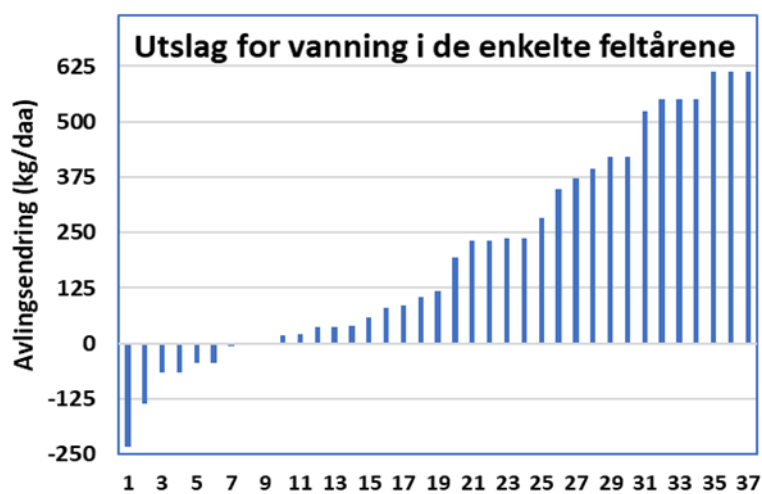
Selv om nedbørmengdene forklarer en god del av variasjonen i avlingsutslagene, særlig når man bruker middeltallene av forsøk i de ulike årene, var det fortsatt mye 'uforklart' variasjon i resultatene. I tillegg til de førnevnte faktorene som legde og utvasking, kan dette skyldes f.eks. variasjoner i jordas vannholdende evne, ulik fordeling av nedbøren, ulik fordampingsintensitet osv. Disse faktorene er forsøkt tatt hensyn til i beregningsmodellene som er omtalt i neste avsnitt.



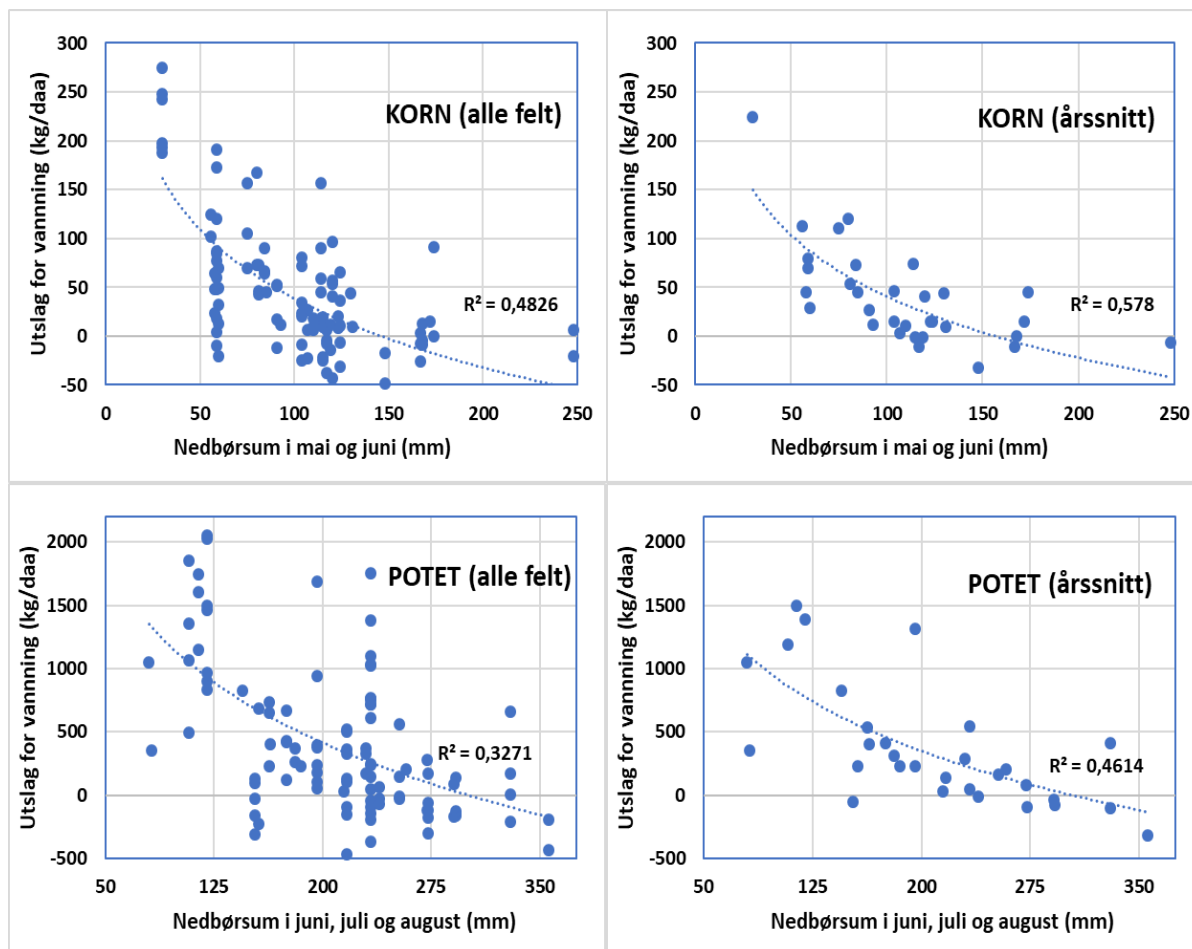
Figur 3.1. Utslag for vanning til korn (+ std.av.) i enkeltår (øverst) og rangering av utslagene fra minst til størst (nederst).



Figur 3.2. Utslag for vanning til potet ( $\pm$ std.av.) i enkeltår (øverst) og rangering av utslagene fra minst til størst (nederst).



Figur 3.3. Variasjonen av utslagene for vanning til gras, rangert fra minst til størst.



Figur 3.4. Utslagene for vanning (kg/daa) i norske korn- og potetforsøk plottet mot nedbørsummer målt på Kise i ulike deler av vekstsesongen. Tall fra alle felt til venstre og årsgjennomsnitt til høyre.

Når det gjelder grønnsaker, har det vært få forsøk som belyser gevinsten av vanning kontra naturlig nedbør. Grønnsaker dyrkes ofte på tørkesvak jord og det finnes eksempel på at vanning til grønnsaker på slik jord kan gi store gevinster. I forsøk med vanning kontra naturlig nedbør på tørkesvak jord økte vanning avlingene med 75 % hos kepaløk i 1972-73 (Dragland 1975), med 41 % hos hodekål i 1973-74 (Dragland 1976b) og med 103 % hos gulrot i 1974-76 (Dragland 1978).

Også på mer tørkesterk jord er det dokumentert større avlingsgevinst ved vanning av grønnsaker enn ved vanning av korn og potet. På slik jord fant Ekeberg (1988) at vanning til gulrot økte avlingen med 36 % i 1976-77, mens kornavlingen økte med bare 12 % og potetavlingen med 16 %. Riley (1989a) fant at vanning til gulrot og løk økte avlingene med hhv. 23 % og 36 % i 1986-87, mens korn- og potetavlingene økte med hhv. 14 % og 16 %.

Hos frukt og bær er det dokumentert betydelige utslag for vanning i forsøkene til Kongsrud på Kise (jfr. oversikten i Dragland 1976a). Gitt den store verdien av grønnsaker, frukt og bær, er det derfor sannsynlig at behovet for vanning (og lønnsomheten) er som oftest regelen snarere enn unntaket for dyrking av slike vekster i store deler av Østlandet, og trolig også i deler av Norge med mer nedbør.

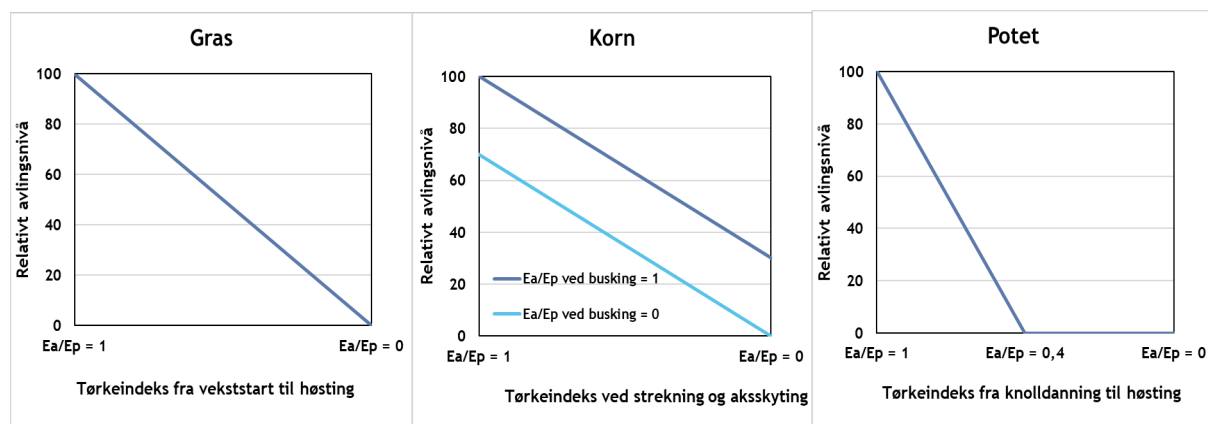


## 3.2 Modellert effekt av tørke på ulike jordtyper i ulike regioner

### 3.2.1 Beregningsmetode

Vannbalansemodellen som ble beskrevet i Kap. 2 er brukt for å beregne jordas vanninnhold til ulik tid i vekstsesongen på jord med ulik vannlagringsevne. For å estimere effekten av evt. uttørking av jorda på avlingene, brukes forholdstallet mellom aktuell og potensiell fordampning ( $E_a/E_p$ ) som en indeks på graden av tørke som oppstår. Slike modeller er tidligere utviklet i Danmark for korn, potet og gras av Gregersen og Olesen (1983). I Norge har Riley (1994) laget liknende modeller, basert på målinger gjort i forsøkene til Dragland (1979, 1984) og Riley (1989a, 1990, 1992). Summene av  $E_a$  og  $E_p$  i ulike vekstperioder ble beregnet for alle forsøksbehandlingene som inngikk i disse kontrollerte forsøk med vanning og/eller skjerming fra nedbør. Veksternes respons på tørke til ulik tid i vekstsesongen ble utledet ved multippel regresjon mot  $E_a/E_p$  i disse periodene. Begrepet *relativ avling* brukes i modellene, som et uttrykk for oppnådd avling sett i forhold til det som er mulig ved god vasstilgang. Det siste vil selvfølgelig variere mellom distrikt som følge av ulike temperatur- og jordbunnsforhold.

De ulike vekstene viser forskjellige forhold mellom relativ avling og  $E_a/E_p$  i ulike deler av veksttida (figur 3.5). For gras ble det funnet et lineært forhold mellom avling og  $E_a/E_p$ -indeksen gjennom hele vekstperioden. For korn var det perioden fra omkring busking til og med full aksskyting som så ut til være avgjørende, med størst vekt på  $E_a/E_p$  fra begynnelsen av strekning fram til aksskyting. Hos begge disse vekstene viser modellen at det blir ingen avling når  $E_a/E_p$ -forholdet er lik null gjennom hele den aktuelle vekstperioden. Hos potet var det perioden fra omkring knollsetting fram til risdød eller høsting som var viktigst. Denne veksten viste større følsomhet for tørke enn de to førstnevnte, og ifølge modellen blir det ingen knollavling allerede når  $E_a/E_p$ -forholdet i perioden når et nivå på 0,4.

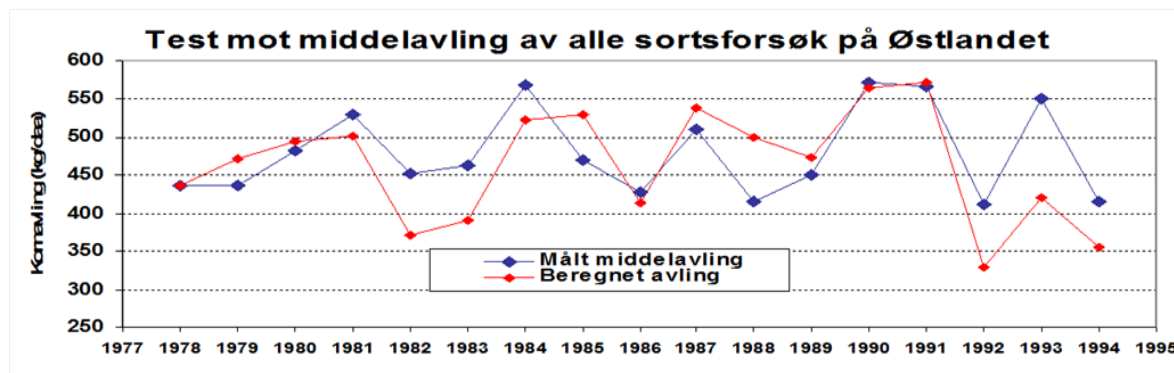


Figur 3.5. Relativt avlingsnivå hos gras, korn og potet sett i forhold til tørkeindeksen ( $E_a/E_p$ ) i ulike vekstfaser (tørkeindeksen er summen av aktuell fordampning jfr. summen av potensiell fordampning).

