



Noregs miljø- og  
biovitenskapelige  
universitet

Masteroppgåve 2016 60 stp.  
Institutt for plantevitenskap

## **Ikkje-destruktive målemetodar på eple.**

Ingvill Hauso  
Plantevitenskap



# 1 FORORD

---

Denne oppgåva vart skriva som ein del av mastergradstudiet i Plantevitenskap ved Norges miljø- og biovitenskaplige universitet (NMBU), Institutt for plantevitenskap (IPV). Oppgåva vart gjennomført som ein del av prosjektet «Teknofrukt» - eit samarbeidsprosjekt mellom Norsk institutt for bioøkonomi (NIBIO), Nofima og fleire næringslivsaktørar. Forsøka vart gjennomført ved NIBIO sin forsøksstasjon på Lofthus, Ullensvang.

I arbeidet med denne oppgåva er det mange som har bidrege og som eg gjerne vil takka. Takk til rettleiarane mine Siv Fagertun Remberg, Jorunn Børve og Jens Petter Wold, som alle har bidrege med god rettleiing, tips og motivasjon gjennom heile arbeidsperioden.

For den praktiske gjennomføringa av prosjektet ved NIBIO, Ullensvang har Marianne Frimann Nilsen vore ei stor hjelp og støtte. Hennar gode humør og sans for systematisk arbeidsmetode gjorde lange dagar på laboratoriet til ein lek.

Vidare vil eg retta ein takk til Magnus Opedal og Kjetil Lerfall for bidrag av eple til forsøka og til Kristian Hovde Liland for god hjelp når mine egne statistikkunnskapar ikkje strakk til.

Til slutt; ein stor takk til BAMA og Gartnarhallen for tildeling av stipend. Det har gjort det mogeleg for meg å fokusere fullt og heilt på oppgåva.

Ås, 13. mai 2016

Ingvill Hauso

## 2 SAMANDRAG

---

Rett haustetidspunkt er essensielt for å oppnå best mogeleg kvalitet i eple. For tidleg eller for sein hausting kan føre til lågare sensorisk kvalitet og kortare haldbarheitstid på lager. I dette forsøket vart det undersøkt mogelegheita for å følgje modningsutvikling og fastsetje haustetidspunkt i tre norske eplesortar (Discovery, Summerred og raud Aroma) ved hjelp av ulike ikkje-destruktive målemetodar. Det vart i tillegg undersøkt mogelegheita for bruk av slike analysemetodar til sortering av eple i ulike modningsgrader etter hausting. Dei ikkje-destruktive målemetodane som vart testa var VIS/NIR-spektroskopi, DA-meter (handhaldt instrument basert på VIS-spektroskopi) og Multiplex-3 (handhaldt instrument basert på klorofyll fluorescens). Modningsgraden kunne følgjast relativt nøyaktig gjennom auke i innhald av oppløyst tørrstoff ved NIR-spektroskopi og gjennom nedgang av klorofyllinnhald med DA-meter og Multiplex-3. NIR-spektroskopi kunne ikkje nyttast til å følgja modningsutviklinga av modningsparameterane stive, farge og fastleik.

Før lagring vart epla vart sortert i to modningsgrader etter estimert sukker-, stive- eller klorofyllinnhald. Etter lagring i 4, 8 og 12 veker (ved 1 eller 4°C) vart epla analysert og undersøkt for eventuelle skilnadar i kvalitet mellom modningsgradene. For epla sortert på stiveinnhald (NIR-spektroskopi) var det ingen skilnadar mellom modningsgradene, truleg på grunn av mindre gode modellar brukt til sortering. Eple som vart sortert etter sukkerinnhald (NIR-spektroskopi) og klorofyllinnhald (DA-meter, VIS-spektroskopi) og funne til å vera minst modne, utvikla mindre røte og fysiologisk skade etter lagring enn meir modne eple.

### 3 ABSTRACT

---

Optimal harvest date is essential to obtain best possible quality in apples. Too early or too late harvesting may lead to lower sensoric quality and shorten the storage time. In the current study the possibility of monitoring ripening and estimating optimal harvest date with non-destructive methods in three Norwegian cultivars (Discovery, Summerred and red Aroma) was investigated. In addition, it was investigated if the same methods could be used for sorting apples in two ripening degrees before storage. The non-destructive instruments tested were VIS/NIR-spectroscopy, the DA-meter (a handheld instrument based on VIS-spectroscopy) and Multiplex-3 (a handheld instrument based on chlorophyll fluorescent). The ripening degree could be monitored quite accurately with NIR-spectroscopy through the increase in soluble solids content and with the DA-meter and Multiplex-3 through the degradation of chlorophyll. NIR calibration models obtained for other ripening parameters, such as starch, colour and firmness, were not accurate enough to monitor ripening.

