



Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
Fakultet for Veterinærmedisin og biovitenskap
Institutt for Plantevitenskap

Masteroppgave 2014
60 stp

Fenologisk utvikling i rødkløver.

Phenological development in red clover.

Solaug Solem

Forord

Arbeidet med denne masteroppgaven har vært lærerikt, givende og veldig morsomt.

Jeg vil takke mine tre veiledere; Åshild Ergon, Anne Kjersti Bakken og Anne Kjersti Uhlen for mange gode råd, mye god støtte og veldig bra veiledning.

Vil også takke Elin Halvorsen Sikkeland, stipendiat hos Bioforsk Kvithamar, for godt samarbeid både med statistikk, litteratur og feltarbeid. Uten deg hadde ikke dette blitt like morsomt!

Takk til Arne Oddvar Skjelvåg for hjelp med modellarbeid.

Takk til Øyvind Jørgensen og Jørn Medlien for mye god hjelp i veksthuset.

Takk til Yara for å ha gitt stipend til arbeidet med denne oppgaven.

Takk til min gode venninne Synnøve Lill Paulen for moralsk støtte og korrekturlesing.

Og sist men ikke minst, takk til min kjære Knut for din tålmodighet!

Solaug Solem

14. desember 2014

Norges miljø- og biovitenskapelige universitet, Ås

Sammendrag

Rødkløver (*Trifolium pratense*) er en viktig plante i grovfôrproduksjonen i Norge. Det er nær sammenheng mellom fôrvekstenes fenologiske utviklingstrinn og deres fôr kvalitet. Både med tanke på praktisk dyrkingsveiledning og for utvikling av simuleringsmodeller for avling- og kvalitetsutvikling, er det viktig å kjenne driverne for utvikling og vekstenes kvalitative og kvantitative responser på disse. I denne masteroppgaven ble det undersøkt og forsøkt beskrevet hvordan rødkløverens fenologiske utvikling avhenger av temperatur og daglengde. Først ble det gjennomført et pottforsøk i fytotronkammer med ulike sorter og kombinasjoner av daglengde og temperatur. Dernest prøvde en, på grunnlag av ulike datasett av feltobservasjoner på rødkløverfenologi, å tilpasse en modell for fenologisk utvikling hos timotei og engsvingel (Bonesmo 2004) til rødkløver.

I forsøket i regulert klima ble fire ulike rødkløversorter (Fregata, Lea, Nordi og Reipo) dyrket under seks ulike kombinasjoner av daglengde (16 timer og 20 timer) og temperatur (10, 14 og 18°C). I tillegg ble det tatt med to behandlinger hvor temperaturen var lavere om natten enn om dagen. Utviklingshastighet ble målt som av tid til strekning og tid til knoppdanning. Utviklingen hos plantene ble også uttrykt etter numerisk skala, «mean stage by count» (MSC).

Resultatene viste at tiden rødkløverplantene bruker til strekning og knoppdanning blir kortere med lengre dag og høyere temperatur. Temperaturen påvirket tiden til knoppdanning i større grad enn tiden til strekning. Daglegderesponsen hos disse fire rødkløversortene viste seg her å være kvantitativ, lengre dag gav større grad av blomstring. Den sveitsiske sorten Fregata hadde svakere respons på daglengde enn de andre sortene med nordisk opphav. Nattsinking av temperaturen gav ingen signifikant effekt på tid til strekning og knoppdanning.

De innsamlede feltdataene fra ulike lokaliteter i landet utgjorde ikke et godt eller bredt nok grunnlag for å tilpasse en fenologimodell for gras til rødkløver. Modellen ble parametrisert, men simuleringene mot klimadata gav ikke resultater som var i overensstemmelse med observasjoner av fenologisk utviklingstrinn i et testdatasett. Resultatene fra forsøket der rødkløver ble dyrket i regulert klima tyder likevel på at en modell med temperatur og daglengde som drivere kan utvikles.

Abstract

Red clover (*Trifolium pratense*) is an important plant for Norwegian forage production. There is a close connection between the phenological stages of the forage crops and their quality. Both when it comes to cultivation guidance, and for developing models for simulating the development of production and quality, it is important to know the drivers of development and the crops qualitative and quantitative responses to them. This thesis investigated and tried to describe how the phenological development of red clover depends on temperature and photoperiod. An experiment with red clover plants grown in pots in phytotron chambers with different cultivars and combinations of photoperiod and temperature was done first. Secondly one tried to adapt a model for phenological development in timothy and meadow fescue (Bonesmo 2004) for use in red clover, by using different datasets with field observations on phenology in red clover.

The experiment with climate control was performed on four different cultivars of red clover (Fregata, Lea, Nordi and Reipo), they were grown under six different combinations of photoperiod (16 hours and 20 hours) and temperature (10, 14 and 18 ° C). The experiment also included two treatments which had lower temperatures during the night than during the day. The developmental speed was recorded as the time each plant needed to elongate and induce flower buds. The development of the plants were also expressed by a numeric scale, mean stage by count (MSC).

The results showed that the time needed for the red clover plants to elongate and form buds became shortened with longer days and higher temperature. The time needed for the plants to form buds was influenced by temperature to a greater extent than the time needed for bud formation. The photoperiodic response in these four cultivars appeared to be quantitative, longer days induced a larger degree of flowering. This photoperiodic response was lower for the Swiss cultivar Fregata than for the cultivars with Nordic origin. Lower night temperatures gave no significant effect on the time it took for the plants to elongate and form buds.

The collected field data from different locations in Norway did not give a good or wide enough foundation for adapting a model for grass phenology to red clover. The model was parameterized, but the simulations against climate data gave results that did not match the observations of phenological development in a test dataset. The results from the experiment where red clover was grown with climate control still suggest that a model with temperature and photoperiod as drivers can be developed.

Innholdsfortegnelse

Forord.....	i
Sammendrag	iii
Abstract.....	v
1. Innledning.....	1
1.1. Morfologi, vekst og utvikling	2
1.2. Fenologisk utvikling.....	2
1.2.1. Ytre faktorerers påvirkning på den fenologiske utviklingen	3
1.2.2. Kvantifisering av fenologisk utvikling	4
1.3. Bruk av modeller.....	6
1.4. Problemstillinger	7
2. Materiale og metoder.....	8
2.1. Forsøk i fytotron.....	8
2.1.1. Plantemateriale og vekstforhold	8
2.1.2. Forsøksprosedyre	10
2.1.3. Registreringer.....	11
2.1.4. Statistisk analyse.....	11
2.2. Modellering med felldata	13
2.2.1. Innsamling av data	13
2.2.2. Tilpasning av modell.....	14
3. Resultater.....	16
3.1. Forsøk i fytotron.....	16
3.1.1. Fenologisk utvikling	16
3.1.2. Effekt av temperatur og daglengde på strekning	17
3.1.3. Effekt av temperatur og daglengde på knoppdanning	19
3.1.4. Effekt av nattsinking på strekning og knoppdanning.....	21
3.2. Modell for fenologisk utvikling i rødkløver.....	23
4. Diskusjon.....	25
4.1. Blir tiden rødkløverplantene bruker til strekning og knoppdanning påvirket av daglengde og temperatur? Er det sortsforskjeller?.....	25
4.2. Vil nattsinking av temperaturen påvirke strekning og knoppdanning hos rødkløver? Er det sortsforskjeller?	26

4.3. Kan modellen for fenologisk utvikling hos timotei og ensvingel som er utviklet av Bonesmo (2004), tilpasses og brukes for å simulere fenologisk utvikling hos rødkløver? .26	
5. Konklusjon.....	27
6. Referanser.....	28
7. Vedlegg.....	30

1. Innledning

Rødkløver (*Trifolium pratense*) er en art i erkeblomstfamilien som kan finnes som vill plante, men er mest kjent som fôrplante. Arten ble kultivert i Spania så tidlig som i 1270 og kom til Norge på slutten av 1700-tallet (Kjærgaard 2003). Fra 1880 da norsk frøavl begynte å komme i gang, regner man at de stedstilpassede landrasene etter hvert utviklet seg her til lands (SNL 2009). Den gode sammensetningen av næringsstoffer og evnen den har til å fikse nitrogen i symbiose med *Rhizobium*, har ført til at rødkløver har blitt en mye brukt fôrplante. Barnes et al. (1985) mener rødkløver har hatt større påvirkning på det europeiske landbruket enn noen annen fôrplante. Også Kjærgaard (2003) argumenterer for viktigheten av rødkløver i det europeiske landbrukets historie. Steinshamn (2010) stadfester at grovfôr som inneholder engbelgvekster, som rødkløver, gir større fôropptak hos kyr enn rent grasbasert grovfôr.

Grovfôrproduksjon med rødkløver i enga kan by på utfordringer. Rødkløver har kort varighet og vil normalt sett ikke ha særlig høy produktivitet utover de 2-3 første årene. Rotrâte og nematoder som ødelegger plantenes pålerot får mye av skylden for den korte varigheten (Skiipp & Christensen 1990), men også høstesystem, konkurranse med andre fôrvekster og vinterherdighet er blant faktorene som kan påvirke varigheten. I tillegg er frødyrkingen særlig utfordrende i rødkløver og veldig lave avlinger er et problem. Skadedyr (kløversnutebille) og manglende pollinering har vært fremmet som mulige årsaker til lave frøavlinger (Rao & Stephen 2009). Kunnskap om hva som styrer blomstringen og faktorer som påvirker den er viktig for å vite mer om hva som trengs for å få bedre frøavlinger. Ved dyrking av grovfôr er utviklingsstadiet til engvekstene ved høsting en viktig faktor som påvirker kvaliteten på fôret, videre overlevelse for plantene, og dermed varigheten og den fremtidige kvaliteten til enga. Optimalisering av høstetidspunkt er derfor avgjørende for å kunne dyrke grovfôr av god kvalitet.

I denne masteroppgaven ble det gjennomført et forsøk der en dyrket fire ulike rødkløversorter under ulike kombinasjoner av daglengde og temperatur. En ønsker å finne ut hvordan disse faktorene påvirker den fenologiske utviklingen hos de ulike rødkløversortene. I den fenologiske utviklingen blir det fokusert på overgangen mellom vegetativ vekst og stengelstrekking, og overgangen mellom stengelstrekking og blomstring. I tillegg til forsøket blir det gjort et forsøk på å tilpasse en modell, som tidligere er brukt på korn og gras, til bruk i rødkløver.