Styrken ved slike modeller er at de er basert på faktiske målinger under lokale forhold, men en svakhet kan være at grunnlaget ikke dekker alle situasjoner som kan inntreffe i praksis. Eksempler på dette er dårlig kornspiring, slik som mange opplevde i f.eks. 2018, eller den ekstreme varmen som har blitt mer vanlig de seinere årene og som kan føre til tvangsmodning. Modellene forteller heller ikke noe om hvorvidt tørke påvirker kvalitet, for eksempel i form av hektolitervekt i korn eller vekstsprekker i potet. Resultatene bør derfor betraktes som en pekepinn på forventete utslag av tørke, heller enn som en nøyaktig fasit.

Modellen for korn gav tilfredsstillende resultat når den ble testet mot uavhengige data fra forsøkene til Hauge mfl. (1981) og Ekeberg (1988). Ytterligere bekreftelse av modellens egnethet fikk vi ved å sammenlikne beregningene med de gjennomsnittlige kornavlingene målt i sortsforsøk på Østlandet over en årrekke (figur 3.6). Sortsforsøkene ligger som regel på god jord, og derfor ble beregningene

gjort for relativt tørkesterk jord, med bruk av værdata fra Kise. Avlingsnivået i startåret var 480 kg/daa, og en antatt 'sortsframgang' på 7 kg/daa/år ble lagt inn i modellen. Tatt i betraktning at forsøkene ble utført flere steder, hvor avlingene trolig ble påvirket av flere faktorer, synes overenstemmelsen å være ganske god.



Figur 3.6. Beregnet effekt av ulik grad av tørke på kornavlinger i perioden 1978-1994, sammenliknet med gjennomsnittlige kornavlinger målt i sortsforsøk på Østlandet i samme periode (Riley 1995).

Jordas lagringskapasitet for plantetilgjengelig vann er et sentralt begrep i modellene. Som beskrevet i Kap. 2, avhenger dette hovedsakelig av jordas tekstur, moldinnholdet og matjorddybden. Rotdybden til den aktuelle veksten spiller også inn. Under norske forhold kan kapasiteten variere fra <50 mm til >150 mm. Beregningene i neste avsnitt er gjort for fem kapasitetsnivå (tørkeklasser) som dekker de vanligste forhold. Tabell 3.2 viser eksempler på aktuelle jordarter ved hvert nivå. Alle jordarter er naturligvis ikke representert i hver lokalitet.

Tabell 3.2. Fem klasser av jord med ulik lagringskapasitet for plantetilgjengelig vann (mm)

Nr.	Tørkeklasse	mm	Noen eksempler på typiske jordarter i klassene
1	Meget tørkesvak	50	Grov- og mellomsand, grunn og moldfattig siltig sand
2	Tørkesvak	70	Sandig silt, moldfattig (planert) leirjord, grunn lettleire
3	Middels	90	Lettleire og mellomleire med middels matjorddybde
4	Tørkesterk	110	Lett- og mellomleire med djup og moldrik matjord
5	Meget tørkesterk	130	Djup siltjord og myrjord, moldrik siltig leire og stiv leire

I leirjordsdistrikt (f.eks. Vestfold og Telemark, Viken og Trøndelag) er jorda ofte i tørkeklasse 3 eller 4, mens mer siltholdig jord i f.eks. Solør kan være i tørkeklasse 4 eller 5. I morenejordsdistrikt i f.eks. Innlandet er det ofte lettleire i klasse 3, men dette varierer fra klasse 2 til 4, avhengig av bla. dybde og grusinnhold. Sandjorda i f.eks. ra-områdene og elveavsetninger på Østlandet, samt morenejord på Sør- og Vestlandet, er som regel i tørkeklasse 1 eller 2. Det finnes mange lokale variasjoner pga. ulik topografi, ulik drenering, ulik dybde til fjell eller andre forhold som hemmer rotvekst nedover i jorda.

Beregningene er gjort med værdata for perioden 1973-2020 fra de samme fire værstasjonene som vist i figurer 1.6-1.8 i første kapittel. Disse anses som representative for store deler av Østlandet, Midt-Norge og Sør-Vestlandet. Likevel forekommer det lokale variasjoner også innen disse regionene, spesielt når det gjelder nedbøren. F.eks har nedbøren fra april til september på Alvdal, ett av de tørreste områdene i Innlandet, vært ca. 14 % lavere enn på Kise i perioden 1993-2020 (hhv. 324 og 375 mm/år).

I modellen er det brukt daglige verdier av potensiell fordamping (målt eller beregnet som beskrevet i kap. 1) og med startdato 15. mars hvert år. Det er antatt at jordas vannreserver er fylt til feltkapasiet på denne datoen eller etter snøsmelting når det skjer seinere enn dette. Det er brukt samme dato for

vekststart hvert år i beregningene (grasvekst 1. mai, kornspiring 15. mai, framspiring av potet 5. juni). For gras er det brukt slåttedatoene 9. juli og 25. september for et system med to slåttetider og 18. juni, 7. august og 26. september for et system med tre slåttetider. Innenfor disse periodene er det at evt. vannmangel har samme virkning på avling. For korn er det antatt at vannmangel har virkning fram til 24. juli og for potet fram til 11. september. Bruk av standardverdier for vekstutvikling er gjort for å kunne sammenlikne resultatene mellom regioner, mens i praksis vil selvfølgelig datoene variere mellom år, avhengig av værforholdene.

### 3.2.2 Resultater

Tabell 3.3 viser de beregnede prosentvise avlingstapene hos korn og potet som følge av manglende vanning i de fem klassene av jord med ulik følsomhet for tørke. Perioden 1973-2020 er delt i to, i tillegg til at tabellen viser middeltall og standardavvik over alle år. Resultatene for disse vekstene viser samme mønster, til tross for at korn og potet er mest følsomme for tørke til ulik tid i vekstsesongen. Avlingstapene avtar naturligvis med stigende vannlagringsevne i jorda, mens de mellom regionene avtar i rekkefølgen Sør-Østlandet > Nord-Østlandet > Sør-Vestlandet > Midt-Norge. Det er likevel viktig å huske at forskjellige jordarter dominerer i ulike regioner. Det er f.eks. store areal med tørkesterk siltrik leirjord på Sør-Østlandet og i Midt-Norge, mens det på Nord-Østlandet og Sør-Vestlandet er mer utbredt med noe tørkesvak lettleire.

På Østlandet og Sør-Vestlandet var de gjennomsnittlige avlingstapene uten vanning betydelig høyere i første halvdel av perioden (før 1997) enn i den andre halvdel, mens i Midt-Norge var det motsatt. I begge periodene var det imidlertid store variasjoner mellom årene, ofte med like store eller større standardavvik enn middeltallene. Variasjonene mellom årene er vist i figur 3.7 for korn og figur 3.8 for potet. På Østlandet tyder beregningene på at virkningene av tørke var trolig vel så sterke på midten av 1970-tallet og i første halvdel av 1990-tallet som i tørkeåret 2018. Den siste halvdel av perioden var preget av mange år med relativt små utslag for tørke hos korn og potet, spesielt på Nord-Østlandet.

Middeltall for avlingstap uten vanning hos gras er vist i tabell 3.4 for høstesystem med to og tre slåtter. I dette tilfellet vises tall bare for hhv. meget tørkesvak og meget tørkesterk jord. Ved bare to slåttetider var effekten av tørke på tørkesvak jord noe større ved 1. slått enn ved 2. slått, mens på tørkesterk jord var det motsatt. Ved tre slåttetider hadde tørke størst effekt ved 2. slått, og minst effekt ved 3. slått. De samme rangeringene gjaldt for gras som for korn og potet, både mellom regioner og mellom første og andre halvdel av perioden 1973-2020. Totalt sett, dvs. middeltallene av slåttene, var effektene av tørke noe mindre for gras enn for korn og potet. Årsvariasjonene hos gras vises i figur 3.9.

Siden variasjonene mellom år er såpass store hos alle tre vekster, er det av interesse å se nærmere på fordelingen av år som man kan forvente tap av ulik størrelsesorden dersom man ikke har vanning. I tabell 3.5 er det gitt en oversikt over den prosentvise fordelingen av år med ulike tapsstørrelser.

Hos både korn og potet var de beregnete tapene på Sør-Østlandet mer enn 20 % i ca. to av tre år på meget tørkesvak jord, men i bare ett av fem år på meget tørkesterk jord. På Nord-Østlandet var tapet >20 % annethvert år på meget tørkesvak jord, men i bare sjettehvert år på meget tørkesterk jord. På Sør-Vestlandet var tapene mer enn 20 % i ca. to av fem år for korn på meget tørkesvak jord, og noe sjeldnere for potet, mens i Midt-Norge var tapene ca. femtehvert år for korn og sjettehvert år for potet. I begge de sistnevnte regionene var det svært sjeldent avlingstap pga. tørke på meget tørkesterk jord.

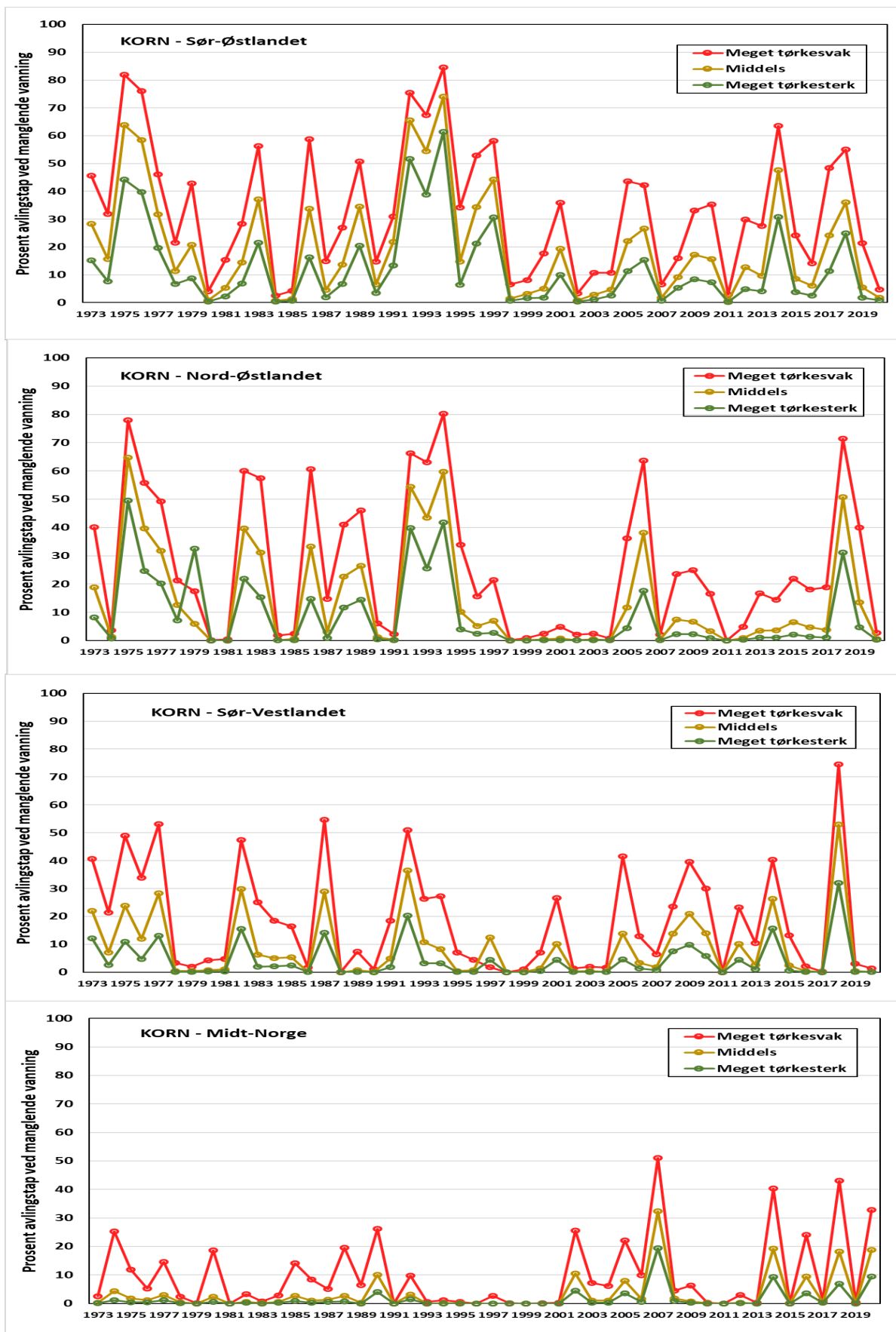
Hos gras var tapet som følge av tørke på meget tørkesvak jord større enn 20 % i halvparten av årene på Sør-Østlandet, i to av fem år på Nord-Østlandet, ca. hvert fjerde år på Sør-Vestlandet og mye sjeldnere i Midt-Norge. I de to sistnevnte regionene var det også for gras nesten aldri noen stor virkning av tørke på tørkesterk jord.