Before storage the apples were sorted in two ripening categories based on sugar, starch or chlorophyll content. After storage in 4, 8 or 12 weeks (at 1 or 4°C) the apples were analysed for possible differences in quality between the two ripeness categories. Sorting based on starch content (NIR-spectroscopy), showed no observed differences in quality after storage. This was probably because of a less accurate model. Fruit sorted on estimated sugar (NIR-spectroscopy) and chlorophyll content (DA-meter) and classified as less mature, developed less rot and physiological disorders after storage than the fruit classified as more mature.

## 4 INNHALDSLISTE

---

<b>1</b>	<b>FORORD</b> .....	<b>II</b>
<b>2</b>	<b>SAMANDRAG</b> .....	<b>III</b>
<b>3</b>	<b>ABSTRACT</b> .....	<b>IV</b>
<b>5</b>	<b>INNLEIING</b> .....	<b>1</b>
<b>6</b>	<b>EPLEDYR KING I NOREG</b> .....	<b>3</b>
<b>7</b>	<b>MODNING OG FASTSETJING AV HAUSTETIDSPUNKT I EPLE</b> .....	<b>5</b>
7.1	RESPIRASJON OG ETYLENPRODUKSJON.....	5
7.2	FASTLEIK.....	6
7.3	STIVE.....	7
7.4	OPPLØYST TØRRSTOFF.....	8
7.5	KLOROFYLL.....	8
7.6	ANTOCYAN.....	9
7.7	FASTSETJING AV HAUSTETIDSPUNKT .....	9
<b>8</b>	<b>LAGRING AV EPLE</b> .....	<b>10</b>
8.1	LAGRINGSSKADAR .....	11
8.1.1	<i>Røte</i> .....	11
8.1.2	<i>Fysiologisk skade</i> .....	12
<b>9</b>	<b>IKKJE-DESTRUKTIVE MÅLEMETODAR</b> .....	<b>13</b>
9.1	SPEKTROSKOPI .....	13
9.1.1	<i>Nær-infraraud (NIR) spektroskopi</i> .....	14
9.1.2	<i>Synleg lys (VIS) spektroskopi</i> .....	20
9.1.3	<i>Klorofyll-fluorescens</i> .....	22
<b>10</b>	<b>MATERIALE OG METODAR</b> .....	<b>25</b>
10.1	MODNINGSUTVIKLING.....	25
10.1.1	<i>Plantemateriale</i> .....	25
10.1.2	<i>Forsøksdesign</i> .....	25
10.2	MODNINGSUTVIKLING I FELT .....	27
10.3	LAGRING .....	28
10.3.1	<i>Plantemateriale</i> .....	28
10.3.2	<i>Forsøksdesign</i> .....	29
10.4	IKKJE-DESTRUKTIVE INSTRUMENT .....	30
10.4.1	<i>VIS/NIR-Spektroskop</i> .....	30
10.4.2	<i>DA-meter</i> .....	31
10.4.3	<i>Multiplex-3®</i> .....	32

10.5	STATISTISKE METODAR .....	34
<b>11</b>	<b>RESULTAT .....</b>	<b>35</b>
11.1	MODNINGSUTVIKLING.....	35
11.1.1	<i>Utvikling av dei tradisjonelle parameterane.....</i>	35
11.1.2	<i>NIR-spektroskopi .....</i>	37
11.1.3	<i>VIS-spektroskopi .....</i>	39
11.1.4	<i>Modningsutvikling i felt med DA-meter .....</i>	44
11.1.5	<i>Klorofyll fluorescens.....</i>	44
11.2	LAGRING .....	50
11.2.1	<i>NIR-spektroskopi .....</i>	50
11.2.2	<i>VIS-spektroskopi .....</i>	58
<b>12</b>	<b>DISKUSJON .....</b>	<b>65</b>
12.1	MODNINGSGRAD VED HAUSTING.....	65
12.2	MODNINGSUTVIKLING.....	66
12.2.1	<i>VIS/NIR-Spektroskopi .....</i>	66
12.2.2	<i>DA-meter.....</i>	70
12.2.3	<i>Multiplex-3®.....</i>	72
12.3	LAGRING .....	77
12.3.1	<i>VIS/NIR-Spektroskopi .....</i>	77
12.3.2	<i>VIS-spektroskopi .....</i>	79
<b>13</b>	<b>KONKLUSJON.....</b>	<b>83</b>
<b>14</b>	<b>LITTERATURLISTE.....</b>	<b>84</b>