1.1. Morfologi, vekst og utvikling

Rødkløver er en flerårig plante som vokser i små tuer. Planten har ingen hovedstengel, men flere skudd som kommer opp fra den samme tua. Bladene er tre-koblet, med eggeformede eller avlange småblad. Rødkløverplantene formerer seg med krysspollinering, noe som gir økt grad av variasjon mellom individer enn hva man ser i f.eks. bygg, som er selvbestøvende. En og samme plante kan ha stor variasjon i utviklingsstadium på skuddene sine. Det samme gjelder høyden, den kan variere mellom planter og også innad i hver plante, mellom skudd. Et skudds stengelstrekking avsluttes når det første blomsterhodet dannes i toppen av stengelen. Etter hvert kan det også komme flere blomsterhoder nedover langs stengelen. Blomsterhodene er oftest rødlige, men også her er det variasjon og noen ganger kan blomsterhodene være nesten helt hvite.

Næringssammensetningen er forskjellig i de forskjellige plantedelene. Bladfraksjonen hos rødkløver har høyest fordøyelighet og energikonsentrasjon, mens den strekte stengelfraksjonen har større andel fiber (NDF) og lavere energikonsentrasjon (Aman & Nordkvist 1983). Derfor vil en plante i strekning/blomstring ha færre forenheter per volum enn en plante i vegetativ vekst (bladvekst). Homb (1953) illustrerer hvordan andelen protein i rødkløver synker drastisk, samtidig som fiber- og lignininnhold øker, etter hvert som planten utvikler seg. Samtidig har planten størst volum, og gir størst avling, når den er i strekning/blomstring.

1.2. Fenologisk utvikling

Fenologi defineres av Store Norske Leksikon som; «vitenskapen om klimaets innflytelse på de periodiske forandringene hos planter og dyr» (SNL 2012). Fenologisk utvikling er med andre ord en måte å se plantenes utvikling i sammenheng med klimaet de lever i. For å kunne utnytte det faktum at næringssammensetningen er ulik gjennom rødkløverplantenes utvikling, er det viktig å kunne forutsi hvor rask denne utviklingen er ut ifra stedet den vokser på og hvordan klimaet er der.

1.2.1. Ytre faktorerers påvirkning på den fenologiske utviklingen

Temperatur er en viktig faktor for produksjon og utvikling i alle planter. Både for lav og for høy temperatur hemmer vekst og kan drepe plantene. Den optimale temperaturen for produksjon hos rødkløver regnes å ligge mellom 20-25°C (Frame et al. 1998). Stavang et al. (2005) fant at stengelstrekning i erter ble redusert med 30 % etter 12 dager med temperaturforholdet 13°C på dagen og 21°C om natten i forhold til et motsatt temperaturforhold hvor det var 21°C om dagen og 13°C om natten (12 timer daglengde). Tilgang på vann kan også begrense vekst, både når det er for lite og for mye (drukning). Mueller et al. (2005) fant i sitt forsøk at rødkløver hadde en vannutnyttelse på 1,6 - 2,2 gram tørrstoff per liter vann (g/l), noe som var litt bedre enn flerårig raigras (0,6 – 2,4 g/l) og litt dårligere enn timotei (2,2 – 2,7 g/l).

Fotoperiode, eller daglengde, er en viktig faktor som påvirker den fenologiske utviklingen. Etter hvordan plantenes fenologiske framgang påvirkes, grupperes de som enten kortdagsplanter, langdagsplanter eller daglengdenøytrale planter. Lang- og kortdagsplanter kan videre deles inn i obligate/kvalitative, hvor en spesifikk daglengde er påkrevd for blomstring, og fakultative/kvantitative, hvor en spesifikk daglengde fremskynder blomstringen (men er ikke påkrevd). Det er ikke like lett å skille mellom disse to. Rødkløver er regnet som en langdagsplante og trenger lang dag, eller rettere sagt kort natt, for å blomstre. Vince-Prue (1975) oppgir at langdagskravet hos rødkløver er på 12 timer. Det er sannsynlig at daglengdekravet er forskjellig for ulike sorter ettersom Keller og Peterson (1950) fant i sitt veksthusforsøk at den sent-blomstrende sorten 'Mammoth' ikke blomstret når daglengden var 14 timer, men det gjorde sorten 'Emerson' som var regnet som en tidligere sort.

Ikke innfridde vernaliseringskrav kan hemme eller forsinke blomstringen og har også en spesifikk effekt når det kommer til å redusere antall blader planten produserer før blomstringen initieres. Rødkløver regnes som en plante uten vernaliseringskrav (Aitken 1964). Lunnan (1989) fant i sitt forsøk at vernalisering kan ha en svak effekt på blomstring og vekst i rødkløver.

1.2.2. Kvantifisering av fenologisk utvikling

Det er utviklet flere ulike metoder for å registrere og kvantifisere fenologisk utvikling, mest kjent og mest brukt er nok metoden utviklet av Zadoks et al. (1974) for bruk i korn. Man skiller gjerne på hvorvidt en metode baserer seg på ytre eller indre morfologi. Metoder som baserer seg på ytre morfologi går kun på trekk man kan se eller føle ved å ta på planten, mens metoder som baserer seg på indre morfologi krever dissekering og ofte også mikroskopering. For de fleste bruksområder er metoder som baserer seg på ytre morfologi tilstrekkelig nøyaktige, i tillegg til å være enklere og mindre tidkrevende (Gustavsson 2011). I denne oppgaven blir det tatt utgangspunkt i metoden til Moore et al. (1991), utviklet for flerårig gras, som Bakken et al. (2005) har tilpasset til rødkløver (Tabell 1). Rødkløverskuddene blir delt inn i de primære utviklingstrinn bladstadium (V), stengelstrekking (E), reproduktivt stadium (R) og frøutviklingsstadium (S). Videre kan man dele skuddene inn i undertrinn under hvert primære utviklingstrinn med hver sin tallkode. Hvert trinn har en numerisk verdi som beregnes med bruk av følgende formel:

$$P + (n/N) - 0,1 \quad (1)$$

hvor P er den numeriske verdien for det primære stadiet, n er den fenologiske hendelsens nummer, og N er det maksimale antall fenologiske hendelser i stadiet (Bakken et.al. 2005). De numeriske verdiene kan summeres ved bruk av gjennomsnittlig utviklingsstadium basert på telling («mean stage by count», MSC), som vektet gjennomsnittet ut ifra antall skudd, eller gjennomsnittlig utviklingsstadium basert på veiing («mean stage by weight», MSW). Ved bruk av MSC får hvert skudd lik innflytelse, mens ved bruk av MSW får hvert skudd innflytelse basert på sin tørrvekt og dermed vil skudd som er i bladvekst (små og lette) få mindre innflytelse enn skudd som er i stengelstrekking og blomstring. MSW krever at man høster planten ved registrering, i motsetning til MSC som kan gjøres på stående planter.

Tabell 1: Fenologisk utvikling hos rødkløver basert på tabell utviklet av Bakken et al. (2005).

Primært utviklingstrinn	Undertrinn		Numerisk verdi
	Kode	Beskrivelse	
Bladstadium	V0	Første blad synlig	1,00
	V1	Første blad fullt utviklet	1,07
	V2	Andre blad fullt utviklet	1,23
	V3	Tredje blad fullt utviklet	1,40
	V4	Fjerde blad fullt utviklet	1,57
	V5	Femte blad fullt utviklet	1,73
	V6	Sjette blad fullt utviklet	1,90
Stengelstrekking (Internode regnes her fra et bladfeste til det neste)	E0	Begynnende stengelstrekking	2,00
	E1	Første internode lengre enn 1 cm	2,10
	E2	Andre internode lengre enn 1 cm	2,30
	E3	Tredje internode lengre enn 1 cm	2,50
	E4	Fjerde internode lengre enn 1 cm	2,70
	E5	Femte internode lengre enn 1 cm	2,90
Reproduktivt stadium	R0	Kjenner knopp	3,00
	R1	Første knopp synlig	3,10
	R2	Første blomsterstilk fullt utkommen	3,30
	R3	Synlige pollenbærere på første blomst	3,50
	R4	Avblomstring (mørknende begerblad) på første blomst	3,70
	R5	Avblomstring (mørknende begerblad) på andre blomst	3,90
Frøutviklingsstadium	S0		4,00

1.3. Bruk av modeller

Modeller blir mer og mer brukt til å simulere vekst i både engvekster og andre jordbruksvekster. De kan brukes i forskning, f.eks. til å forutsi hvordan klimaendringer vil påvirke plantene vi dyrker, som Thorsen og Höglind (2010) har gjort. En har også modeller som kan brukes mer direkte som beslutningsverktøy i jordbruket som grovfôrmodellen (VIPS). Begge de ovennevnte er sammensatt av flere enklere modeller for bl.a. klima og fenologisk utvikling. Bonesmo (2004) utviklet modeller for fenologisk utvikling hos timotei og engsvingel. Modellene er basert på en todeling av vekstforløpet, hvor en fototermal modell dekker tiden fra vekststart til skyting (hos 50 % av populasjonen), mens en varmesummodell dekker tiden fra skyting til blomstring.

Den fototermale modellen han brukte var bygd slik:

$$dF = \alpha(TD - TDb)(DL - DLb) \quad (2)$$

I den fototermale modellen blir det i tillegg til terskelverdiene for temperatur og daglengde også bestemt en maksimal daglengde i timer (DLm), den ble lagt inn i beregningene.

Varmesummodellen var slik:

$$dF = \beta(TD - TDb) \quad (3)$$

Hvor:

dF = daglig fremgang i fenologisk utvikling

α og β = koeffisient

TD = døgnmiddeltemperatur i °C.

TDb = basis døgnmiddeltemperatur i °C (Terskelverdi).

DL = daglengde i timer

DLb = basis daglengde i timer (terskelverdi)

Bonesmo (2004) kom fram til følgende modeller for å beskrive fenologisk utvikling i timotei:

Fototermal modell: $dF = 0,000144(TD - 0,01)(DL5,76) \quad (4)$

med $DLm = 17,80$ og standardavvik = 3,6 dager.

Varmesummodell: $dF = 0,003773(TD - 0,64)$ (5)

med standardavvik = 6,9 dager.

For å beskrive fenologisk utvikling i engsvingel utviklet han følgende modeller:

Fotothermal modell: $dF = 0,000163(TD - 1,19)(DL - 4,09)$ (6)

med DLM = 17,72 og standardavvik = 1,0 dager

Varmesummodell: $dF = 0,007155(TD - 3,85)$ (7)

Med standardavvik = 5,2 dager.