Tabell 3.3. Beregnete prosentvise tap av korn- og potetavling ved manglende vanning i periodene 1973-1996 og 1997-2020, samt middel av alle år, på fem klasser av jord med ulik tørkefølsomhet

KORN	Meget	Tørkesvak	Middels	Tørkesterk	Meget
Sør-Østlandet	tørkesvak				tørkesterk
1973-1996	40,3	33,5	27,0	21,6	17,3
1997-2020	25,8	18,7	13,6	10,1	7,6
<b>Middel (alle år)</b>	<b>33,1</b>	<b>26,1</b>	<b>20,3</b>	<b>15,8</b>	<b>12,5</b>
<i>std.av. (alle år)</i>	23,2	21,8	19,5	17,1	14,7
<b>Nord-Østlandet</b>					
1973-1996	34,1	27,2	21,1	16,3	14,0
1997-2020	17,1	10,8	6,9	4,5	3,1
<b>Middel (alle år)</b>	<b>25,6</b>	<b>19,0</b>	<b>14,0</b>	<b>10,4</b>	<b>8,6</b>
<i>std.av. (alle år)</i>	24,9	22,0	18,4	15,1	12,9
<b>Sør-Vestlandet</b>					
1973-1996	21,6	14,6	9,8	6,6	4,6
1997-2020	15,2	11,5	7,9	5,5	3,9
<b>Middel (alle år)</b>	<b>18,4</b>	<b>13,1</b>	<b>8,8</b>	<b>6,0</b>	<b>4,3</b>
<i>std.av. (alle år)</i>	19,0	15,5	11,8	8,9	6,6
<b>Midt-Norge</b>					
1973-1996	7,5	3,1	1,5	0,8	0,5
1997-2020	11,7	7,8	5,1	3,5	2,5
<b>Middel (alle år)</b>	<b>9,6</b>	<b>5,5</b>	<b>3,3</b>	<b>2,1</b>	<b>1,5</b>
<i>std.av. (alle år)</i>	12,7	9,3	6,5	4,7	3,5
<b>POTET</b>					
<b>Sør-Østlandet</b>					
1973-1996	51,8	42,7	34,6	28,2	22,7
1997-2020	27,4	19,6	14,2	10,3	7,6
<b>Middel (alle år)</b>	<b>39,6</b>	<b>31,2</b>	<b>24,4</b>	<b>19,2</b>	<b>15,2</b>
<i>std.av. (alle år)</i>	29,6	28,6	26,3	23,8	20,6
<b>Nord-Østlandet</b>					
1973-1996	47,4	37,0	28,9	22,6	17,7
1997-2020	20,5	12,8	7,7	4,9	3,0
<b>Middel (alle år)</b>	<b>33,9</b>	<b>24,9</b>	<b>18,3</b>	<b>13,7</b>	<b>10,4</b>
<i>std.av. (alle år)</i>	32,2	28,9	24,8	20,8	17,3
<b>Sør-Vestlandet</b>					
1973-1996	21,6	13,6	8,5	5,4	3,6
1997-2020	11,0	6,5	4,0	2,7	1,9
<b>Middel (alle år)</b>	<b>16,3</b>	<b>10,0</b>	<b>6,2</b>	<b>4,1</b>	<b>2,8</b>
<i>std.av. (alle år)</i>	17,1	12,5	8,7	6,0	4,3
<b>Midt-Norge</b>					
1973-1996	5,3	2,3	1,3	0,8	0,5
1997-2020	15,7	9,2	5,4	3,4	2,3
<b>Middel (alle år)</b>	<b>10,5</b>	<b>5,7</b>	<b>3,3</b>	<b>2,1</b>	<b>1,4</b>
<i>std.av. (alle år)</i>	13,7	9,0	5,8	3,9	2,7

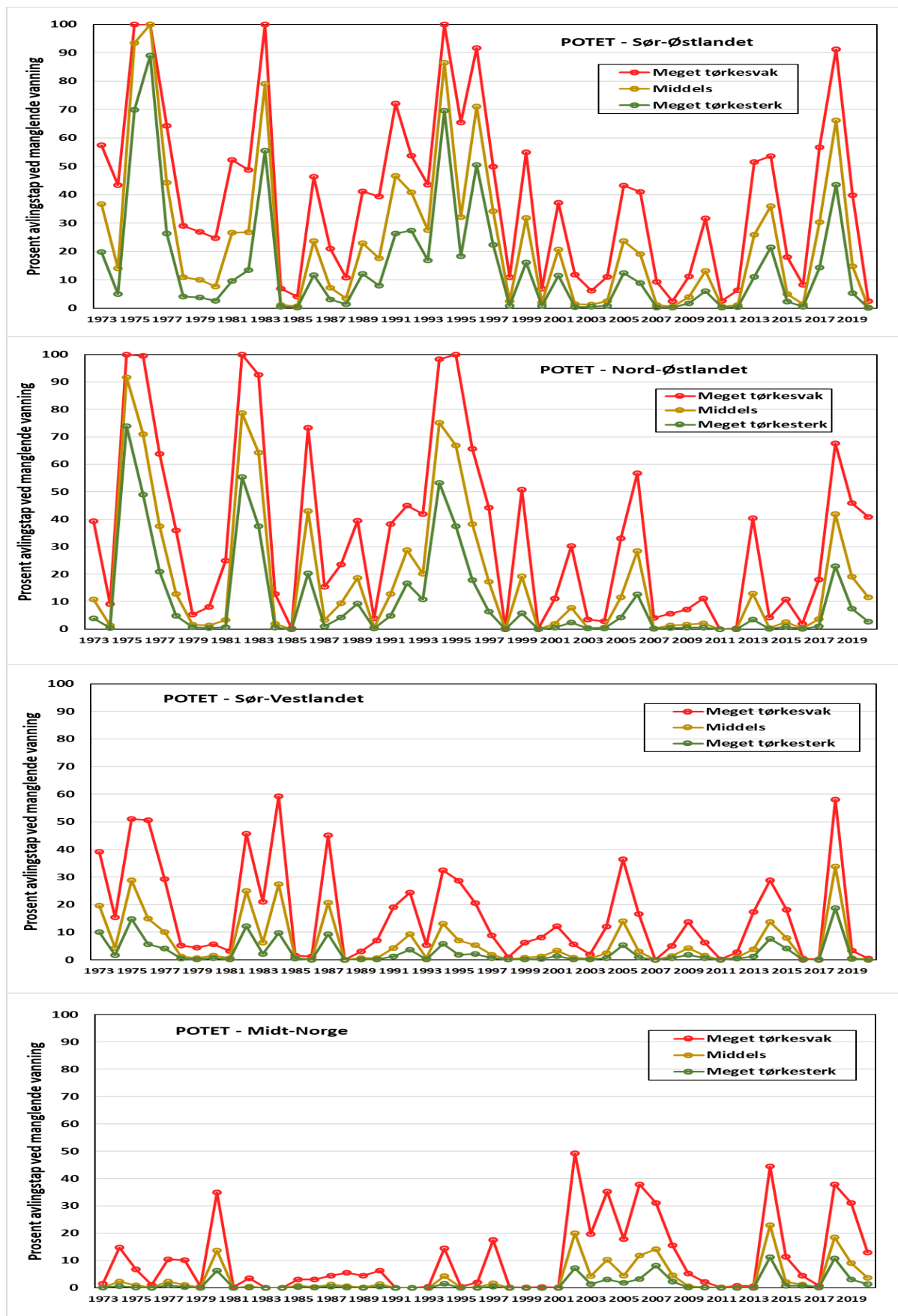
Tabell 3.4. Beregnete prosentvise tap av grasavling ved manglende vanning i 1973-1996 og 1997-2020, samt middel av alle år, ved to slåttesystem på meget tørkesvak og meget tørkesterk jord

TO SLÅTTER	Meget tørkesvak jord		Meget tørkesterk jord			
	1. slått	2. slått	1. slått	2. slått		
<b>Sør-Østlandet</b>						
1973-1996	34,5	28,3	13,2	19,8		
1997-2020	21,4	13,3	5,9	6,5		
<b>Middel (alle)</b>	<b>28,0</b>	<b>20,8</b>	<b>9,5</b>	<b>13,1</b>		
<i>std.av. (alle)</i>	<i>17,3</i>	<i>18,5</i>	<i>10,3</i>	<i>16,5</i>		
<b>Nord-Østlandet</b>						
1973-1996	28,0	23,8	8,4	13,3		
1997-2020	13,8	11,0	1,8	3,2		
<b>Middel (alle)</b>	<b>20,9</b>	<b>17,4</b>	<b>5,1</b>	<b>8,3</b>		
<i>std.av. (alle)</i>	<i>16,6</i>	<i>19,0</i>	<i>8,1</i>	<i>14,4</i>		
<b>Sør-Vestlandet</b>						
1973-1996	17,4	10,3	3,2	3,8		
1997-2020	15,8	5,1	3,5	2,3		
<b>Middel (alle)</b>	<b>16,6</b>	<b>7,7</b>	<b>3,3</b>	<b>3,0</b>		
<i>std.av. (alle)</i>	<i>15,2</i>	<i>9,3</i>	<i>4,7</i>	<i>4,6</i>		
<b>Midt-Norge</b>						
1973-1996	8,8	2,2	0,8	0,3		
1997-2020	10,1	10,1	2,3	3,8		
<b>Middel (alle)</b>	<b>9,4</b>	<b>6,1</b>	<b>1,5</b>	<b>2,0</b>		
<i>std.av. (alle)</i>	<i>10,8</i>	<i>10,8</i>	<i>2,9</i>	<i>5,8</i>		
TRE SLÅTTER	Meget tørkesvak jord			Meget tørkesterk jord		
<b>Sør-Østlandet</b>	1. slått	2. slått	3. slått	1.s slått	2. slått	3. slått
1973-1996	29,0	38,2	20,1	7,9	23,2	14,1
1997-2020	19,5	23,0	6,2	4,4	9,8	3,1
<b>Middel (alle)</b>	<b>24,3</b>	<b>30,6</b>	<b>13,1</b>	<b>6,1</b>	<b>16,5</b>	<b>8,6</b>
<i>std.av. (alle)</i>	<i>18,3</i>	<i>22,2</i>	<i>18,9</i>	<i>7,7</i>	<i>18,3</i>	<i>15,0</i>
<b>Nord-Østlandet</b>						
1973-1996	19,8	32,1	17,6	3,5	15,7	9,8
1997-2020	10,3	16,8	7,7	1,0	4,5	1,5
<b>Middel (alle)</b>	<b>15,0</b>	<b>24,5</b>	<b>12,6</b>	<b>2,2</b>	<b>10,1</b>	<b>5,7</b>
<i>std.av. (alle)</i>	<i>14,3</i>	<i>23,7</i>	<i>19,3</i>	<i>3,5</i>	<i>15,9</i>	<i>12,4</i>
<b>Sør-Vestlandet</b>						
1973-1996	11,8	21,6	5,5	1,5	6,6	1,8
1997-2020	13,2	14,1	1,0	2,0	5,3	0,4
<b>Middel (alle)</b>	<b>12,5</b>	<b>17,9</b>	<b>3,3</b>	<b>1,8</b>	<b>6,0</b>	<b>1,1</b>
<i>std.av. (alle)</i>	<i>13,6</i>	<i>17,6</i>	<i>8,1</i>	<i>2,8</i>	<i>8,6</i>	<i>2,6</i>
<b>Midt-Norge</b>						
1973-1996	6,3	6,4	1,4	0,4	0,6	0,0
1997-2020	8,5	13,8	5,9	1,3	4,4	2,5
<b>Middel (alle)</b>	<b>7,4</b>	<b>10,1</b>	<b>3,6</b>	<b>0,9</b>	<b>2,5</b>	<b>1,3</b>
<i>std.av. (alle)</i>	<i>9,6</i>	<i>12,8</i>	<i>8,0</i>	<i>2,0</i>	<i>5,9</i>	<i>4,6</i>