## 5 INNLEIING

---

For å betre folkehelsa i EU har det vorte føreslått eit auka inntak av frukt og grønsaker. Ein diett med eit høgt innhald av frukt og grønsaker har vist seg å kunne minke risikoen for kroniske sjukdomar, som kardiovaskulære sjukdomar og kreft. Joffe og Robertson (2001) fann at omlag 26,000 dødsfall i EU av personar under 65 år kunne vore unngått årleg, dersom inntaket av frukt og grønsaker var høgare. Mykje av den beskyttande effekten til frukt og grønsaker har vorte tilskrive fytokjemikal; helsebringande plantestoff som ikkje har næringsverdi. Dømer på slike fytokjemikaliar er karoten, flavonoid, isoflavonoid og fenoliske syrer. Ulike fytokjemikal har vist å ha ei rekke aktivitetar, som kan hjelpe med å beskytte mot kroniske sjukdomar. Til dømes kan fytokjemikal hindre vekst i kreftceller, regulere immunforsvaret og beskytte mot oksidasjon av lipid (Hollmann et.al. (1997), Liu (2003), Sitert i: Boyer & Liu 2004). Ei svært viktig oppgåve for fytokjemikal er å beskytte mot oksidasjon. Menneske har komplekse forsvarssystem av antioksidantar, men dei er ikkje perfekt og oksidativ skade vil oppstå. Ein meiner at både kardiovaskulære sjukdomar og kreft er eit resultat av oksidativt stress, som kan føre til skade på større biomolekyl, som DNA, lipid og protein. Eple er den viktigaste kjelda til flavonoid i det europeiske kosthaldet, mykje på grunn av det høge inntaket (Hertog et al. 1995). Samansetjinga og mengda fytokjemikal i eple varierer mellom ulike sortar, og det er små endringar under modninga av frukta. Lagring har liten effekt på fytokjemikal i eple, men vidareforedling kan ha stor innverknad

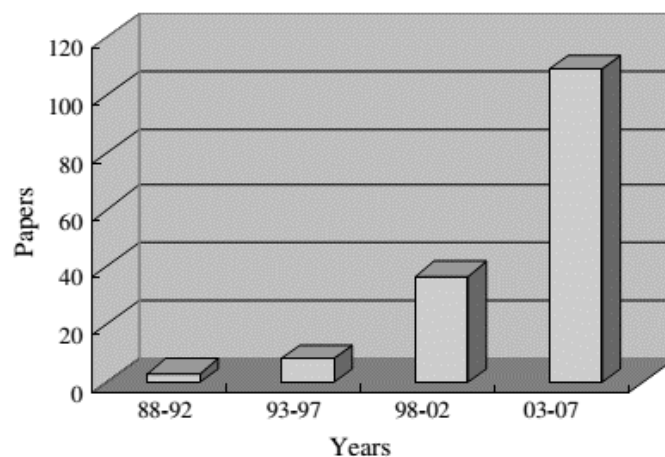
Det er ein stor etterspørsel etter norsk frukt på marknaden, og det vert i dag ikkje produsert nok til at ein klarar å dekke denne etterspørselen. Både i 2013 og 2014 rapporterte NorgesGruppen at dei fekk 600 tonn mindre norsk frukt enn dei ynskte. Gartnarhallen SA (norsk produsentorganisasjon for frukt, bær og grønsaker) arbeider difor mot å auka norsk fruktproduksjon med 50% innan 2020 (Gartnerhallen 2014). Regjeringa ønskjer òg ein auke i produksjonen av norsk frukt, og har difor opna for import av pære- og epletre. Endringa tredde i kraft 1. november 2015 og vil føre til at dyrkarar får betre tilgang på andre kvalitetar og eit større volum. Dette vart av Mattilsynet vurdert som ein føresetnad for å modernisere produksjonen av kjernefrukt i Noreg og å auke produktiviteten og konkurranseevna (Skjolden 2015). Den norske eplelesongen i butikk varar frå omlag 1. september til 1. desember. Denne perioden kan norske produsentar tilby eple av god kvalitet og epla er beskytta av tollvern slik at dei kan konkurrere med importerte eple prismessig. Resten av året dekker importeple den etterspørselen som norske eple ikkje klarar dekke sjølv. Totalt dekker norskproduserte eple om lag 13% av forbruket og importeple dei resterande 87%. Om produksjonen av norsk frukt skal aukast, vil det verta svært viktig med gode lagringsteknikkar for å ta unna produksjonstoppar og dermed forlenging sesongen.