1.4. Problemstillinger

Blir tiden rødkløverplantene bruker til strekning og knoppdanning påvirket av daglengde og temperatur? Er det sortsforskjeller?

Daglengdeforsøket ble utført for å se hvordan daglengdekravet til rødkløver og temperatur påvirket den fenologiske utviklingen, mer spesifikt tiden det tar for plantene å igangsette stengelstrekning og knoppdanning. Det ble også undersøkt om en kunne detektere forskjeller mellom sortene, slik Keller og Peterson (1950) fant i sitt forsøk.

Vil nattsinking av temperaturen påvirke strekning og knoppdanning hos rødkløver? Er det sortsforskjeller?

I daglengdeforsøket ble det valgt å ha en bestemt temperatur for hver behandling gjennom hele behandlingstiden. For å kontrollere om det ville utgjort noen forskjell dersom temperaturen hadde vært lavere om natten enn om dagen, ble det lagt til to behandlinger med nattsinking av temperaturen. De to behandlingene dekte begge daglengdene og hadde en gjennomsnittstemperatur som tilsvarte den midtre temperaturen hos de andre behandlingene (14°C).

Kan modellene for fenologisk utvikling hos timotei og engsvingel som er utviklet av Bonesmo (2004), tilpasses og brukes for å simulere fenologisk utvikling hos rødkløver?

Eksisterende datamateriale ble brukt til å undersøke hvorvidt det er mulig å tilpasse modellene for fenologisk utvikling i timotei og engsvingel til bruk i rødkløver. Det ble samlet inn registreringer til et eget datasett for testing av den eventuelle modellen.

2. Materiale og metoder

2.1. Forsøk i fytotron

2.1.1. Plantemateriale og vekstforhold

I dette forsøket ble følgende rødkløversorter benyttet; Reipo (Graminor), Nordi (Graminor), Lea (Graminor) og Fregata (Agroscope, Sveits). Reipo er en norsk, tetraploid sort som blir anbefalt brukt i sørlige deler av landet og i fjellbygdene. Lea er en norsk, diploid sort som er regnet som en velegnet sort i Sør-Norge. Nordi er en norsk, diploid sort som også regnes som en velegnet sort i Sør-Norge, men den er tatt ut av markedet. Av de tre norske sortene brukt her er det Reipo som regnes som dårligst i Nord-Norge. Nordi, Reipo og Lea er alle tre regnet som middels tidlige sorter (Molteberg & Enger 2010). Fregata er en sveitsisk, tetraploid rødkløversort klassifisert som tidlig av sortseierne.

Alle plantene som ble brukt i forsøket ble sådd på samme tid i brett med Tjerbo gartnerjord (L.O.G.) med et tynt lag sand på toppen. Tre dager senere ble det observert spiring hos alle sortene og 19 dager etter såing ble plantene priklet over i pottes med størrelse 8x8x9 cm (volum 576 cm³) med en plante i hver potte. Det ble da brukt samme jord som tidligere, men ingen sand.

I oppalsperioden hadde plantene en daglengde på 12 timer. Lyset som plantene fikk bestod av dagslys supplert med HPI/HQI-lamper, fotonflyten var på ca. 130 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}$. Dagtemperaturen var i denne perioden 18 °C og natttemperaturen var 15 °C.

Tabell 2: Datoer for gjødsling igjennom forsøket og ledetall på gjødselvannet (mS/cm).

Dato	Tidspunkt i forsøk	Ledetall på gjødselvann (mS/cm)
23.okt		1,7
04.nov		2,5
07.jan	Ved behandlingsstart	2,3
07.feb	4,5 uker etter start	2,4
25.feb	7 uker etter start	2,2
11.mar	9 uker etter start	2,4
03.apr	12 uker etter start	1,5
29.apr	16 uker etter start	1,5

Gjødselvannet som ble brukt bestod av 600 g kalksalpeter (YARALiva Calcinit) og 800 g Kristalon Indigo (YARA, NPK 9-5-25) pr liter vann.

Etter ca. en måneds oppal startet en to måneder lang periode med lavtemperatur-behandling hvor temperaturen lå på 6° C gjennom hele døgnet og daglengden var på 8 timer. Lyset i denne perioden kom fra HPI/HQI-lamper og hadde fotonfluks 150 $\mu\text{mol}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$.

Gjennomsnittlig utviklingstrinn hos plantene var på det tidspunkt 3 skudd med totalt 10 blader (ca. V2). En slik kuldebehandling ble valgt for å være sikker på at eventuelle krav til kuldeperiode/vernalisering skal være oppfylt, derfor ble det også valgt å ha lang varighet på denne perioden slik at eventuelle krav til kulde skal være mettet. Ved slutten av perioden med kuldebehandling var gjennomsnittlig utviklingstrinn hos plantene 5 skudd med totalt 20 blader (ca. V3), men her viste det seg å være noen forskjeller mellom sortene (tabell 3). Lea lå noe over gjennomsnittet, mens Reipo lå noe under gjennomsnittet. Statistiske analyser viste at denne forskjellen var signifikant for de to sortene.

Tabell 3: Gjennomsnittlig utviklingstrinn, uttrykt i form av antall blader og skudd, og standardavvik for de fire sortene ved behandlingsstart.

Sort	Gjennomsnittlig antall blader	Standardavvik, blader	Gjennomsnittlig antall skudd	Standardavvik, skudd
Fregata	19,3	5,35	5,0	0,85
Lea	23,8	5,38	6,1	1,05
Nordi	20,4	5,23	5,5	0,80
Reipo	15,4	2,87	4,7	0,65
Alle	19,5	5,46	5,3	0,96

2.1.2. Forsøksprosedyre

Etter den to måneder lange kuldebehandlingen ble 22 planter fra alle fire sortene plassert i fytotron-kammer med forskjellige kombinasjoner av temperatur og daglengde (tabell 4). To av rommene, B og F, hadde nattsinking av temperaturen, her var det kun 21 planter fra noen av sortene. Nattsinkingen fulgte lyset, slik at rom B hadde 20 timer med 15° C og 4 timer med 9° C, og rom F hadde 16 timer med 17° C og 8 timer med 8° C. Dermed fikk begge rommene med nattsinking en gjennomsnittstemperatur på 14° C. De andre rommene hadde samme temperatur gjennom hele døgnet, uavhengig av lyset.

Tabell 4: Behandlingene med temperatur og daglengde som plantene i de ulike rommene fikk og antall planter med registrert strekning og antall planter med registrert knoppdanning i de ulike forsøksleddene.

Behandlinger			Antall planter i hver behandling med registrert strekning/knoppdanning.				
Rom	Temperatur (°C)	Daglengde (t)	Fregata	Lea	Nordi	Reipo	SUM
A	18	20	22/22	22/22	22/22	22/22	88/88
B	15/9 (nattsinking)	20	22/22	21/21	21/21	21/21	85/85
C	14	20	22/22	22/20	22/22	22/22	88/86
D	10	20	22/22	22/20	22/22	22/22	88/86
E	18	16	22/22	22/22	22/21	22/22	88/87
F	17/8 (nattsinking)	16	21/21	21/19	22/17	21/18	85/75
G	14	16	22/22	22/18	22/21	22/21	88/82
H	10	16	22/22	22/11	22/13	22/14	88/60
SUM			175/175	174/153	175/159	174/162	698/649

Som lyskilde ble det brukt HPI/HQI-lamper. I rommene med 16 timer daglengde (E, F, G og H) var fotonfluks 200 $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$. For å oppnå samme fotonsum («lyssum»), ble fotonfluks i rommene med 20 timer daglengde (A, B, C og D) senket til 160 $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$. Plantene ble vannet og gjødslet etter behov, ca. hver tredje uke (tabell 2). Det ble brukt samme gjødselblanding som under oppal.

Det ble oppdaget soppsykdom (sannsynligvis mjøldogg) på noen av plantene 1. februar, 4 uker etter start. Derfor ble alle rommene sprøytet med 1ml/l Forbel 750 (BASF, virksomt stoff fenopropimorf 750g/l) den 4. februar.

2.1.3. Registreringer

Dato for begynnende strekning (fenologisk trinn E0) ble registrert for alle planter i forsøket. Dato for begynnende knoppdanning (fenologisk trinn R0) ble registrert for de planter som nådde det stadiet i løpet av forsøket.

Alle registreringer av fenologi ble gjort etter metoden i tabell 1.

Fenologiske registreringer ble gjort en gang i uken på 2 tilfeldig utvalgte planter (tilfeldig utvalgt hver gang) fra hvert forsøksledd (totalt 64 planter). Etter hvert som plantene begynte å strekke seg og danne knopper, ble det vanskelig å gjennomføre fenologiregistrering uten å ødelegge plantene. Derfor ble det ikke gjort fenologiregistreringer gjennom hele perioden.

Det ble gjort registreringer på alle plantene for strekningstidspunkt og tidspunkt for knoppdanning. Ikke alle plantene dannet blomsterknopper på noen av sine skudd, tabell 4 viser antall planter med registrert knoppdanning.

Når alle plantene i et rom hadde blomstret, eller de gjenværende plantene var i en tilstand som tilsa at de sannsynligvis aldri kom til å blomstre (f.eks. syke/svake og «sterile» planter), ble behandlingen avsluttet for de gjeldende plantene. Etter 5 måneder ble behandlingen avsluttet uavhengig av hvor mange planter som ennå ikke hadde dannet knopper.

2.1.4. Statistisk analyse

Dette forsøket burde vært gjentatt, med separasjon enten i tid eller rom, for å få ekte gjentak. Ved å bruke resultatene som de er, og dermed regne hver enkelt plante som et gjentak, vil man få problemer med pseudoreplikasjon. Pseudoreplikasjon fører til at man får unormalt mange frihetsgrader og kunstig sterk signifikans i variansanalysen. I dette tilfellet kan pseudoreplikasjon unngås ved å ta gjennomsnitt av plantene i de ulike gruppene, altså de av samme sort innenfor samme behandling. Derfor ble de statistiske analysene utført på gjennomsnittet av plantene (tabell 11, 12 og 13 i vedlegget). Statistisk analyse ble utført for fire ulike responser; dager til strekning, døgngader til strekning, dager til knoppdanning og døgngader til knoppdanning.