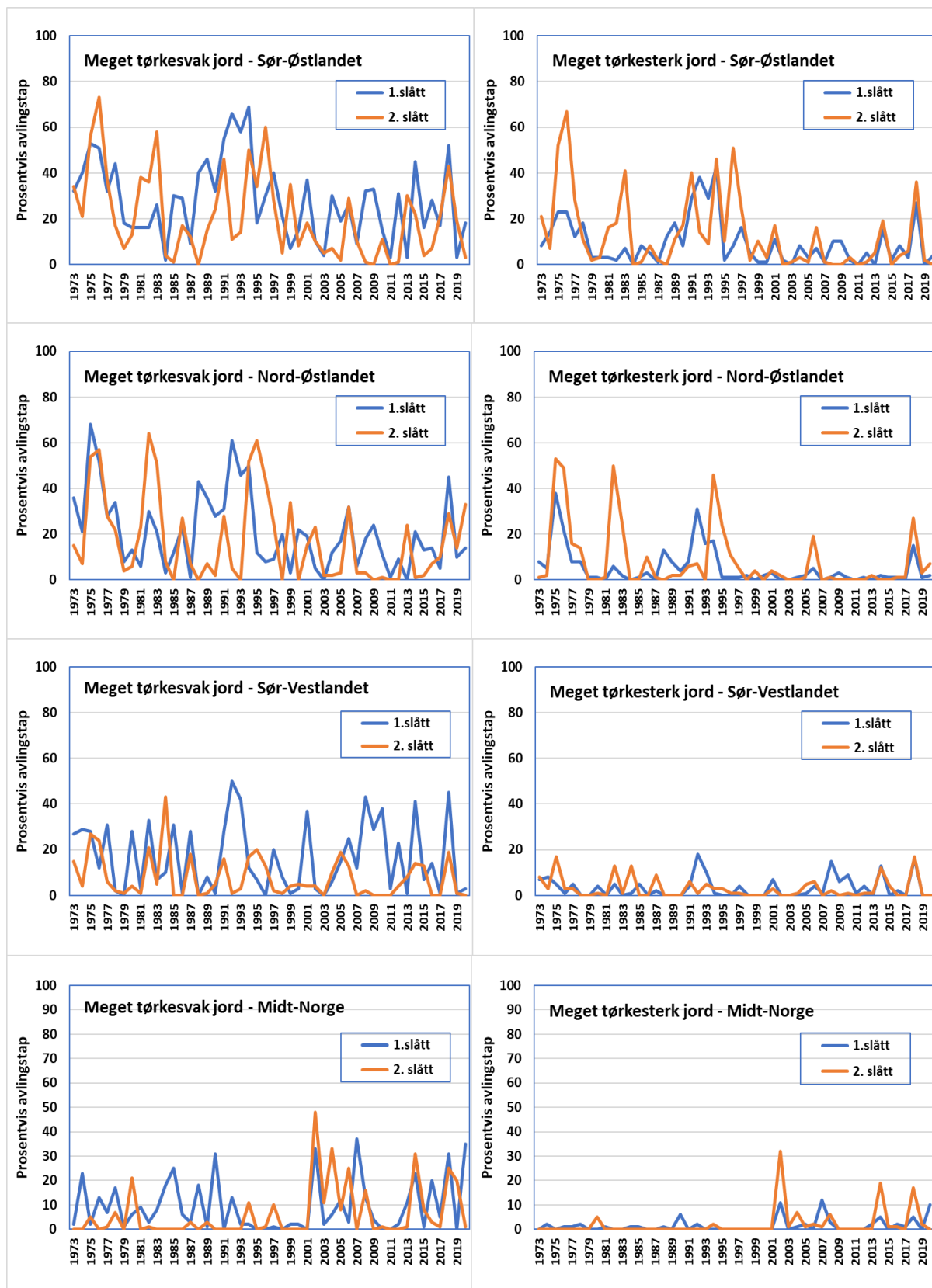


Figur 3.7. Årlig variasjon i beregnet prosentvis tap av kornavling ved manglende vanning i perioden 1973-2020 på jord med ulik tørkefølsomhet.





Figur 3.8. Årlig variasjon i beregnet prosentvise tap av potetavling ved manglende vanning i perioden 1973-2020 på jord med ulik tørkefølsomhet.



Figur 3.9. Årlig variasjon i beregnet prosentvis tap av grasavling ved manglende vanning i et system med to slåtter i perioden 1973-2020 på meget tørkesvak og meget tørkesterk jord.

Tabell 3.5. Prosentvis fordeling av størrelsen på avlingstap ved manglende vanning hos korn, potet og gras<sup>1</sup> i ulike regioner<sup>2</sup> i perioden 1973-2020 på meget tørkesvak jord og meget tørkesterk jord

KORN	Region	<6% tap	6-20% tap	21-35% tap	36-50% tap	>50% tap
Meget tørkesvak jord	SØ	13	23	25	15	25
	NØ	35	19	13	13	21
	SV	40	21	19	13	8
	MN	56	25	13	4	2
Meget tørkesterk jord	SØ	44	35	10	6	4
	NØ	67	17	10	6	0
	SV	79	19	2	0	0
	MN	92	8	0	0	0
<b>POTET</b>						
Meget tørkesvak jord	SØ	8	25	10	23	33
	NØ	27	19	8	21	25
	SV	42	27	13	10	8
	MN	58	25	8	8	0
Meget tørkesterk jord	SØ	46	31	10	4	8
	NØ	67	17	4	6	6
	SV	85	15	0	0	0
	MN	90	10	0	0	0
<b>GRAS</b>						
Meget tørkesvak jord	SØ	6	44	31	13	6
	NØ	13	48	25	8	6
	SV	35	42	23	0	0
	MN	52	42	4	2	0
Meget tørkesterk jord	SØ	48	35	10	6	0
	NØ	67	23	8	2	0
	SV	81	19	0	0	0
	MN	92	6	2	0	0

1) Høstesystem med to slåtter

2) SØ= Sør-Østlandet NØ= Nord-Østlandet SV= Sør-Vestlandet MN= Midt-Norge

## 4 Miljøhensyn, ressursbruk og økonomi

### 4.1 Miljøhensyn

Ved siden av å gi økte avlinger, kan vanning ha en positiv virkning dersom det fører til bedre utnyttelse av næringsstoffer som tilføres i gjødsel. Dette vil redusere risikoen for utvasking av f.eks. nitrogen (N) utenom vekstsesongen. Opptakene av tilført næring som er målt ved naturlig nedbør og endringene som følge av vanning er belyst i tabell 4.1, på grunnlag av en rekke norske vanningsforsøk med ulike vekster. Opptakene av fosfor (P) og kalium (K) var som regel større ved vanning enn ved naturlig nedbør, mens resultatene for N var mer variable. Det ser ut til at meropptakene av næring ofte var større hos grønnsaker enn hos potet og korn.

Tabell 4.1. Opptak av N, P og K ved naturlig nedbør og endringene i opptakene ved vanning målt hos ulike vekster i en del norske vanningsforsøk (alle tall er kg/daa/år)

Vekst	Forsøksår	N-opptak		P-opptak		K-opptak		Datakilde
		Nat.nedb.	Vannet	Nat.nedb.	Vannet	Nat.nedb.	Vannet	
Kepaløk	1972-73	6,1	+3,9	1,4	0,7	4,8	+3,1	Dragland 1975
Hodekål	1972-74	13,3	+1,7	2,1	+0,6	13,9	+3,6	Dragland 1976b
Gulrot	1974-76	4,6	+3,1	0,8	+1,0	10,2	+9,5	Dragland 1978a
Potet	1985-87	9,5	+0,4	2,0	+0,2	15,5	+0,8	Riley 1989a
Potet	1976-85	9,1	+0,2	2,1	+0,3	15,3	+1,2	Ekeberg 1986ab, '88
Bygg	1977-78	9,6	-0,5	-	-	-	-	Dragland 1979
Bygg	1974-77	9,4	+0,4	-	-	-	-	Hauge mfl. 1981
Bygg	1976-85	6,8	-0,2	1,5	+0,1	2,0	+0,1	Ekeberg 1988, upubl.
Bygg	1985-87	7,5	+1,0	-	-	-	-	Riley 1989a
Hvete	1977-78	7,3	+2,3	-	-	-	-	Dragland 1979
Hvete	1974-77	9,6	+1,8	-	-	-	-	Hauge mfl. 1981
Hvete	1980-85	7,0	-0,1	1,4	+0,1	1,5	0,1	Ekeberg 1988, upubl.
Hvete	1985-87	8,7	+0,6	-	-	-	-	Riley 1989a
Havre	1974-77	9,5	+1,4	-	-	-	-	Hauge mfl. 1981
Havre	1980-85	7,6	+0,1	1,7	+0,1	2,1	+0,1	Ekeberg 1988, upubl.

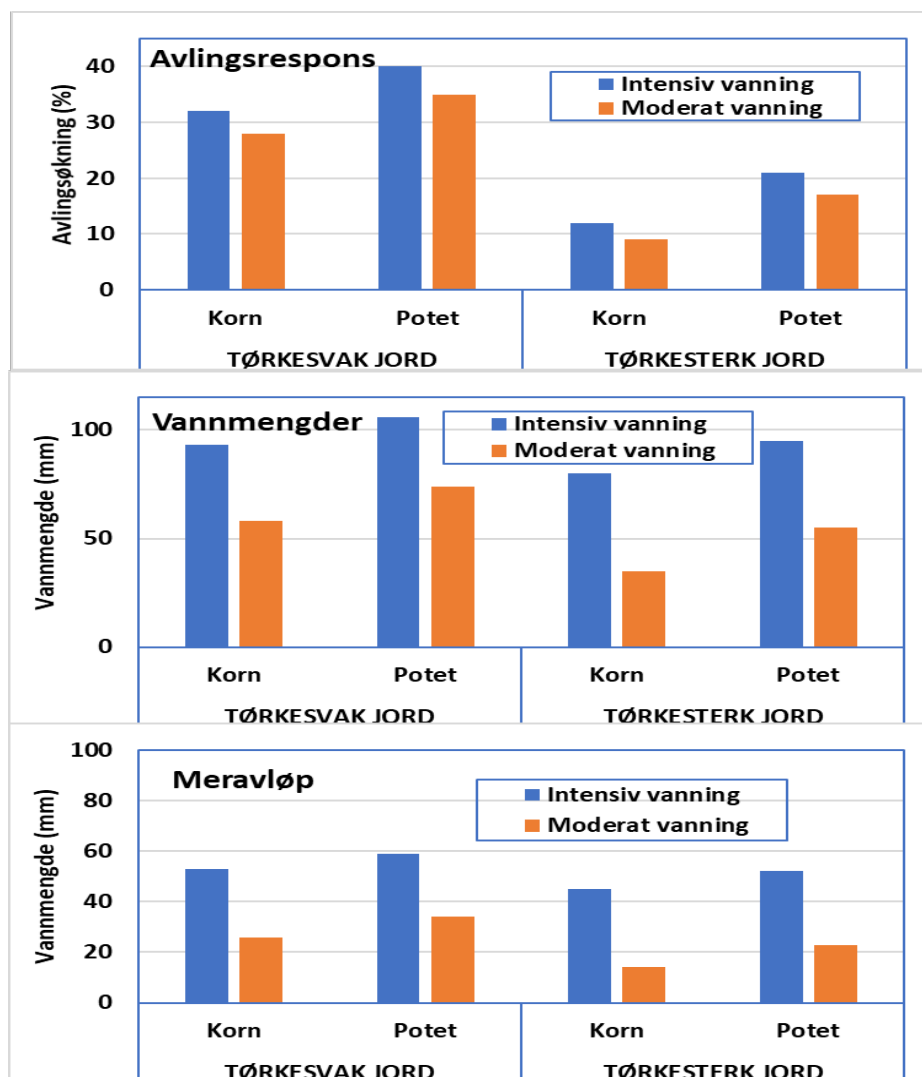
Effekten av vanning på næringsopptak er selvfølgelig også avhengig av værforholdene i forsøksårene. Meropptaket av N i korn var større i perioden på midten av 1970-tallet, da det var flere tørkeår, enn i første halvdel av 1980-tallet, da det var lite tørke. Dessuten skjer det i korn en fortykning av proteininnhold ved økt avling som begrenser meropptaket av N. Vanning reduserte ofte proteininnholdet med 1-3 %-enheter, som tilsvarer en reduksjon i N-innhold med ca. 10-20 %. Det ser heller ikke ut til at vanning gir noe særlig økning i opptaket av N i halmen. I gjennomsnitt av 8-10 år var det i forsøket til Ekeberg (1988) samme opptak av N i halmen både med og uten vanning (ikke vist i tabellen).