Modellen som ble brukt til analysene:

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \tau_k + \alpha\beta_{ij} + \alpha\tau_{ik} + \beta\tau_{jk} + \epsilon_{ijk} \quad (8)$$

$i=16$ og 20 , $j=10$, 14 og 18 og $k=F$, L , N og R

Hvor

y_{ijk} = responsen dager/døgngrader til strekning/knoppdanning

μ = det totale gjennomsnitt

α_i = effekten av daglengden i

β_j = effekten av temperaturen j

τ_k = effekten av sorten k

$\alpha\beta_{ij}$ = effekten av interaksjonen mellom daglengden i og temperaturen j

$\alpha\tau_{ik}$ = effekten av interaksjonen mellom daglengden i og sorten k

$\beta\tau_{jk}$ = effekten av interaksjonen mellom temperaturen j og sorten k

ϵ_{ijk} = feilleddet $NID(0, \sigma^2)$

For testing av nattsinking ble følgende modell brukt:

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \tau_k + \alpha\beta_{ij} + \alpha\tau_{ik} + \beta\tau_{jk} + \epsilon_{ijk} \quad (9)$$

i = 16 og 20, j=0 og 1, k=F,L,N og R

Hvor

y_{ijk} = responsen dager til strekning/knoppdanning

μ = det totale gjennomsnittet

α_i = effekten av daglengden i

β_j = effekten av nattsinking j (0 = uten, 1 = med)

τ_k = effekten av sorten k

$\alpha\beta_{ij}$ = effekten av interaksjonen mellom daglengden i og nattsinking j

$\alpha\tau_{ik}$ = effekten av interaksjonen mellom daglengden i og sorten k

$\beta\tau_{jk}$ = effekten av interaksjonen mellom nattsinking j og sorten k

ϵ_{ijk} = feilleddet $NID(0, \sigma^2)$

Alle statistiske analyser ble utført i SAS 9.4 (SAS Institute, Cary NC). Signifikansnivå ble satt til 95% ($p=0,05$).

2.2. Modellering med feltdata

2.2.1. Innsamling av data

Klimadata ble hentet fra Lanbruksmeteorologisk tjeneste (LMT), og daglengde ble regnet fra soloppgang til solnedgang (solhøyde på 0°). Fenologiske data som ble brukt til tilpasningen av modellen kom fra to ulike prosjekt, «Mer og bedre grovfôr som basis for norsk kjøtt og melkeproduksjon» (Bakken et al. 2009), heretter kalt «mer og bedre», og «FORUT» (Bioforsk 2014). I «mer og bedre» ble det gjort fenologi-registreringer i rødkløver (sorten Nordi) dyrka i blanding med engsvingel og timotei på tre lokaliteter (Kvithamar i Stjørdal kommune, Løken i Øystre Slidre kommune og Særheim i Klepp kommune) over tre år (2004, 2005 og 2006). I «FORUT» ble det gjort fenologi-registreringer i rødkløver (sortene Varte og Reipo) dyrka i blanding med raigras, timotei og engsvingel på tre lokaliteter (Kvithamar, Fureneset i Fjaler kommune og Særheim) over to år (2012 og 2013). Det blir totalt 15 sett med registreringer, men grunnet ufullstendige registreringer og tørkeperioder er noen av dem ikke tatt med her, og vi sitter igjen med 8 sett med registreringer som er listet opp i tabell 5 sammen med antall planter registreringene er gjort på og dag for vekststart. Dagen for vekststart ble satt til den dagen da løpende 7-døgns middeltemperatur var 5°C eller høyere for første gang om våren.

Tabell 5; År (med startdag), lokalitet (med breddegrad og lengdegrad) og antall planter det er gjort registreringer på for datasettene brukt til tilpasning av modell. Dataene er hentet fra prosjektene «Mer og bedre» (2004-2006) og «FORUT» (2012-2013).

Lokalitet (N, Ø)	År (dagnummer for vekststart) -antall planter-		
Kvithamar (63.48795, 10.87994)	2005 (94)	2012 (86)	2013 (107)
	-ukjent-	-12-	-30-
Særheim (58.76053, 5.65078)	2004 (78)	2005 (85)	2013 (106)
	-10-	-10-	-30-
Fureneset (61.29272, 5.04428)		2012 (69)	2013 (106)
		-12-	-30-

På Kvithamar ble det, sommeren 2013, samlet inn data for å teste modellen opp mot, heretter kalt testdata. I den forbindelse ble det brukt kantruter fra verdiprøvingfelt og FORUT. Rødkløversort i rutene var Lea og Reipo og de ble dyrka i blanding med timotei, raigras og engsvingel.

Alle registreringer av fenologisk utvikling ble gjort etter metoden beskrevet i tabell 1 (Bakken et al. 2005; Moore et al. 1991). For FORUT og testdata ble registreringene gjort en gang i uken gjennom hele vekstsesongen på faste planter, altså de samme plantene hver gang. For «mer og bedre» på Kvithamar ble registreringene gjort i forkant av høsting på tilfeldige planter ved å klippe ut en lengdeenhet sårad for så å klassifisere hvert enkelt skudd hver for seg. For «mer og bedre» på Særheim ble registreringene gjort i ti faste planter utenfor høsteruta.

2.2.2. Tilpasning av modell

Modelleringsarbeidet er basert på tiden frem til begynnende stengelstrekning ($MSC = 2,0$) i tilpasning av modellen. Sluttdato, og mål for tilpasningen, ble derfor satt til å være den dagen hvor $MSC = 2,0 \pm 0,1$ (tabell 6).

Tabell 6: Registreringer hvor $MSC = 2,0 \pm 0,1$ ble brukt til å tilpasse modell.

Lokalitet	År	MSC	Dagnummer
Fureneset	2012	1,93	158
Fureneset	2012	2,04	160
Fureneset	2013	2,06	165
Fureneset	2013	2,06	170
Kvithamar	2005	2,03	155
Kvithamar	2012	1,98	159
Kvithamar	2012	1,97	167
Kvithamar	2012	1,93	174
Kvithamar	2013	2,01	160
Kvithamar	2013	1,91	163
Særheim	2004	1,91	139
Særheim	2005	1,94	146
Særheim	2013	2,04	158

Når modellen skulle tilpasses, ble det tatt utgangspunkt i den fototermale modellen som Bonesmo (2004) brukte (formel 2).

$$dF = \alpha(TD - TDb)(DL - DLb)$$

dF = daglig fremgang i fenologisk utvikling

α og β = koeffisient

TD = døgnmiddeltemperatur i °C.

TDb = basis døgnmiddeltemperatur i °C (Terskelverdi).

DL = daglengde i timer

DLb = basis daglengde i timer (terskelverdi)

Følgende restriksjoner ble lagt for modellen:

$$TD \geq TDb \quad \text{og} \quad DLb \leq DL \leq DLm$$

Det innebærer at hvis TD underskrider TDb, settes $(TD - TDb) = 0$, hvis DL underskrider DLb settes $(DL - DLb) = 0$ og hvis DL overskrider DLm settes $(DL - DLb) = (DLm - DLb)$.

Daglig fenologisk fremgang (dF) ble summert fra vekststart og frem til begynnende stengelstrekning (SdF). Målet var å finne den koeffisienten (α) og et sett med konstanter (TDb , DLb og DLm) som gav en summert fenologisk utvikling (SdF) nærmest mulig 2,0 den dagen hvor $MSC = 2,0 \pm 0,1$. De ukjente parameterne (α , TDb , DLb og DLm) som gav den beste tilpasningen ble funnet ved hjelp av gjentatte iterasjonssekvenser i programvaren SAS 9.4 (SAS Institute, Cary NC). Valgte å starte vidt med følgende parametere:

$$\alpha = 0,0004, 0,0022 \text{ og } 0,0040$$

$$TDb = 0, 1, 2, 3 \text{ og } 4$$

$$DLb = 6, 7, 8 \text{ og } 9$$

$$DLm = 12, 17 \text{ og } 22$$

Det ble prøvd stadig snevrere intervaller for de fire ukjente, kvadratsum = $(SdF - MSC)(SdF - MSC)$ ble brukt som mål på hvor god tilpasningen var og ble retningsgivende for valg av nye intervaller for hver av de fire ukjente for hver nye runde med iterasjon. Dette ble gjort frem til det ikke lenger ble mulig å oppnå større presisjon, i form av lavere kvadratsum.

Modellen med de tilpassede parameterne ble deretter prøvd ut på testdata. Også her ble kvadratsum brukt som mål på hvor god tilpasningen var.

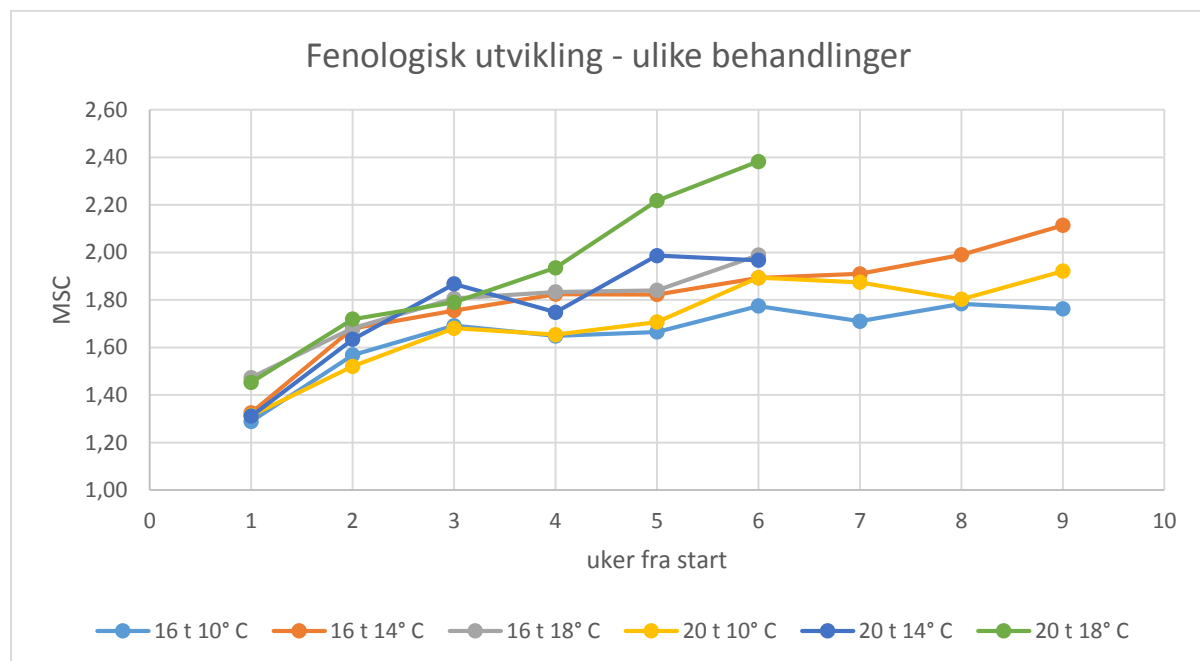
$$\text{Kvadratsum} = (\text{Kalkulert MSC} - \text{observert MSC})(\text{Kalkulert MSC} - \text{observert MSC})$$