Vanning kan også ha betydning for gjødslingspraksis. I noen relativt tørre år fant Ekeberg (1982) at gjødselplassering i såbedet kontra på overflaten økte kornavling mer med bruk av vanning enn uten (hhv. 8 % og 2 %). På tilsvarende måte fant han at gjødselplassering til potet gav større utslag i fuktige år enn i tørre år (Ekeberg 1986c). Enkelte mener at gjødselplassering er mindre viktig når man vanner. Nevnte resultat viser imidlertid at det, for å dra best mulig nytte av vanning, er viktig at plantene har god tilgang på næring tidlig i vekstsesongen.

Et resultat som peker i samme retning ble funnet i tørkeåret 1986, da vanning førte til en langt større økning i det totale N-opptaket hos byggplanter når all gjødsla (10 kg N/daa) ble gitt om våren enn ved bruk av delgjødsling (6 kg ved såing + 4 kg seinere). I dette forsøket ble det uten vanning målt ca. 4 kg/daa mer mineralsk-N i jorda (0-40 cm) ved høsting enn etter vanning. Det var størst forskjell etter sein delgjødsling og minst når all gjødsla ble tilført ved såing (Riley, unpubl.). Et annet forsøk på Kise viste at sein delgjødsling (ca. 20. juli) økte proteininnholdet i hvete når det ble vannet, mens uten vanning hadde delgjødsling på det tidspunktet liten virkning (Ekeberg 1989).

Vanningsmengden bør imidlertid tilpasses både nedbørunderskuddet og jordas evne til å lagre vannet. Vanning kan jo øke risikoen for utvaskingstap dersom det kommer mye nedbør kort tid etter at det har blitt vannet. Meravløpet som vanning fører til kan beregnes med f.eks. vannbalansmodellen nevnt tidligere i denne rapporten (kap. 1.2 og 3.2). Figur 4.1 viser noen eksempel på hvordan valg av ulike vanningsstrategier kan påvirke avlingsrespons, vanningsmengder og meravløp hos korn og potet.

Strategien med 'intensiv' vanning innebar at det ble vannet i tørkefølsomme vekstfaser hver gang underskuddet nådde 25 % av jordas vannlagringskapasitet. Ved 'moderat' vanningsstrategi ble vanning utsatt til underskuddet nådde 50 % eller 75 % i hhv. tidlige og seine tørkefølsomme vekstfaser. Valg av vanningsstrategi hadde relativt liten effekt på de gjennomsnittlige avlingsresponsene over 25 år, men det betydde mye for vannmengdene som ble brukt og for meravløpene som vanning forårsaket.

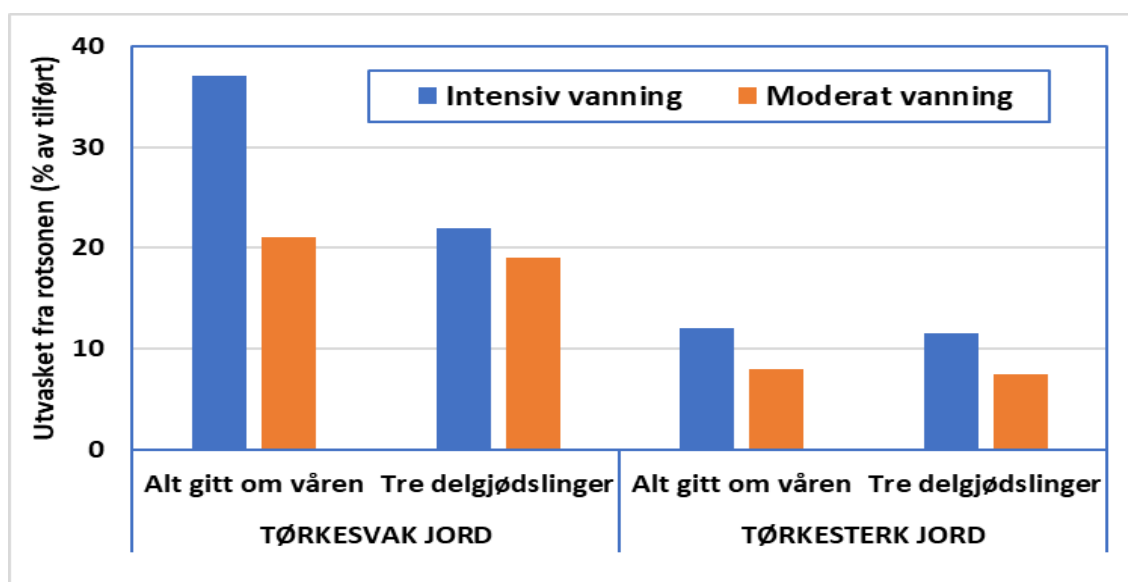


Figur 4.1. Simulert avlingsrespons (%) hos korn og potet ved ulike vanningsstrategier, samt vannmengdene tilført og meravløpene som dette medførte. Beregningene er gjort for tørkesvak og tørkesterk jord med værdata for perioden 1963-1988 ved Kise, Nes på Hedmark (Kilde: Riley 1989b).

Det er naturligvis størst risiko for at vanning fører til utvasking på tørkesvak jord og i distrikt med mye nedbør. I Norge er dette ofte tilfelle i kystnære områder, sammenliknet med innlandsdistrikt. Hvordan dette kan slå ut har man funnet i forsøk med N-gjødsling til hodekål utført etter samme forsøksplan på lettleire ved Kise (Nes på Hedmark) og på sandjord ved Landvik (Agder). I disse forsøkene ble det vannet oftere på sandjorda enn på lettleire fordi sandjorda tørket raskere ut, selv om det var betydelig mer nedbør i det kystnære distriktet Landvik enn i innlandsdistriktet Kise.

N-mengden som gav størst avling var begge steder ca. 30 kg N/daa, men det ble oppnådd dobbelt så stor avling på Kise som på Landvik (Riley og Guttormsen 1993). Gjenvinningen av tilført N-gjødsel var hhv. 69 % på Kise og 29 % på Landvik. Årsaken til denne forskjellen lå trolig i at mye av nitrogenet tilført på sandjorda ble nedvasket til under rotsonen. Ved hjelp av en simuleringsmodell (Greenwood og Draycott 1989), ble utvaskingstapene i løpet av veksttiden beregnet til ca. 70 % av den tilførte N-mengden på Landvik mot bare 10 % på Kise (Riley og Guttormsen 1994).

Andre simuleringer har vist at vanningsstrategien har vel så stor betydning for utvasking som jordtype og værforhold og at det er spesielt viktig med delgjødsling på sandjord for å begrense N-tap i veksttiden. Figur 4.2 viser et eksempel med hodekål, beregnet for vanningsstrategier og gjødslingsmåter på hhv. sandjord (tørkesvak) og lettleire (tørkesterk). På den tørkesvake jorda kan nedvasking begrenses enten ved å velge mindre intensiv vanning eller ved å bruke flere delgjødslinger. På mer tørkesterk jord ser det ut til at bruk av delgjødsling betyr relativt lite for nedvaskingsrisikoen.



Figur 4.2. Eksempel på prosentandelen av N-gjødsel tilført på ulike måter til hodekål som utvaskes fra rotsonen ved ulike vanningsstrategier og ved ulik fordeling av N-gjødselen (alt gitt om våren, eller delt med 50 % om våren og 25 % etter hhv. 3 og 6 uker). Simuleringer for tørkesvak og tørkesterk jord med gjennomsnittlige værdener fra Kise, Nes på Hedmark (Kilde: Riley og Guttormsen 1994).

Vanning kan altså ha både positive og negative effekter på miljøet. Forutsatt at en unngår overdrevent hyppig vanning, kan man forvente noe bedre utnyttning av tilførte næringsstoffer. Ved hyppig vanning kan det imidlertid være økt risiko for at vanning fører til utvasking av nitrogen fra rotsonen. Denne risikoen er spesielt stor på lett jord i kystnære strøk med mye nedbør, og slik nedvasking er spesielt uheldig hos vekster med et grunt rotsystem som f.eks. kepaløk. Det er derfor viktig å tilpasse vanningsstrategien etter både vekstslag og jordart. For å sikre seg mot avrenning forårsaket av 'uventet' nedbør som kommer kort tid etter vanning, er det trolig best å begrense vannmengdene slik at man ikke fyller jorda helt til feltkapasitet hver gang man vanner.



## 4.2 Ressursbruk

Mengdene av vann som trengs pr. dekar ved vanning av et utvalg av vanlige vekster i ulike regioner av Norge ble estimert av Riley og Berentsen (2009) med vannbalansemodulen i EU-Rotate\_N modellen. Denne vannbalansemodulen er basert på anbefalingene til FAO (Allen m.fl. 1998). Det ble brukt de samme værdedataene som er presentert i Kap. 1 (figur 1.6) for å representere fire regioner: Sør-Østlandet (Ås), Nord-Østlandet (Kise), Sør-Vestlandet (Særheim) og Midt-Norge (Kvithamar). Dataene dekker 36 år, med halvparten fra normalperioden 1961-1990 og halvparten fra perioden 1991-2020.

Beregningene ble gjort for to jordtyper, betegnet her som 'tørkesvak' og 'tørkesterk', med hhv. 60 mm og 100 mm plantetilgjengelig vannlagringskapasitet. Sammenliknet med tørkeklassene brukt i Kap. 3, ligger disse altså mellom hhv. tørkeklassene 1 og 2 og tørkeklassene 3 og 4. Fire vekstslag ble valgt for å representere vekster med behov for vanning i ulike deler av vekstsesongen: Tidligpotet, vårkorn, sein potet og sein gulrot. Førstnevnte er representativ også for tidlige grønnsakskulturer mens sistnevnte er representativ også for vinterkål. Aktuelle vanningsperioder for disse vekstene ble satt til 10.5–25.6 for tidligpotet, 25.5-24.7 for vårkorn, 15.6-25.8 for sein potet og 1.7-7.10 for sein gulrot. I disse periodene ble det tatt utgangspunkt i at behov for vanning oppstod hver gang underskuddet nådde 50 % av jordas lagringskapasitet, dvs. ved 30 mm underskudd på tørkesvak jord og ved 50 mm på tørkesterk jord.

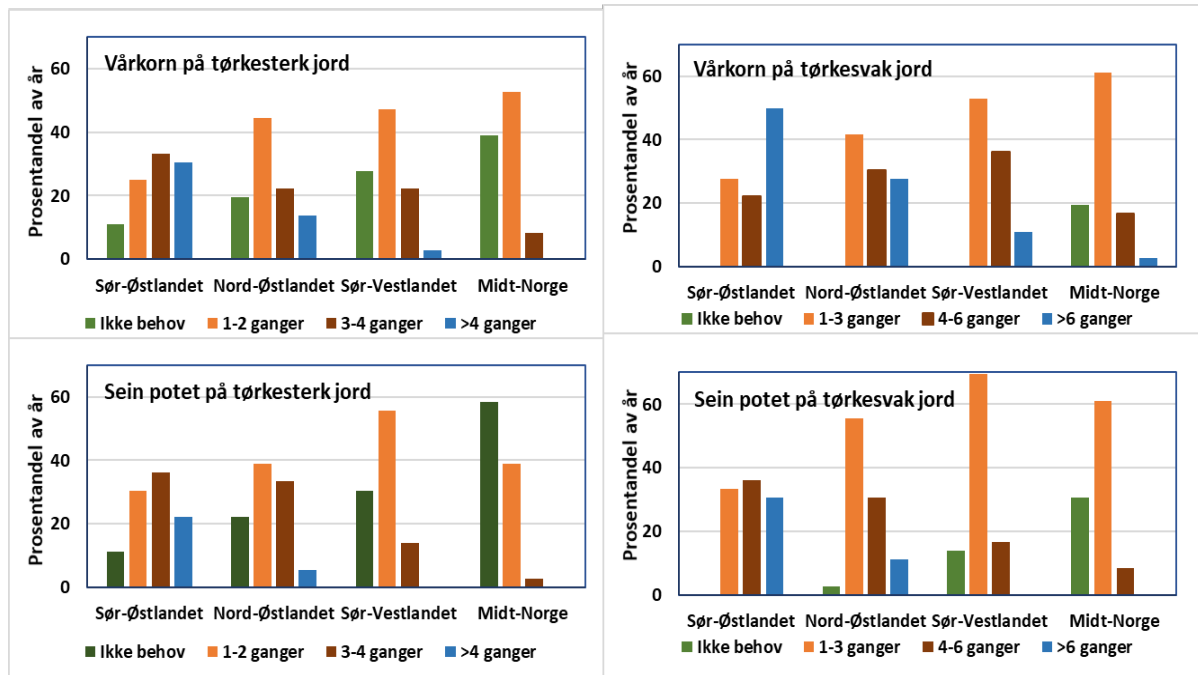
Ved hver vanning ble det tilført vannmengder som tilsvarte halvparten av underskuddet, hhv. 15 mm og 25 mm. Disse valgene ble gjort for å representere noenlunde vanlig praksis hos dyrkerne. Som en sjekk på om modellestimatene var representative for det som brukes i praksis, ble estimatene sammenliknet med vannmengdene levert over 19 år fra fire store vanningsanlegg i Mjøsregionen. Disse anleggene forsyner dyrkere med et totalareal på til sammen 26,5 tusen dekar. Estimaten viste rimelig samsvar med vannmengdene levert fordelt på areal, med R<sup>2</sup>-verdier fra 0,57 til 0,83. En viss overestimering i år med stort behov skyldes trolig tekniske eller økonomiske begrensinger i praksis.