3. Resultater

3.1. Forsøk i fytotron

3.1.1. Fenologisk utvikling

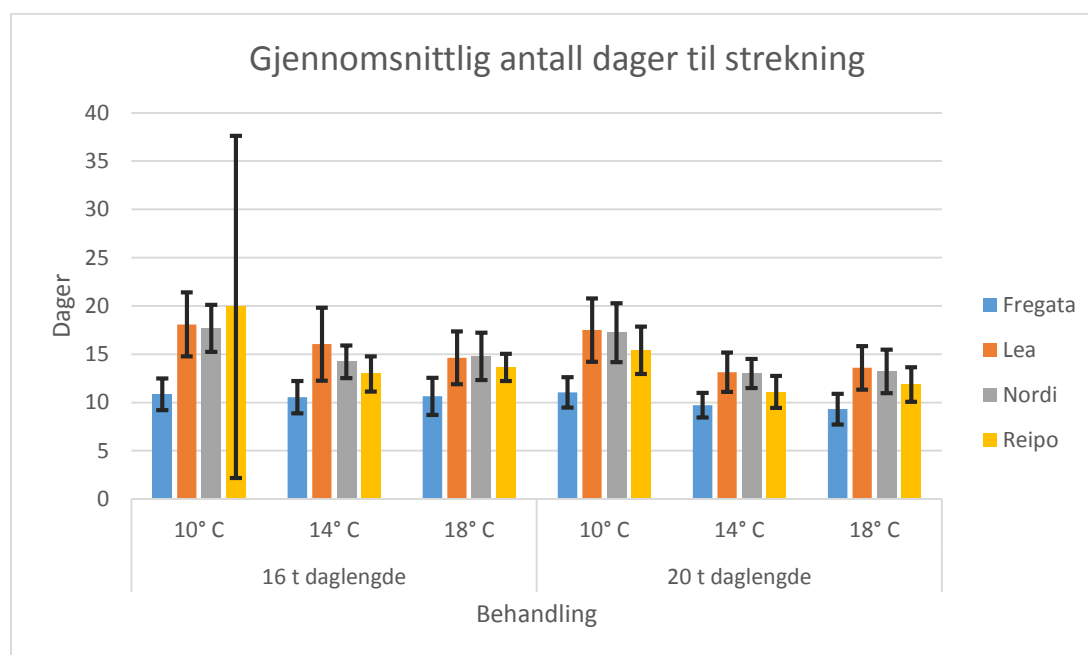
Figur 1 viser fenologisk stadium, uttrykt ved «mean stage by count» (MSC), over den første tiden for de ulike behandlingene. Det er tydelig at plantene som hadde lang dag (20 timer) og høyest temperatur (18 grader) utviklet seg raskere enn de som hadde kort dag (16 timer) og lavest temperatur (10 grader). Nest tregest var plantene som hadde fått lang dag og lavest temperatur, deretter er det veldig likt mellom de resterende plantene. Plantene som hadde lang dag og middels temperatur hadde raskest utvikling mellom uke 2 og 3. Deretter gikk den tilbake noen trinn i uke 4 før utviklingen tok seg opp igjen. I uke fire ble det oppdaget soppsykdom på plantene, det kan være grunnen til denne tilbakegangen i utviklingstrinn.



Figur 1: Fenologisk utvikling, basert på «mean stage by count» (MSC), for de ulike behandlingene de første ukene.

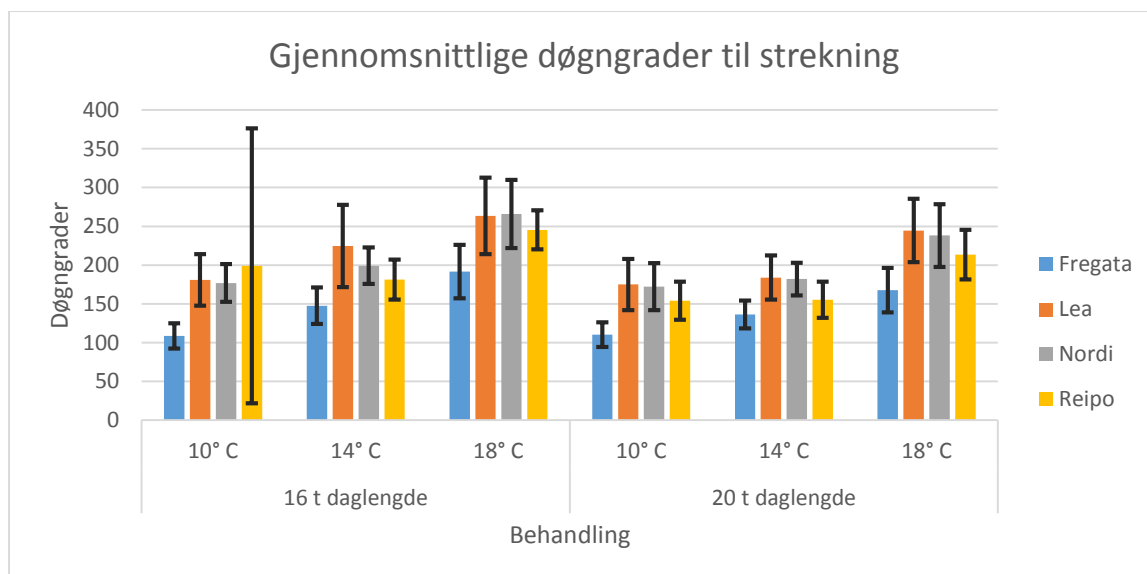
3.1.2. Effekt av temperatur og daglengde på strekning

Både figur 2 og 3 viser forskjeller i utviklingshastighet mellom behandlinger og mellom sorter, noe som også støttes av de statistiske undersøkelsene i tabell 7. Alle de tre forsøksfaktorene daglengde, temperatur og sort viser signifikant påvirkning på tiden til strekning, både når den er målt i dager og når tiden er målt i døgngader. Utviklingstiden er kortere for den lengste daglengden (20 timer) enn for den korteste daglengden (16 timer). Det er færre dager til strekning når temperaturen er 14°C enn når temperaturen er 10°C. Det er også færre dager til strekning når temperaturen er 18°C enn når temperaturen er 14°C. Når tiden måles i døgngader blir fortsatt utviklingshastigheten påvirket av temperatur, men antall døgngader til strekning økte etter som temperaturen økte. Tiden til strekning målt i dager blir påvirket av samspillet mellom temperatur og daglengde, men vi ser ikke det samme når tiden blir målt i døgngader.



Figur 2: Gjennomsnittlig antall dager til strekning fordelt på behandling og sort, hvor behandling her er ulike kombinasjoner av daglengde og temperatur. Gjennomsnittet er basert på 22 planter (n). De sorte søylene angir +/- standardavviket.

En enkelt plante av sorten Reipo i behandlingsgruppen med kortest dag og lavest temperatur (16 timer og 10°C) var veldig sen til å starte strekning, først etter 98 dager hadde den begynt å strekke seg, mens gjennomsnittet for gruppen var 20 dager. Dette førte til et veldig stort standardavvik for denne forsøksgruppen.



Figur 3: Figuren viser gjennomsnittlige døgngnader til strekning fordelt på behandling og sort, hvor behandling er ulike kombinasjoner av daglengde og temperatur. Gjennomsnittet er basert på 22 planter (n). De sorte søylene angir +/- standardavviket.

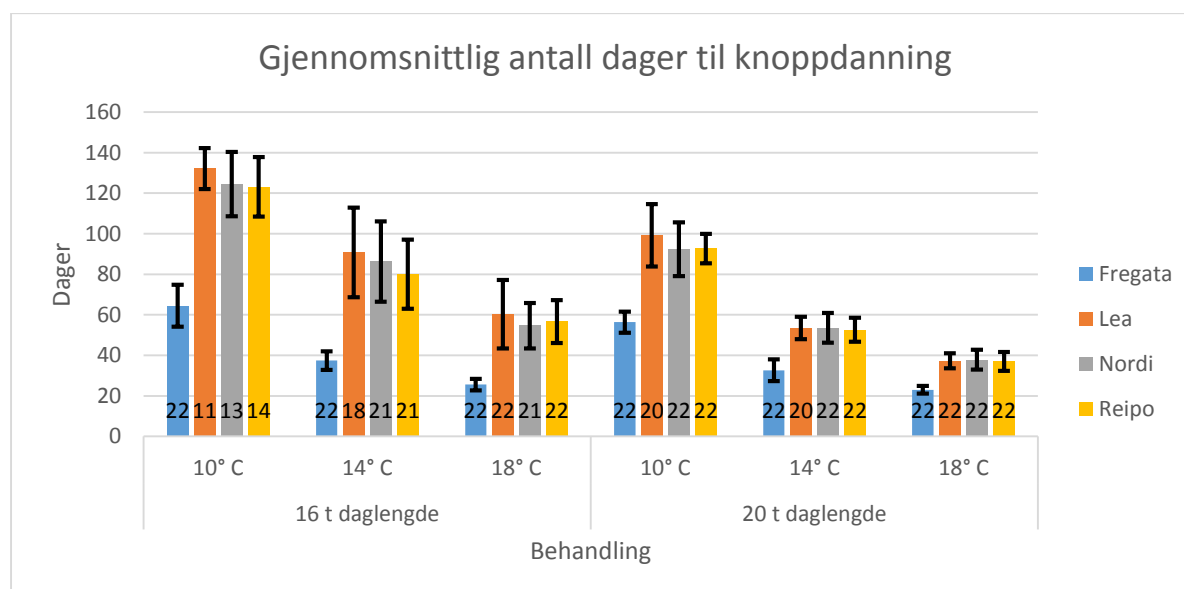
Fregata ser ut til å bli mindre påvirket av temperatur enn de andre tre sortene når daglengden er 16 timer i figur 2, dette blir avkreftet av statistikken i tabell 7, hvor det ikke er signifikante samspill mellom sort og temperatur. Noen slik sammenheng vises heller ikke når tiden blir målt i døgngnader (figur 3).

Tabell 7: Tabellen viser resultatene av variansanalysen (ANOVA) med responsene dager til strekning og døgngnader til strekning. Verdiene viser frihetsgrader (FG) og middelkvadrat (MS), signifikansnivå er gitt ved * = 0.05, ** = 0.01, *** = 0.001 og IS = ikke signifikant.

Kilde til variasjon	FG	MS	
		Dager til strekning	Døgngnader til strekning
Daglengde	1	5,95 **	2633 **
Temperatur	2	17,7 ***	10416 ***
Sort	3	32,6 ***	5740 ***
Daglengde*Temperatur	2	1,96 *	87 is
Daglengde*Sort	3	0,23 is	148 is
Temperatur*Sort	6	1,21 is	192 is
Residual	6	0,33	88

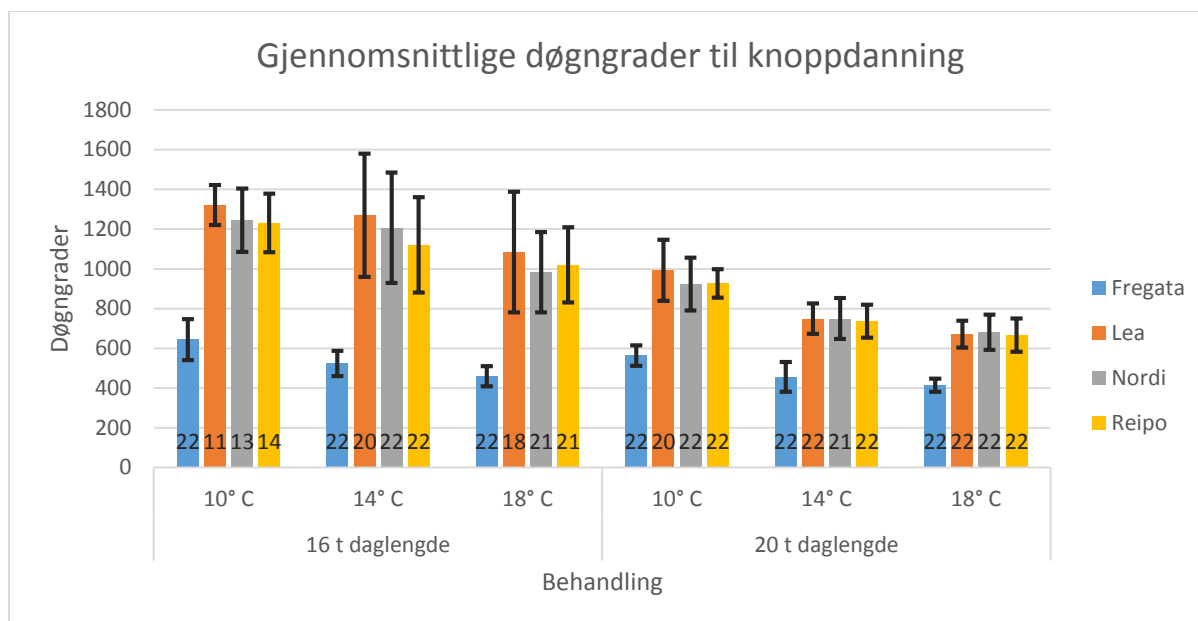
3.1.3. Effekt av temperatur og daglengde på knoppdanning

Resultatene viste at høyere temperatur reduserte antall dager til knoppdanning for alle de fire sortene, og at utviklingen her var tilnærmet lineær (figur 4). Lengre dag gav kortere tid til knoppdanning for de tre nordiske sortene, mens dette ikke var tilfelle hos den sveitsiske sorten Fregata. Dette støttes av den statistiske analysen (tabell 8) som viser signifikant samspill mellom sort og daglengde, både når tid regnes i dager og når den regnes i døgngader. Sorten Fregata bruker kortest tid til knoppdanning når temperaturen er 18° C, uavhengig av daglengde. Lengst tid bruker den når daglengden er 20 timer og temperaturen er 10° C. Sorten Lea bruker kortest tid til knoppdanning når daglengden er 20 timer og temperaturen er 18° C. Lengst tid bruker den når daglengden er 16 timer og temperaturen er 10° C. Det samme gjelder for sortene Nordi og Reipo.



Figur 4: Figuren viser gjennomsnittlig antall dager til knoppdanning fordelt på behandling og sort. Verdiene i dataetikettene angir antall planter(n) gjennomsnittet er basert på. De sorte søylene angir +/- standardavviket.

Når tiden til knoppdanning regnes i dager påvises det signifikant samspill mellom temperatur og sort, og også mellom daglengde og temperatur. Samspillet mellom temperatur og sort blir ikke signifikant når tiden til knoppdanning regnes i døgngader, mens samspillet mellom temperatur og daglengde er signifikant også når tiden til knoppdanning regnes i døgngader.



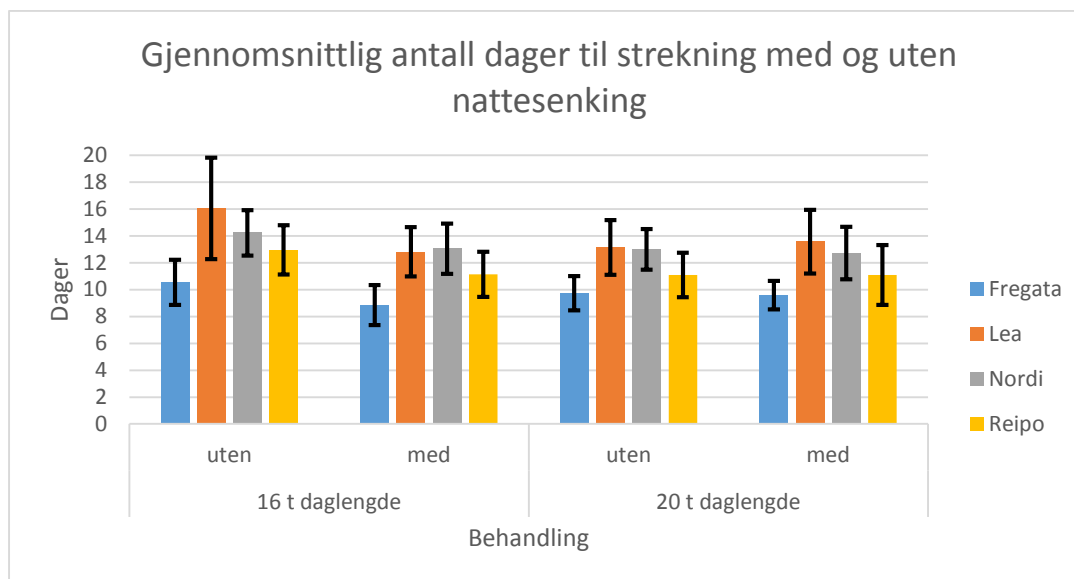
Figur 5: Figuren viser gjennomsnittlige døgngrader til knoppdanning fordelt på behandling og sort. Verdiene i dataetikettene angir antall planter(n) gjennomsnittet er basert på. De sorte søylene angir +/- standardavviket.

Alle tre forsøksfaktorene daglengde, temperatur og sort viser signifikant påvirkning på tiden til knoppdanning, både når den er målt i dager og når tiden er målt i døgngrader. Når tiden måles i døgngrader blir fortsatt utviklingshastigheten påvirket av temperatur (figur 5). I motsetning til resultatene for strekning (figur 3), ser man for tiden til knoppdanning at tiden avtar med økende temperatur både når tiden regnes i dager og når den regnes i døgngrader.

Tabell 8: Tabellen viser resultatene av variansanalysen (ANOVA) med responsene dager til knoppdanning og døgngrader til knoppdanning. Signifikansnivå er gitt ved * = 0.05, ** = 0.01, *** = 0.001 og IS = ikke signifikant.

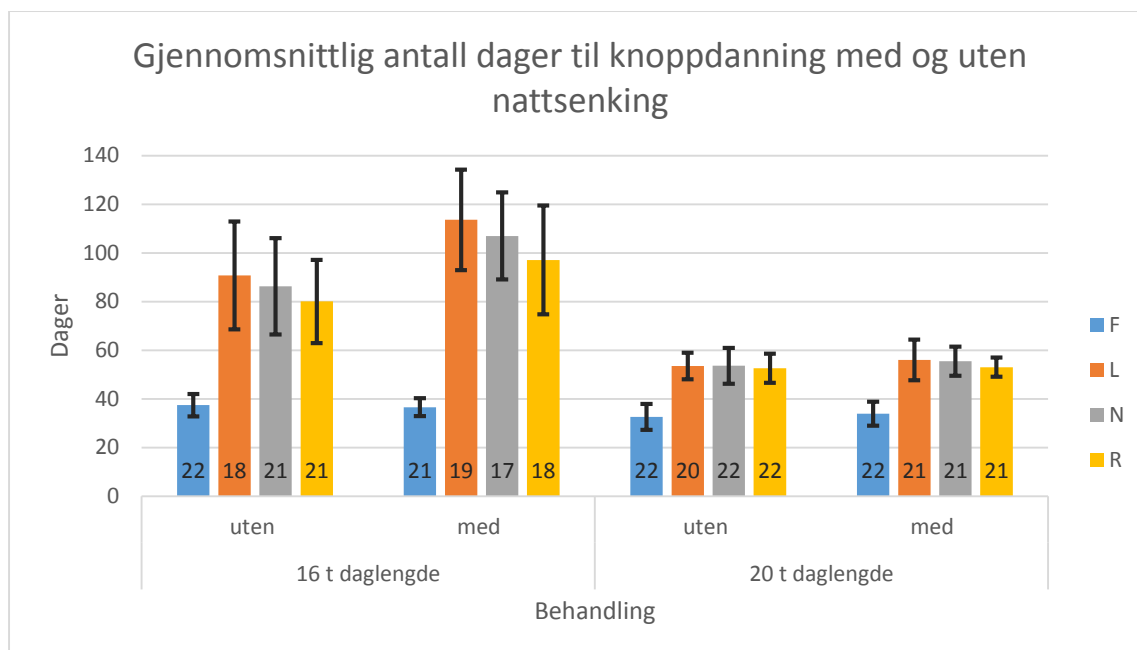
Kilde til variasjon	FG	MS	
		Dager til knoppdanning	Døgngrader til knoppdanning
Daglengde	1	2986***	534266***
Temperatur	2	6619***	109513***
Sort	3	1965***	331050***
Daglengde*Temperatur	2	70**	5403 ^{IS}
Daglengde*Sort	3	203***	37959***
Temperatur*Sort	6	99**	1546 ^{IS}
<i>Residual</i>	6	5,7	1241

3.1.4. Effekt av nattsenking på strekning og knoppdanning



Figur 6: Figuren viser gjennomsnittlig antall dager til strekning fordelt på behandling og sort. Gjennomsnittstemperatur er i dette tilfellet 14° C for alle behandlingene. Gjennomsnittet er basert på 21-22 planter (n). De sorte søylene angir +/- standardavviket.