De midlere vanningsbehovene er presentert i tabell 4.2 med tilhørende standardavvik. Sistnevnte var som regel svært store sett i forhold til de gjennomsnittlige behovene. Tallene viser størst behov for vanning på Sør-Østlandet og noe mindre på Nord-Østlandet. Selv om det er noe mindre nedbør i sistnevnte region, er det et større fordampingskrav i det sørlige området som følge av høyere temperatur og innstråling samt mer vind enn i innlandsområdet. På Sør-Vestlandet er behovene ofte under halvparten så store som på Sør-Østlandet, og de er enda mindre i Midt-Norge. Vårkorn er veksten som trenger størst vanningsmengde, mens sein potet følger tett etter. Behovene til sein gulrot er noe mindre, trolig fordi behovet oppstår relativt seint i sesongen når det er lavere fordamping og mer nedbør. Behovene til tidligpotet er også små, som følge av dens korte veksttid. Denne kulturen drar dessuten nytte av at jordas vannreserver som regel er store tidlig i vekstsesongen.

Tabell 4.2. Midlere behov for vanningsvann (mm/år) til fire vekster på tørkesvak og tørkesterk jord i ulike regioner, beregnet med værdedata for 1973-2008 (Riley og Berentsen 2009)

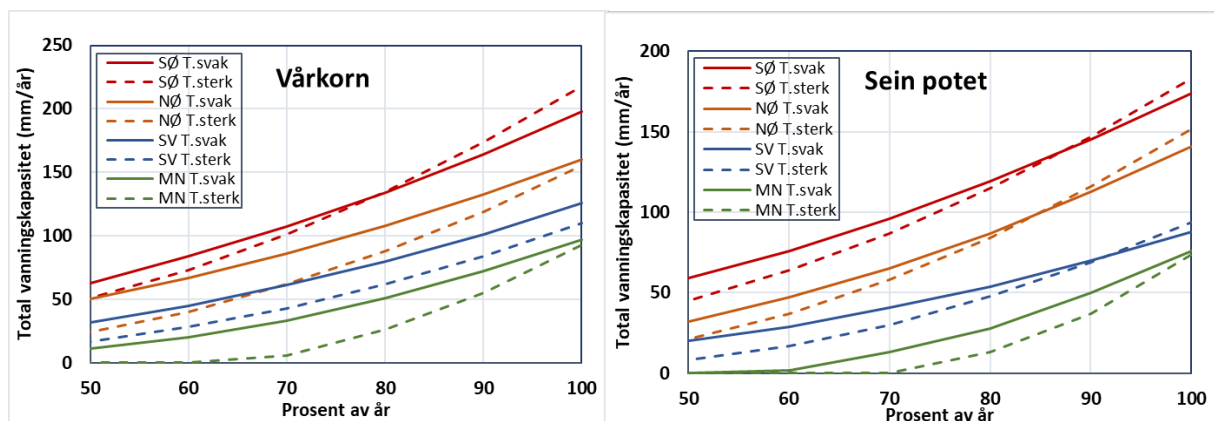
	Tidligpotet		Vårkorn		Sein potet		Sein gulrot	
	T.svak	T.sterk	T.svak	T.sterk	T.svak	T.sterk	T.svak	T.sterk
<b>Sør-Østlandet</b>								
Gjennomsnitt	23	16	98	84	81	74	67	64
Standardavvik	23	16	53	61	45	54	41	51
<b>Nord-Østlandet</b>								
Gjennomsnitt	5	10	68	54	54	50	45	44
Standardavvik	8	14	43	46	38	44	31	41
<b>Sør-Vestlandet</b>								
Gjennomsnitt	5	8	40	42	35	32	23	20
Standardavvik	15	9	36	36	25	29	20	22
<b>Midt-Norge</b>								
Gjennomsnitt	2	3	34	24	20	15	14	10
Standardavvik	5	8	27	25	22	20	19	18

Den store variasjonen i behovene mellom år betyr at dyrkere har behov for høyere vanningskapasitet enn det som framkommer av gjennomsnittstall. Histogrammene i figur 4.3 viser grupperinger av hvor mange ganger det må vannes til vårkorn og sein potet. På Østlandet vil det i de fleste år blir såpass tørt at det er behov for å sette i gang med vanning, selv om man ikke alltid får avlingsutslag dersom det kommer nedbør etterpå. I andre regioner er det derimot ikke vanningsbehov i en betydelig andel av år. På Sør-Østlandet er det svært ofte behov for å vanne mer enn to ganger på tørkesterk jord og mer enn 3 ganger på tørkesvak jord, mens i de andre regioner er det tilstrekkelig med færre vanninger.



Figur 4.3. Prosent fordeling av år med behov for ulikt antall vanninger til vårkorn og sein potet i ulike regioner på hhv. tørkesterk jord (25 mm pr. vanning) og tørkesvak jord (15 mm pr. vanning).

Den totale kapasiteten (mm/år) som trengs for å dekke vanningsbehovet til korn og sein potet i en stigende andel av alle år er vist i figur 4.4. For å møte behovet i 80 % av alle år trengs det en vanningskapasitet som er ca. 50 % større enn den som trengs for å dekke de gjennomsnittlige behovene. For å dekke behovet i 90 % av alle år må det omtrent dobbelt så stor kapasitet som gjennomsnittet. Om man skal dekke behovet i absolutt alle år må kapasiteten være nærmere tredoblet.



Figur 4.4. Den totale vanningskapasiteten (mm/år) som trengs for å dekke vanningsbehovet til korn og sein potet i stigende andel av alle år (1 mm vanning tilsvarer 1 kubikk vann pr. dekar).

### 4.3 Kostnader og økonomi

Kostnader ved vanning fordeles på de faste utgiftene ved investering i et vanningsanlegg (pumpe-stasjon, ledningsnett, vanningsmaskin ol.) og de variable utgiftene ved bruken av anlegget. De faste kostnadene vil variere betydelig fra sted til sted, avhengig av arealstørrelse, anleggskapasitet, avstand til vannkilde mm. De variable kostnadene vil variere naturligvis mellom år med ulik grad av tørke, og dessuten med jordarten og vekstene som skal vannes og med strømkostnaden av å føre vannet fram. Totalutgiftene vil trolig være betydelig mindre ved bruk av et anlegg som er nesten nedbetalt enn ved en nyinvestering. Det er derfor vanskelig å gi et eksakt svar på spørsmålet om hvorvidt det er lønnsomt å vanne. Nedenfor gis det noen eksempler hentet fra beregninger gjort av ulike rådgivere.

I 1994 satte fylkesagronom i Østfold Per Otto Rød opp et regnestykke på hva det koster å vanne. Han tok utgangspunkt i et anlegg som dekket 250 dekar, med vannrettighet og kort avstand til vassdrag, og med strømkilde i nærheten. Anlegget var dimensjonert for å gi fulldekning med 30 mm hver 7. dag og bruken ble satt til 300 timer pr. år. Nedskrivningstiden var 30 år for det faste anlegget og 15 år for vanningsmaskinen. En egeninnsats på 10 % i anleggsperioden ble ikke medregnet i anleggskostnaden. Tabell 4.3 viser tallene som han brukte i 1994, samt antatte tall ved en nyinvestering i 2021, forutsatt SSBs generelle prisstigning på ca. 70 %.

Tabell 4.3. Eksempel på faste og variable kostnader for et vanningsanlegg som dekker 250 dekar, beregnet av fylkesagronom Per Otto Rød i 1994 og med oppjusterte tall for prisnivået i 2021

	1994-prisnivå		2021-prisnivå	
	Anlegg	Vannmaskin	Anlegg	Vannmaskin
<b>Faste kostnader</b>				
Investering	200.000	100.00	340.000	170.000
Avskrivning	6.300	4.800	10.710	8.160
Rentekrav	8.121	4.825	13.806	8.202
Forsikring	360	180	612	306
Sum faste	14.781	9.805	25.128	16.669
<i>Faste pr. dekar</i>	<i>59</i>	<i>39</i>	<i>101</i>	<i>67</i>
<b>Variable kostnader</b>				
Vedlikehold		10.272		17.462
Drift		3.000		5.100
Arbeid		5.000		8.500
Sum variable		18.272		31.062
<i>Variable pr. dekar</i>		<i>73</i>		<i>124</i>
<b>Totalkostnad/daa/år</b>		<b>171</b>		<b>291</b>

Med dagens produktpriser (korn ca. kr. 3/kg, potet ca. kr. 4-6/kg, grønnsaker ca. kr. 6-12/kg), trengs det en økning i kornavling på ca. 20-25 % for å dekke hele totalkostnaden ved dagens kostnadsnivå, mens tilsvarende økning i potet- og grønnsaksavlinger er i underkant av 5 %. Dersom anlegget brukes bare til vanning av korn, vil det trolig relativt sjeldent være lønnsomt å vanne. Dersom kostnadene kan deles mellom flere kulturer, kan det likevel være lønnsomt å vanne korn, så lenge det ikke oppstår konflikt mellom kulturene mtp. tidspunktet for vanningsbehov.

Etter tørkesommeren 2018 gjorde økonomirådgiver Arne Ingvar Dobloug ved NLR Innlandet en vurdering av lønnsomheten ved vanning til korn. Han mente at det var 'opplest og vedtatt' at det er lønnsomt med vanning til potet, grønnsaker, frukt og bær, mens situasjonen for korn (og gras) er mer usikker. De seinere årene har spesielt økte strømkostnader vært i fokus. Ut fra sin egen erfaring i 2018, viste han til en strømkostnad på kr. 20 pr. daa for å vanne én gang med 30 mm. Med vannbehovene til

korn presentert i forrige avsnitt (tabell 4.2), gir dette en strømkostnad på kr. 35-65/daa på Østlandet og kr. 10-30/daa i andre regioner. Konklusjonen hans var at det er god økonomi i å vanne korn med anlegg og utstyr som allerede finnes, med litt forbehold om faste utgifter. I eksemplet hans var de faste utgiftene satt til kr. 50/daa, et nivå som kan være representativt for mange gamle anlegg, men som er trolig mye lavere enn nivået ved nyinvesteringer. Avhengig av areal og nedskrivningstid, anslo han at investeringer på kr. 1000-1500/daa kunne forsvares med en gjennomsnittlig avlingsøkning på ca. 10 %. Arbeidskostnaden ved vanning var ikke med i hans regnestykke.

Ut fra de to eksemplene beskrevet ovenfor, er det tydelig at de faste utgiftene varierer mye, avhengig av bla. alderen på anlegget. I tabell 4.4 er det satt opp balansen mellom verdien av meravlingen av korn og sein potet som man kan oppnå ved vanning og kostnadene som vanning medfører for to scenarier med ulikt nivå på faste utgifter: hhv. eldre anlegg med kr. 50/daa og nyere anlegg med kr. 150/daa. I begge tilfellene er det, ut fra dagens prisnivå, regnet med kr. 70/daa til vedlikehold mens driftsutgiften til strøm er beregnet som vannbehovene i tabell 4.2 ganget med en kostnad på kr. 0,67 pr. mm vann.

De oppnådde avlingsnivåene ved vanning er satt til hhv. 500 kg/daa for korn og 3000 kg/daa for potet. Arbeidskostnadene ved vanning er ikke tatt med her, slik at tallene i tabellen representerer inntjeningen som dyrkeren kan forvente dersom han utfører arbeidet selv. Som i tabell 4.2, er tørkesvak jord her definert som middel av tørkeklasser 1 og 2, mens tørkesterk jord er middel av tørkeklasser 3 og 4.