Nattsenking av temperaturen gav ingen signifikant virkning hverken på tiden til strekning eller tiden til knoppdanning (tabell 9). Dette er også tydelig av figur 6 og 7 hvor standardavvikene er store. Dersom man utelukkende ser på gjennomsnittet ser man forskjeller, spesielt når daglengden er 16 timer (figur 6 og 7).



Figur 7: Figuren viser gjennomsnittlig antall dager til knoppdannning fordelt på behandling og sort. Verdiene i dataetikettene angir antall planter(n) gjennomsnittet er basert på. De sorte søylene angir +/- standardavviket.

Det ble ikke funnet at daglengde hadde signifikant påvirkning på tiden til strekning i denne delen av forsøket (tabell 9), i motsetning til tidligere (tabell 7). Det signifikante samspillet mellom daglengde og sort for tiden til knoppdannning i tabell 8, forsterkes av resultatene i tabell 9.

Tabell 9: Tabellen viser resultatene av variansanalysen (ANOVA). Signifikansnivå er gitt av * = 0.05, ** = 0.01, *** = 0.001 og IS = ikke signifikant.

Kilde til variasjon	FG	MS	
		Dager til strekning	Dager til knoppdannning
Daglengde	1	1,72 ^{is}	4156 ^{**}
Natt	1	3,47 ^{is}	271 ^{is}
Sort	3	14,4 ^{**}	1624 ^{**}
Daglengde*Natt	1	3,50 ^{is}	180 ^{is}
Daglengde*Sort	3	0,19 ^{is}	384 [*]
Natt*Sort	3	0,11 ^{is}	31 ^{is}
<i>Residual</i>	3	0,38	28

3.2. Modell for fenologisk utvikling i rødkløver

Etter utallige iterasjonssekvenser ble de parameterne som gav den best tilpassede fototermale modellen funnet å være:

$$\alpha = 0,00079, \text{TD}b = 0,00, \text{DL}b = 6,0 \text{ og } \text{DL}m = 12,0$$

De gav følgende modell:

$$dF = 0,00079 (TD - 0,00)(DL - 6,0) \quad (10)$$

Hvor:

dF = daglig fenologisk fremgang

TD = døgnmiddeltemperatur i °C

DL = daglengde i timer

Tilpasningen hadde en gjennomsnittlig kvadratsum på 0,1058 (standardavvik = 0,0972) og gjennomsnittlig MSC på 1,87 (standardavvik = 0,343)

Det ble forsøkt å «følge» kvadratsummen ved å utvide intervallet for parameterne ytterligere, dette førte til at beste tilpasning gav en basetemperatur (TD_b) på -20°C. En så lav basetemperatur gav ingen mening biologisk sett, så nedre grense for basetemperatur ble satt til 0°C.

Tabell 10: Testing av fotothermal modell. For hver registrering, med dagnummer (dnr) og sort er det oppgitt den observerte MSC (MSC), den estimerte MSC (estMSC) og kvadratsummen (kvs) som angir størrelsesgrad på avviket mellom den observerte og den estimerte MSC.

dnr	sort	MSC	estMSC	kvs
126	Lea	1,06	1,83	0,56
126	Reipo	1,09	1,83	0,60
133	Lea	1,24	2,50	1,52
133	Reipo	1,26	2,50	1,59
140	Lea	1,34	3,52	4,74
140	Reipo	1,34	3,52	4,76
147	Lea	1,61	4,34	6,66
147	Reipo	1,76	4,34	7,45
154	Lea	1,97	5,51	12,23
154	Reipo	2,02	5,51	12,56
161	Lea	2,05	6,36	18,28
161	Reipo	2,08	6,36	18,54
168	Lea	1,39	7,33	26,48
168	Reipo	2,19	7,33	35,31
175	Lea	1,55	8,47	36,25
175	Reipo	2,45	8,47	47,87
182	Lea	1,58	9,64	50,26
182	Reipo	2,55	9,64	64,94
189	Lea	1,50	10,77	66,23
189	Reipo	2,63	10,77	85,86

Resultat av testing av modellen mot innsamlet felldata er vist i tabell 10. Modellen gav en upresis tilpasning. Kvadratsummen øker veldig gjennom hele løpet, og på dag nummer 189 (8. juli) er den estimerte MSC kommet opp i 10,77 og godt utenfor MSC-skalaen. Observert MSC på det tidspunkt var 2,63, altså før stadiet for danning av blomsterknopp (3,0). Det er ingen forskjell mellom hvor presis modellen er for de to sortene (Lea og Reipo).

4. Diskusjon

4.1. Blir tiden rødkløverplantene bruker til strekning og knoppdanning påvirket av daglengde og temperatur? Er det sortsforskjeller?

Både tiden fra vekststart til strekning og til knoppdanning ble, som forventet, påvirket av døgnmiddeltemperatur og sort. Det var forventet at ettersom døgnmiddeltemperaturen nærmet seg den optimale temperaturen for utvikling på 20-25°C (Frame et al. 1998), ville utviklingen gå raskere. Det var også forventet at tidspunktet for strekning og knoppdanning skulle variere mellom sorter, særlig med tanke på at det med hensikt ble tatt med en kjent tidlig sort fra Sveits. Selv om Vince-Prue (1975) stadfestet at daglengdekravet for rødkløver er 12 timer, var det forventet at daglengde skulle ha signifikant innvirkning på tiden til strekning og knoppdanning. Dette med bakgrunn i sortsforskjellene Keller og Peterson (1950) fant og de ulike sortene som ble benyttet her. Funnene viser at disse rødkløversortene har kvantitativ respons på daglengde i tid til strekning og tid til knoppdanning, med unntak av tid til knoppdanning for Fregata. Tiden til knoppdanning ble ikke påvirket av daglengde for den sveitsiske sorten Fregata, men det ble den for de tre norske sortene som var med. Det kan skyldes at Fregata har et sørligere opphav hvor det er kortere daglengder og ikke behov for noe sterkere langdagskrav, mens de norske sortene vil ha mindre grad av blomstring i Sveits enn i Norge. Sannsynligvis har daglengdekravet til Fregata blitt mettet av daglengde på 16 timer.

For tiden til stengelstrekning så man her at temperatur-effekten endret seg dersom tiden ble regnet i døgngrader i stedet for dager. Antall dager til strekning minker ettersom temperaturen øker, mens antall døgngrader til strekning øker ettersom temperaturen øker. Med andre ord gir det en motsatt effekt. Tiden til knoppdanning minker med økende temperatur, uavhengig av om tiden måles i dager eller døgngrader. Altså har temperatur større innflytelse på tiden til knoppdanning enn tiden til strekning, det må bety at temperatur har veldig stor innvirkning på tiden fra stengelstrekning til knoppdanning og blomstring.

4.2. Vil nattsinking av temperaturen påvirke strekning og knoppdanning hos rødkløver? Er det sortsforskjeller?

Litteraturen tilsier at stengelstrekning blir redusert når temperaturen er høyere på dagen enn om natten (Stavang et al. 2005), da skulle man også tro at nattsinking av temperaturen ville kunne øke stengelstrekning. Her hadde nattsinking av temperaturen ingen signifikant betydning for tid til strekning og blomstring. Det kan tyde på at det er tilstrekkelig å bruke samme temperatur gjennom hele døgnet for slike forsøk. Allikevel så det ut som det kunne være en effekt av nattsinking av temperaturen når daglengden var 16 timer, den effekten var i så fall så liten her at den ikke kunne detekteres i statistikk.

4.3. Kan modellen for fenologisk utvikling hos timotei og engsvingel som er utviklet av Bonesmo (2004), tilpasses og brukes for å simulere fenologisk utvikling hos rødkløver?

En basetemperatur (TDb) på 0,00 er marginalt lavere enn hva Bonesmo (2004) fant for timotei og engsvingel. Rødkløver har høyere optimal temperatur enn timotei og engsvingel, så det ville være sannsynlig å tro at basetemperaturen skulle vært høyere for rødkløver og ikke lavere som den er her. Når man ser på resultatene fra daglengdeforsøket, ser man at også daglengder over 12 timer påvirker utviklingshastigheten frem til strekning. Det gir grunn til å betvile modellen som her har en maksimal daglengde på 12 timer. Testen som ble gjennomført på modellen for fenologisk utvikling i rødkløver, viste at modellen ikke ble presis nok (tabell 10). Alt dette bygger opp under argumentet for at denne tilpasningen ikke fungerte. Allikevel kan det fungere å tilpasse modell til rødkløver basert på det som er brukt i timotei, men da må det tas utgangspunkt i den kunnskap som er om rødkløver. Resultatene fra daglengdeforsøket tyder på at man bør ha separate modeller for tiden til stengelstrekning og tiden til blomstring, slik som Bonesmo (2004) gjorde for timotei og engsvingel. Han satte et felles tidspunkt for strekning for hele populasjonen, når 50 % var i strekning. I tilpasningen til bruk i rødkløver ble det brukt $MSC = 2,0$ som mål for når plantene var i strekning, men realiteten er at når MSC nådde 2,0 var nok en del av skuddene også i blomstring ettersom det i rødkløver ofte er skudd i alle de primære utviklingstrinnene samtidig. Så det kan tenkes at et lavere nivå for MSC burde brukes som mål på tiden frem til strekning. Dersom det allikevel viser seg å ikke være mulig å tilpasse Bonesmo (2004) sin modell til rødkløver kan det være,

som han også nevner i sin diskusjon, at en modell som tar hensyn til dag- og natttemperaturer (eventuelt maksimale og minimale temperaturer), i stedet for gjennomsnittlig døgntemperatur, hadde gitt en bedre tilpasning.

Et stort problem når man skal lage en slik modell er mangelen på langvarige forsøk på faste lokaliteter (ikke nødvendigvis samme åkerlapp, men i samme lokalklima) på flere steder i landet, gjerne med samme sort. For at en modell skal bli robust, er det viktig at datasettet den blir utviklet med dekker mange nok ulike vekstsesonger.