**Tabell 4.4. Noen eksempler på gjennomsnittlig forventet balanse mellom verdien av meravlingen ved vanning og summen av faste, variable og driftskostnader (kr/daa/år)**

	Balanse kr/daa, eldre anlegg		Balanse kr/daa, nyere anlegg	
	Tørkesvak jord	Tørkesterk jord	Tørkesvak jord	Tørkesterk jord
<b>KORN</b>				
Sør-Østlandet	259	94	159	-6
Nord-Østlandet	169	27	69	-73
Sør-Vestlandet	90	-37	-10	-137
Midt-Norge	-29	-95	-129	-195
<b>POTET</b>				
Sør-Østlandet	5136	3100	5036	3000
Nord-Østlandet	4254	2247	4154	2147
Sør-Vestlandet	1846	635	1746	535
Midt-Norge	1071	264	971	164

Det vil i praksis selvfølgelig være avvik fra disse tallene, pga. ulike avlingsnivå og ulike kostnadsnivå. Eksemplene tjener likevel til å illustrere forskjellene mellom vekster og mellom regioner. På Østlandet vil vanning til korn trolig lønne seg på tørkesvak jord, særlig med bruk av eldre anlegg, mens gevinsten er marginal på mer tørkesterk jord. I de andre regioner vil vanning til korn trolig ikke være lønnsomt. Vanning til potet gir stor økonomisk gevinst på Østlandet, på både tørkesvak og mer tørkesvak jord. Det kan være relativt lønnsomt også på Sør-Vestlandet, mens i Midt-Norge er gevinsten mye mindre.

## 5 Konklusjon

Behovet for vanning avhenger primært av værforhold (nedbør og potensiell fordamping), men faktorer som jordas vannlagringsevne og plantenes evne til å få tak i jordvannet spiller også viktige roller. På Østlandet er det i mange år mindre nedbør enn potensiell fordamping, særlig tidlig i vekstsesongen, mens i andre regioner inntreffer store underskudd sjeldnere. Jordas vannlagringsevne styres i stor grad av kornstørrelsen, men også av moldinnhold og matjorddybde. Siltrik jord har svært mye fysisk nyttbart vann og sandjord har minst. Leirjord holder godt på vannet, men mye av dette er bundet så sterkt til partiklene at det er utilgjengelig for plantene. Den faktiske ('aktuelle') fordampingen som skjer fra jord og planter styres av jordas dekkingsgrad med grønne blad og av mengden vann til stede i jorda. Vekster med dype rotsystem, som f.eks. kålvekster, klarer å utnytte vann fra dypere sjikt enn de med grunne røtter, f.eks. løk. Hos de vanligste jordbruksvekster i Norge skjer mye av vannopptaket fra de øvre 40 cm, men også noe fra dypere sjikt avhengig av bla. jordstruktur og drenering.

Vekstenes følsomhet for tørke varierer mellom ulike kulturer og dessuten mellom utviklingsstadiene innen samme kultur. Hos kornartene har tørke negativ innvirkning på buskingsstadiet og gjennom hele strekningsveksten. Til bygg har vanning etter full aksskyting liten effekt, mens til havre og hvete kan det lønne seg å vanne helt fram til gulmodning. Erter og rybs er spesielt følsomme for tørke under blomstring og skolmfylling, men de tåler en viss tørke tidlig i veksttida. Poteter tåler også tidlig tørke ganske bra, spesielt ved sein høsting, men for å få mange knoller og for unngå angrep av flatskurv er det viktig med god vasstilgang ved knolldanning. Viktigst er likevel å unngå tørke under knollveksten. Hos flere rotgrønnsaker ser det ut til at en tørkeperiode tidlig i veksten virker positivt snarere enn negativt på avlingen, mens hos løk er tidlig tørke vel så skadelig som tørke seinere i sesongen. De fleste grønnsaker trenger god vasstilgang utover i vekstsesongen, og f.eks. brokkoli og blomkål er spesielt utsatt for tørke under hodedannelsen. Frukt- og bærvekster er utsatt for tørke under blomstring og fram til høsting, men også tørke seinere i sesongen kan ha konsekvenser. Hos solbær reduseres skuddveksten og dermed neste års avling av sein tørke, mens hos jordbær har tørke like etter høsting en positiv effekt på knoppdannelse som resulterer i flere bær pr. plante året etter.

I perioden fra ca. 1960 til 1990 ble det i Norge utført vanningsforsøk med omtrent 100 feltår i både korn og potet. Den gjennomsnittlige avlingsøkningen var 12 % hos begge vekstene, men med svært stor variasjon mellom forsøk (fra -50 til +250 kg/daa i korn og fra -500 til +2000 kg/daa i potet). I snitt av 40 feltår i eng gav vanning 26 % økt grasavling, også her med stor variasjon (fra -250 til +600 kg/daa). Det er utviklet modeller for å beregne sannsynlige gevinster ved vanning til disse vekstene over en årrekke på ulike jordtyper og under ulike værforhold. Beregninger med værddata fra 1973 til 2020 tyder på en gjennomsnittlig gevinst hos alle tre vekstene på Østlandet som varierte fra om lag 20-30 % på meget tørkesvak jord til 10-15 % på meget tørkesterk jord. I andre regioner varierte gevinsten fra ca. 10-20 % på meget tørkesvak jord til 1-5 % på meget tørkesterk jord. På Østlandet tydet beregningene på at man uten vanning på meget tørkesvak jord risikerer avlingstap på >50 % ca. fjerde hvert år hos korn og potet, mens det på meget tørkesterk jord var liten risiko for avlingstap i om lag halvparten av årene. I andre regioner var det på meget tørkesvak jord liten risiko for avlingstap i 40-60% av årene mens det på meget tørkesterk jord var liten risiko i >80 % av årene.

Vanning kan føre til bedre utnyttelse av tilført nitrogen, spesielt hos grønnsaker. Hos korn er denne effekten ofte mindre tydelig fordi N-konsentrasjonen i kornet avtar med økende avlingsmengde. På lett jord kan hyppig vanning medføre økt risiko for N-utvasking, og det er lurt å bruke delt gjødsling. Gjennomsnittlige vannmengder som trengs til vanning av korn på Østlandet ligger på 60-100 mm/år, og ca. 15- 20 mm mindre til potet. I andre regioner er behovene halvparten så store eller enda mindre. Økonomien ved vanning avhenger av flere faktorer, bla. avstand og høydeforskjell til vannkilde, alder på vanningsanlegg mm. Beregninger med eksempler på eldre og nyere anlegg tyder på at vanning til korn ofte lønner seg på Østlandet, men sjelden i andre regioner. Vanning til potet gir stor økonomisk gevinst på Østlandet, og det er trolig ofte lønnsomt med vanning til potet også i andre regioner.

# Litteraturhenvisninger

- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. & Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper no. 56, Rome, ISBN 92-5-104219-5.
- Aslyng, H.C. & Hansen, S. 1982. Water Balance and Crop Production Simulation: Model WATCROS for Local and Regional Application. Hydrotechnical Laboratory, Royal Veterinary and Agricultural University, 200 s.
- Andersen, K., Lysgaard, C.P. & Andersen, S. 1978. Increase in dry weight and nitrogen content in barley varieties grown at different temperatures. *Acta Agric. Scand.* 28: 90-96.
- Andersen, M.N. 1985. Planternes tørkeresistens, rodutvikling og vandforråd på sandjord. *Tidsskrift for Planteavl's Specialserie, Beretning nr. S 1775*, 95 s.
- Andersen, M.N. 1989. Estimation of drought sensitivity in pea and barley in different growth stages. *Proc. 2nd NW-European Irrig. Conf. 1987*. Cranfield Press, UK. 1989. p. 47-65.
- Andersen, A. 1986. Rodvækst i forskellige jordtyper. *Tidsskr. for Planteavl's Specialserie, Beretn. nr. S1827*, 90 s.
- Andreasen, F.M. & Mortensen, G. 1985. Klimatiske årsager til udbyttevariationen i markært. *Tolvmandsbladet* 4: 155-159.
- Bailey, R. 1990. *Irrigated crops and their management*. Farming Press Books, 192 s. ISBN 0-85236-205-6.
- Bjør, T. 1972. Vanning – et effektivt middel mot flatskurv. *Norsk Landbruk nr. 4*: 8-9.
- Clarke, J.M. & Simpson, G.M. 1978. Influence of irrigation and seeding rates on yield and yield components of *Brassica napus* cv. Tower. *Can. J. Plant Sci.* 58: 731-737.
- Day, A.D. & Thompson, R.K. 1975. Effects of soil moisture regimes on the growth of barley. *Agron. J.* 67: 430-433.
- Day, A.D., Legg B.J., French, B.K. Johnston, D., Lawlor, D.W. & Jeffers W. de. C. 1978. A drought experiment using mobile shelters: the effect of drought on barley yield, water use and nutrient uptake. *J. agric. Sci., Camb.* 91: 599-623.
- Dragland, S. 1975. Nitrogen- og vassbehov hos kepaløk. *Forskning og forsøk i landbruket* 26: 93-113.
- Dragland, S. 1976a. Vatning på friland. *NLVF-utredning nr. 83*, 84 s.
- Dragland, S. 1976b. Nitrogen- og vassbehov hos kvitkål. *Forskning og forsøk i landbruket* 27: 355-374.
- Dragland, S. 1978a. Virkninger av tørkeperioder og to nitrogenmengder på potetsorten 'Saphir'. *Forskning og forsøk i landbruket* 29: 139-159.
- Dragland, S. 1978b. Nitrogen- og vassbehov hos gulrot. *Forskning og forsøk i landbruket* 29: 277-299.
- Dragland, S. 1979. Virkninger av forskjellig vasstilgang til bygg og hvete. *Forskning og forsøk i landbruket* 30: 399-413.
- Dragland, S. 1981. Virkninger av tørke ved ulike utviklingsstadier av rødbete. *Forskning og forsøk i landbruket* 32: 29-34.
- Dragland, S. 1982. Virkninger av tørke ved ulike utviklingsstadier av kålrot. *Forskning og forsøk i landbruket* 33: 43-49.
- Dragland, S. 1984. Virkninger av tørke ved ulike utviklingsstadier av havre. *Forskning og forsøk i landbruket* 35: 49-58.
- Dragland, S. 1985. Tørke ved ulike utviklingsstadier hos fire potetsorter. *Forskning og forsøk i landbruket* 36: 159-167.
- Drew, D.H. 1966. Irrigation studies on summer cabbage. *J. Hort. Sci.* 41: 103-114.
- Ekeberg, E. 1982. Vanning og radgjødning til korn I. Avling og kornkvalitet. *Forskning og forsøk i landbruket* 33: 99-110.
- Ekeberg, E. 1984. Vatning til kløvereng. *Forskning og forsøk i landbruket* 35: 153-164.
- Ekeberg, E. 1986a. Vatning og gjødning til potet I. Avling og kvalitet. *Forskning og forsøk i landbruket* 37: 187-196.
- Ekeberg, E. 1986b. Vatning og gjødning til potet I. Innhold av nitrogen, fosfor og kalium. *Forskning og forsøk i landbruket* 37: 197-204.
- Ekeberg, E. 1986c. Radgjødning til potet. *Forskning og forsøk i landbruket* 37: 53-58.
- Ekeberg, E. 1989. Samspill med næringstilgang i forbindelse med vaningsforsøk. *Avd. for lantbrukets hydroteknik, SLU, Medd.* 89:7, s. 237-243.



- Ekeberg, E. 1988. Ti år med ulik vatning og gjødsling på et fastliggende felt og ettervirkninger 11. og 12. året. Aktuelt fra Statens fag tjeneste for landbruket, nr. 2, s. 73-86.
- Fan J., McConkey, B., Wang H. & Janzen, H. 2016. Root distribution by depth for temperate agricultural crops. *Field Crops Research* 189: 68-74.
- Foley, M.F. 1989. A review of the effects of irrigation on the incidence of diseases. *UK Irrig. Ass. Tech. Mon* 2: 49-53.
- Fradgeley, J.R.A. 1971. Moisture sensitive stages in carrot. *National Veg. Res. Stat. Wellesbourne, Ann. Report* 1970, s. 86.
- Førland, E.J. 1993. Klima: Precipitation normals, Normal period 1961-1990. DNMI-Rapport nr. 39/93, 63 s.
- Greenwood, D.J. & Draycott, A. 1989. Experimental validation of an N-response model for widely different crops. *Fertilizer Research* 18: 153-174.
- Gregersen, A.K. & Olesen, J.E. 1983. Sandsynlige værdier for merutbytte ved vanding i vårbyg, græs og kartofler. *Tidsskrift for Planteavl Specialserie, Beretning* nr. S 1668, 32 s.
- Gregersen, A.K. 1984. Response of rape, peas and maize to irrigation. *Proc. NW European Irrigation Conference, Billund. NJF-utredning/rapport* nr. 16: 140-143.
- Hauge, N.H., Sandli, D.E. og Sogn, L. 1981. Forsøk med vanning og nitrogen gjødsling i sorter av hvete, bygg og havre på Staur forsøksgård 1974-1977. *Meld. Nr. 19, Forsøksavd. Statens kornforretning*, 60 s.
- Heen, A. 1980. Root development and water use in some Norwegian barley, wheat and oats varieties. *Meldinger fra Norges Landbrukshøgskole* vol. 59, nr. 17, 11 s.
- Hetager, S.E. & Lystad, S.L. 1974. Fordampning fra fri vannflate. Verdier basert på målinger i perioden 1967-1972. Den norske komité for den internasjonale hydrologiske dekadé, Rapport nr. 5, Oslo, 175 s.
- Holst, K.Å. & Madsen H.B. 1988. Modelling the irrigation need. The influence of climate and soil water content on the irrigation need for barley and grass. *Acta. Agric. Scand.* 38: 261-269.
- Jensen, F. 1986. Vanding af vår- og vinterraps. *Tidsskrift for Planteavl* 90: 251-258.
- Jonassen, G.H. 1992. Vanning, tørkeperioder og N-gjødsling i frøeng av engsvingel. *Norsk landbruksforskning* 6: 245-260.
- Johansson, W. 1970. Calculation of potential evaporation by means of measured or estimated values of global solar radiation, wind velocity and vapour pressure deficit. *Grundförbättring*, vol. 23, no.3-4, 95-115.
- Jørgensen, V. 1984. Vandforsyningens indflydelse på udbytte og kvalitet af kartofler. *Tidsskr. Planteavl.* 88: 453-468.
- Jørgensen, V. & Edlefsen O. 1987. Vandforsyningens indflydelse på udbytte og kvalitet af industrikartofler. *Tidsskr. Planteavl.* 91: 329-347.
- Kirkerød, T. 1978. Vanning til poteter. *Forskning og forsøk i landbruket* 29: 499-518.
- Kivisaari, S. & Elonen, P. 1974. Irrigation as a method of preventing detrimental late tillering of barley. *J. Scient. Agric. Soc. Finland* 46: 194-207.
- Kongsrud, K.L. 1969. Virkning av tørke til ulike tider av vekstsesongen på epletre og solbærbusker. *Forskning og forsøk i landbruket* 20: 351-365.
- Kongsrud, K.L. 1970. Tørkevirkninger på jordbær til ulike tider av vekstsesongen. *Forskning og forsøk i landbruket* 22: 139-149.
- Kongsrud, K.L. 1976. Tørkevirkninger på bringebær til ulike tider av vekstsesongen. *Forskning og forsøk i landbruket* 27: 73-83.
- Kristensen, K.J. & Jensen, S.E. 1975. A model for estimating actual evapotranspiration from potential evapotranspiration. *Nordic Hydrology* 6: 170-188.
- Kristensen H.L. & Thorup-Kristensen K. 2004. Uptake of <sup>15</sup>N labeled nitrate by root systems of sweet corn, carrot and white cabbage from 0,2-2,5 meters depth. *Plant and Soil* 265: 93-100.
- Krogmann, K.K. & Hobbs, E.H. 1975. Yield and morphological response av rape (*Brassica campestris* L. cv. Span) to irrigation and fertilizer treatments. *Can. J. Plant Sci.* 55: 903-909.
- Kværnø, S.H., & Haugen, L.E. 2011. Performance of pedotransfer functions in predicting soil water characteristics of soils in Norway. *Acta Agriculturae Scandinavica - Section B*, 61: 264-280.
- Linnér, H. 1984. Markfuktighetens inflytende på evapotranspiration, tillväxt, näringsupptagning, avkastning och kvalitet hos potatis (*Solanum tuberosum* L.). *Avd. for landbrukets hydroteknik, SLU, Rapport* 142, 153 s.



- Loon, C.D. van 1981. The effect of water stress on potato growth, development and yield. *Am. Potato J.* 58: 51-69.
- Lystad, S.L. 1981. Fordampning. *Været*, nr. 2, vol. 5, 42-51.
- Madsen, H. B. 1979. Jordbundskartering og bonitering, belyst ved hjelp av fjordens vandretention, bygs rotudvikling og simulert planteproduktion. *Folia Geographica Danica* Tom X, nr. 5, 203 s.
- Madsen, H. B. 1985. Distribution of spring barley roots in Danish soils of different texture and under different climatic conditions. *Plant and Soil* 88: 31-43.
- Madsen, H. B. & Platou, S.W. 1983. Land Use planning in Denmark: The use of soil physical data in irrigation planning. *Nordic Hydrology* 1983: 267-276.
- Martin, R.J., Jamieson, P.D., Gillespie, R.N. & Maley, S. 2001. Effect of timing and intensity of drought on the yield of oats (*Avena sativa* L.). *Proc. 10th Australian Agronomy Conference, Tasmania*, unpaginated ref.10.
- Mendham, N.J., Shipway, P.A. & Scott, R.K. 1981. Effects of delayed sowing and weather on growth, development and yield of winter oilseed rape (*Brassica napus*). *J.agric. Sci., Camb.* 96: 389-416.
- Myhr, E. 1964a. Ettårige vatningsforsøk på Østlandet 1956-61. *Forskning og forsøk i landbruket* 15: 117-124.
- Myhr, E. 1964b. Forsøk med vatning og nitrogengjødsling i et 6-årig omløp. *Forskning og forsøk i landbruket* 15: 173-185.
- Myhr, E. 1964c. Forsøk med vatning og nitrogengjødsling til kulturbeite. *Forskning og forsøk i landbruket* 15: 187-196.
- Myhr, E. 1970. Virkninger av tørkeperioder til ulik tid i poteter, bygg og eng. *Meld. Norg. Landbr. Høgsk.* 33 (49), 11 s.
- Myhr, E. og Rognerud, B. 1974. Vatning og ulik gjødsling til 3-årige omløp av poteter, bygg og timotei. *Forskning og forsøk i landbruket* 25: 45-62.
- Neibling, N., Rogers, C.W. & Qureshi, Z. 2017. Scheduling the Final Irrigation for Wheat and Barley. *Univ. of Idaho, Extension Bul.* 912, 6s.
- Overgaard Mogensen, V. 1978. Optimale vandingstidspunkter for byg ved tilførsel av begrensetde vandmengder. *Hydrotekn. Lab. Den Kgl. Vet. og Landbohøjsk., stensiltrykk*, 44 s.
- Riley, H. 1986. Tørke ved ulike utviklingsstadier hos ert. *Forskning og forsøk i landbruket* 37: 105-113.
- Riley, H. 1989a. Irrigation of cereals, potato, carrot and onion on a loam soil at various levels of moisture deficit. *Norwegian J. Agric. Sciences* 3: 117-145.
- Riley, H. 1989b. Følsomme stadier for tørkestress hos jordbruksvekster. *Avd. for lantbruksteknik, SLU, Medd.* 89:7, s. 125-139.
- Riley, H. 1989c. Tørke ved ulike utviklingsstadier hos vårrybs. *Norsk landbruksforskning* 3: 167-175.
- Riley, H. 1990a. Tørke ved ulike utviklingsstadier hos potet I. *Frilandsforsøk. Norsk landbruksforskning* 4: 279-300.
- Riley, H. 1990b. Tørke ved ulike utviklingsstadier hos frilandsagurk. *Gartneryrket* 2: 16-18.
- Riley, H. 1992. Assessment of simple drought indices on the growth of timothy grass (*Phleum pratense*). *Norwegian J. Agric. Sciences* 6: 333-348.
- Riley, H. 1994. Irrigation needs and strategies on soils of Southeast Norway. *Proc. NJF seminar nr. 247. "Agrohydrology and nutrient balances"*, Uppsala. *Medd. avd. för lantbrukets hydroteknik* 94:5, 34-37.
- Riley, H. 1995. Vanningsbehov til korn og potet. *Jord- og plantekultur* 1995. *Planteforsk Apelsvoll*, s. 14-16.
- Riley, H. 1996. Derivation of physical properties of cultivated soils in SE Norway from readily available soil information. *Norw. J. Agric. Sci. Supplement no. 25*, 51 s.
- Riley, H. 2002. Virkninger av tørke ved ulike utviklingsstadier hos blomkål og brokkoli. *Intern Prosjektrapport*.
- Riley, H., 2016. Tillage timelines for spring cereals i Norway: Yield losses due to soil compaction and sowing delay, *NIBIO rapport*, vol. 2, nr.112, 66 s.
- Riley, H. & Dragland, S. 1988. Irrigation of field vegetables for quality. Effects of drought periods at different stages of growth. *UK Irrig. Assoc. Conf., Silsoe feb. 1988. Irrigation News no. 14*, pp.19-33.
- Riley, H. & Dragland, S. 1991. Drought sensitive growth stages in agricultural crops. *Irrigation News* 19: 35-43.
- Riley, H. & Guttormsen, G. 1993. N-requirements of cabbage crops grown on contrasting soils. I: Field trials. *Norwegian J. Agric. Sciences* 7: 275-291.

- Riley, H. & Guttormsen, G. 1994. N-requirements of cabbage crops grown on contrasting soils. II: Model verification and predictions. *Norwegian J. Agric. Sciences* 8: 99-113.
- Riley, H. & Berentsen, E. 2009. Estimation of water use for irrigation in Norwegian agriculture. Pilot study for Statistics Norway / Eurostat. *Bioforsk Rapport Vol. 4 Nr. 174*, 80 s.
- Ritchie, J.T & Burnett, E. 1971. Dryland evaporative flux in a subhumid climate. *Agronomy Journal* 63: 51-62.
- Rognerud, B. og Myhr, E. 1962. Forsøk med vatning og ulik nitrogen gjødsling på kulturbeite. *Forskning og forsøk i landbruket* 13: 285-296.
- Rognerud, B. og Vigerust, E. 1975. Kunstig le. Hydrologiske forhold, planteproduksjon og jordtemperatur. Den norske komité for Den internasjonale hydrologiske dekadé. Rapp. nr. 6, 60 s.
- Salter, P.J. & Goode, J.E. 1967. Crop responses to water at different stages of growth. *Commonw. Agr. Bureaux, England, Research Review No. 2*, s. 49-51.
- Sharma, D.K., Kumar, A. & Singh, K.N. 1990. Effect of irrigation scheduling on growth, yield and evapotranspiration of wheat in sodic soils. *Agric. Water Management* 18: 267-276.
- Sperstad, R. & Nyborg, Å.A. 2008. Beskrivelse av jordsmonn grupper og jordsmonn enheter på dyrka mark i Norge. Karakteristikk, egenskaper og utbredelse. Dokument fra Skog og landskap 05/2008, 81 s.
- Stanhill, G. 1958. Effects of soil moisture on the yield and quality of turnips. II. Response at different growth stages. *J. Hort. Sci.* 33: 264-274.
- Strand, E. 1987. Causes of variation in the lengths of growth periods and the heat sum requirements of cereal cultivars. *Norw. J. Agric. Sci.* 1: 119-129.
- Wright, G.C., Smith C.J. & Woodroffe, M.R. 1988. The effect of irrigation and nitrogen fertilizer on rapeseed (*Brassica napus*) Production in South-Eastern Australia. I. Growth and seed yield. *Irrig. Sci.* 9: 1-13.
- Sveistrup, T.E. & Njøs, A. 1984. Kornstørrelsesgrupper i mineraljord. Revidert forslag til klassifisering. *Jord og Myr* 1/1984, 8-14.
- Wiklert, P. 1960. Studier av rotutvecklingen hos några nyttväxter med särskild hänsyn till markstrukturen. *Grundförbättring* 13: 113-148.
- Aamlid, T.S. og Riley, H. 1997. Vatning og tørkeperioder i timoteifrøeng. *Jord- og Plantekultur, Grønn forskning* 97, 4: 127-129.
- Aamlid, T.S. 1998. Vatning til timoteifrøeng. *Jord- og Plantekultur, Grønn forskning* 98, 1: 126-129.
- Åssveen, M. og Abrahamsen, U. 1999. Varmesum for sorter og arter av korn. *Grøn forskning* nr. 2/99, s. 55-59.



Norsk institutt for bioøkonomi (NIBIO) ble opprettet 1. juli 2015 som en fusjon av Bioforsk, Norsk institutt for landbruksøkonomisk forskning (NILF) og Norsk institutt for skog og landskap.

Bioøkonomi baserer seg på utnyttelse og forvaltning av biologiske ressurser fra jord og hav, fremfor en fossil økonomi som er basert på kull, olje og gass. NIBIO skal være nasjonalt ledende for utvikling av kunnskap om bioøkonomi.

Gjennom forskning og kunnskapsproduksjon skal instituttet bidra til matsikkerhet, bærekraftig ressursforvaltning, innovasjon og verdiskaping innenfor verdikjedene for mat, skog og andre biobaserte næringer. Instituttet skal levere forskning, forvaltningsstøtte og kunnskap til anvendelse i nasjonal beredskap, forvaltning, næringsliv og samfunnet for øvrig.

NIBIO er eid av Landbruks- og matdepartementet som et forvaltningsorgan med særskilte fullmakter og eget styre. Hovedkontoret er på Ås. Instituttet har flere regionale enheter og et avdelingskontor i Oslo.