5. Konklusjon

Tiden rødkløverplantene brukte til strekning og knoppdanning ble kortere med lengre dag og høyere temperatur. Dersom man regnet tiden i døgngader endret dette seg for tiden til strekning, det skulle færre døgngader til for å nå strekning ved lave temperaturer enn ved høye temperaturer. For tiden til knoppdanning gikk utviklingen raskere med høyere temperatur uavhengig av om tiden ble målt i dager eller døgngader. Temperatur påvirket tiden til knoppdanning i større grad enn tiden til strekning.

Daglegdekravet hos disse fire rødkløversortene viste seg her å være kvantitativt, lengre dag gav større grad av blomstring. Fregata hadde mindre krav til daglengde enn de andre sortene. Man kunne i sammenligning mellom rom med og uten nattsinking se tendenser til at nattsinking av temperaturen påvirket tiden til strekning og knoppdanning når daglengden var 16 timer (men ikke når den var 20 timer), men det var ikke tilstrekkelig til å få signifikante utslag.

De innsamlede feltdataene fra ulike lokaliteter i landet utgjorde ikke et godt eller bredt nok grunnlag for å tilpasse en fenologimodell for gras til rødkløver. Modellen ble parametrisert, men simuleringene mot klimadata gav ikke resultater som var i overensstemmelse med observasjoner av fenologisk utviklingstrinn i et testdatasett. Resultatene fra forsøket der rødkløver ble dyrket i regulert klima tyder likevel på at en modell med temperatur og daglengde som drivere kan utvikles.

6. Referanser

- Aitken, Y. (1964). Flower initiation in pasture legumes. IV. Flower initiation in *Trifolium pratense* L. . *Australian Journal of Agricultural Research* 14: 21-36.
- Aman, P. & Nordkvist, E. (1983). Chemical-Composition and Invitro Degradability of Major Chemical-Constituents of Red-Clover Harvested at Different Stages of Maturity. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 34 (11): 1185-1189.
- Bakken, A. K., Bonesmo, H., Ekker, A. S. & Langerud, A. (2005). Fenologisk utvikling hos grovfôrvekstar vurdert etter ein numerisk skala. *Grønn kunnskap*, 9 (3): 80-90.
- Bioforsk. (2014). *FORUT*. Tilgjengelig fra: http://www.bioforsk.no/ikbViewer/page/prosjekt/hovedtema?p_dimension_id=95365&p_menu_id=95379&p_sub_id=95366&p_dim2=95366 (lest 10.12.2014).
- Bonesmo, H. (2004). Phenological development in timothy and meadow fescue as related to daily mean temperature and day length. *Grassland Science in Europe*, 9: 799-801.
- Frame, J., Charlton, J. F. L. & Laidlaw, A. S. (1998). Red Clover. I: Charlton, J. F. L. & Laidlaw, A. S. (red.) *Temperate forage legumes*, s. 181-224. Wallingford: Wallingford : CAB International.
- Gustavsson, A. M. (2011). A developmental scale for perennial forage grasses based on the decimal code framework. *Grass and Forage Science*, 66 (1): 93-108.
- Homb, T. (1953). Chemical composition and digestibility of grassland crops. *Acta Agriculturae Scandinavica*, 3 (1): 1-32.
- Keller, E. R. & Peterson, M. L. (1950). EFFECT OF PHOTOPERIOD ON RED CLOVER AND TIMOTHY STRAINS GROWN IN ASSOCIATION. *Agronomy Journal*, 42 (12): 598-603.
- LMT. *Landbruksmeteorologisk tjeneste*. Tilgjengelig fra: <http://lmt.bioforsk.no/> (lest 12.12.2014).
- Lunnan, T. (1989). Effects of photoperiod, temperature and vernalization on flowering and growth in high-latitude populations of red clover. *Norwegian Journal of Agricultural Sciences*, 3: 201-210.
- Moore, K. J., Moser, L. E., Vogel, K. P., Waller, S. S., Johnson, B. E. & Pedersen, J. F. (1991). Describing and Quantifying Growth-Stages of Perennial Forage Grasses. *Agronomy Journal*, 83 (6): 1073-1077.

- Mueller, L., Behrendt, A., Schalitz, G. & Schindler, U. (2005). Above ground biomass and water use efficiency of crops at shallow water tables in a temperate climate. *Agricultural Water Management*, 75 (2): 117-136.
- Rao, S. & Stephen, W. P. (2009). Bumble bee pollinators in red clover seed production. *Crop Science*, 49 (6): 2207-2214.
- Skipp, R. & Christensen, M. (1990). Selection for persistence in red clover: influence of root disease and stem nematode. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 33 (2): 319-333.
- SNL. (2012). *Fenologi*. Store Norske Leksikon. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/fenologi> (lest 09.12.2014).
- Stavang, J. A., Lindgård, B., Erntsen, A., Lid, S. E., Moe, R. & Olsen, J. E. (2005). Thermoperiodic stem elongation involves transcriptional regulation of gibberellin deactivation in pea. *Plant physiology*, 138 (4): 2344-2353.
- Thorsen, S. M. & Höglind, M. (2010). Assessing winter survival of forage grasses in Norway under future climate scenarios by simulating potential frost tolerance in combination with simple agroclimatic indices. *Agricultural and forest meteorology*, 150 (9): 1272-1282.
- Vince-Prue, D. (1975). *Photoperiodism in plants*. London: McGraw-Hill. XIV, 444 s. : ill. s.
- VIPS. *Grovfôrmodellen*. Tilgjengelig fra: <http://www.vips-landbruk.no/models/mo1001s.jsp> (lest 11.12.2014).
- Zadoks, J. C., Chang, T. T. & Konzak, C. F. (1974). A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed research*, 14 (6): 415-421.

7. Vedlegg

Tabell 11: Gjennomsnittlige antall dager til strekning og knoppdanning for de fire sortene og de ulike behandlingene. Tabellen viser også antall planter(n) og standardfeilen til gjennomsnittet (SEM).

			Dager til					
			Knoppdanning			Strekning		
daglengde	temperatur	sort	Gjennomsnitt	n	SEM	Gjennomsnitt	N	SEM
16	10	F	64,5	22	2,20	10,9	22	0,35
		L	132,2	11	3,04	18,1	22	0,71
		N	124,5	13	4,41	17,7	22	0,52
		R	123,1	14	3,92	19,9	22	3,78
	14	F	37,4	22	0,97	10,5	22	0,36
		L	90,7	18	5,21	16,0	22	0,81
		N	86,2	21	4,33	14,2	22	0,36
		R	80,0	21	3,73	13,0	22	0,39
	18	F	25,5	22	0,61	10,6	22	0,41
		L	60,3	22	3,60	14,6	22	0,58
		N	54,6	21	2,46	14,8	22	0,52
		R	56,7	22	2,25	13,6	22	0,30
20	10	F	56,4	22	1,11	11,0	22	0,34
		L	99,3	20	3,44	17,5	22	0,70
		N	92,4	22	2,83	17,2	22	0,65
		R	92,7	22	1,54	15,4	22	0,52
	14	F	32,6	22	1,15	9,7	22	0,27
		L	53,5	20	1,22	13,1	22	0,43
		N	53,6	22	1,57	13,0	22	0,32
		R	52,6	22	1,27	11,1	22	0,35
	18	F	23,0	22	0,39	9,3	22	0,34
		L	37,3	22	0,80	13,6	22	0,48
		N	37,8	22	1,05	13,2	22	0,48
		R	37,0	22	1,00	11,9	22	0,38

Tabell 12: Gjennomsnittlige antall døgngader til strekning og knoppdanning for de fire sortene og de ulike behandlingene. Tabellen viser også antall planter(n) og standardfeilen til gjennomsnittet (SEM).

daglengde	temperatur	sort	Døgngader til					
			Knoppdanning			Strekning		
			Gjennomsnitt	n	SEM	Gjennomsnitt	n	SEM
16	10	F	644,5	22	22,04	22	108,6	3,50
		L	1321,8	11	30,45	22	180,9	7,08
		N	1245,4	13	44,11	22	176,8	5,20
		R	1231,4	14	39,25	22	199,1	37,77
	14	F	523,7	22	13,59	22	147,6	5,02
		L	1270,1	18	73,01	22	224,6	11,30
		N	1207,3	21	60,57	22	199,2	5,04
		R	1120,7	21	52,29	22	181,4	5,49
	18	F	459,8	22	10,90	22	191,5	7,35
		L	1084,9	22	64,79	22	263,5	10,50
		N	983,1	21	44,22	22	265,9	9,40
		R	1020,3	22	40,41	22	245,5	5,37
20	10	F	563,6	22	11,06	22	110,5	3,39
		L	992,5	20	34,37	22	175,0	7,02
		N	923,6	22	28,33	22	172,3	6,48
		R	926,8	22	15,35	22	154,1	5,21
	14	F	456,3	22	16,05	22	136,2	3,82
		L	749,0	20	17,07	22	183,9	6,06
		N	750,3	22	21,99	22	182,0	4,51
		R	736,9	22	17,80	22	155,3	4,95
	18	F	414,0	22	7,11	22	167,7	6,08
		L	671,7	22	14,33	22	244,6	8,68
		N	680,7	22	18,90	22	238,1	8,62
		R	666,8	22	17,98	22	213,5	6,83

Tabell 13: Gjennomsnittlige antall dager til strekning og knoppdanning for de fire sortene og de ulike behandlingene. Tabellen viser også antall planter(n) og standardfeilen til gjennomsnittet (SEM).

daglengde	nattsenking	sort	Dager til					
			Knoppdanning			Strekning		
			Gjennomsnitt	N	SEM	Gjennomsnitt	N	SEM
16	uten (0)	F	37,4	22	0,97	10,5	22	0,36
		L	90,7	18	5,21	16,0	22	0,81
		N	86,2	21	4,33	14,2	22	0,36
		R	80,0	21	3,73	13,0	22	0,39
	med (1)	F	36,6	21	0,80	8,9	21	0,33
		L	113,6	19	4,73	12,8	21	0,40
		N	106,9	17	4,34	13,0	22	0,40
		R	97,1	18	5,27	11,1	21	0,37
20	uten (0)	F	32,6	22	1,15	9,7	22	0,27
		L	53,5	20	1,22	13,1	22	0,43
		N	53,6	22	1,57	13,0	22	0,32
		R	52,6	22	1,27	11,1	22	0,35
	med (1)	F	33,9	22	1,06	9,6	22	0,22
		L	56,0	21	1,82	13,6	21	0,52
		N	55,5	21	1,30	12,7	21	0,43
		R	53,0	21	0,87	11,1	21	0,49



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Postboks 5003
NO-1432 Ås
67 23 00 00
www.nmbu.no