For å best mogeleg bevare kvalitet gjennom lagring er rett haustetidspunkt essensielt. Om ein haustar eple for tidleg vil dette gå ut over kvalitetar som smak og aroma, men om ein derimot ventar for lenge med å hauste vil dette gå utover lagringsevna. I dag vert modningsgrad og anbefalt haustetidspunkt for



eple vurdert ut i frå fleire ulike faktorar, der dei vanlegaste er storleik, grunnfarge og dekkfarge, innhaldet av sukker og stive samt fastleik i fruktkjøttet (Kader 1997; Myren 2010; Streif 1996). Desse analysane er svært tidskrevjande og fleire er destruktive. Analysane vert berre gjennomført på eit avgrensa utval eple og det er vanskeleg å få eit bilete av den reelle variasjonen som finst i felta.

Interessa for ikkje-destruktive analysar på frukt har hatt ei kraftig auke dei siste 30 åra (Figur 1). Ikkje-destruktive analysemetodar er analysemetodar som kan gjennomførast på fruktoverflata, gjerne medan epla framleis heng på treet, og som ikkje øydelegg frukta. Slike metodar er antatt å vera eit godt alternativ eller supplement til vurdering av modningsgrad og haustetidspunkt. Metodane er raske, noko som gjer det mogleg å analysere langt fleire eple, i tillegg til at det vert mogleg å gjennomføre fleire målingar på dei same epla, både gjennom modning på treet og under lagring. Dei kan òg utviklast til kommersielle verktøy for klassifisering av frukt og kvalitetskontroll.



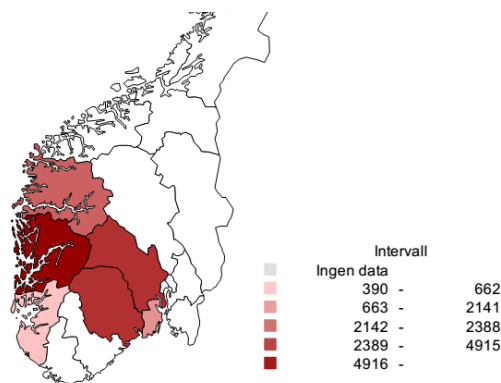
Figur 1. Artiklar som omhandlar frukt og NIR-spektroskopi, i Elsevier (SDOL) og Web of science (SCI-expanded)(Lin & Ying 2009).

Av ikkje-destruktive metodar har det vorte føreslått fleire ulike tilnæringsmetodar, mellom anna multispektrale kamera, spektroskopi med elektromagnetisk stråling av ulike bølgjelengder, fluorescens og akustiske teknikkar. Dei aller fleste forsøka tar likevel i bruk optiske metodar og baserer seg på elektromagnetisk stråling. Korleis lyset oppfører seg når det treff frukta vil variere med bølgjelengd, innhaldsstoff og struktur, og kan difor ofte brukast til å seie noko om indre og ytre kvalitetar i eplet.

I Noreg er bruken av ikkje-destruktive målemetodar på eple svært avgrensa og det er eit stort behov for kunnskap om slike målemetodane i samband med norske sortar og forhold. Målet med denne studien var todelt: Først å undersøke om ikkje-destruktive målemetodar kunne nyttast til å følge modningsutviklinga og fastsetje rett haustepunkt. Deretter å undersøke om dei same metodane kan brukast til sortering av eple etter hausting, for optimal lagring. Dette vart gjort ved å teste tre ulike instrument for ikkje-destruktiv analyse (DA-meter, VIS/NIR-spektroskop og Multiplex-3) på tre norske eplesortar (Aroma, Summerred og Discovery), gjennom modning og lagring.

## 6 EPLEDYR KING I NOREG

Kultivert eple (*Malus domestica* Borkh.) er blant dei eldste og viktigaste fruktslaga i verda, særleg i tempererte strøk (Harris et al. 2002). Arkeologar har funne spor etter epledyrking så tidleg som i år 1000 f.Kr (Juniper et al. 1996). I Skandinavia er det funne steinalderfunn som tyder på at eplet var kjent før erobringa av romerane. I Osebergskipet (ca. 850 e.Kr.) vart det funne 54 godt bevarte eple, noko som viser at dei var høgt verdsett. Det var likevel først etter inntoget av kristendomen i Noreg (rundt år 1000) at dyrking av eple vart meir vanleg i landet, særleg i samband med klosterhagane (Vik & Bratberg 2015). Epleproduksjonen i Noreg er i dag konsentrert i Sør-Noreg og dei viktigaste fylka er Hordaland, Telemark, Buskerud, Vestfold, Sogn og Fjordane og Rogaland (Figur 2). Total var det i 2014 kultivert eit område på 13 615 dekar med eple i Noreg og totalavlinga var på 13 172 tonn (Statistisk sentralbyrå 2014).



Figur 2. Areal (dekar) med epleproduksjon i Sør-Noreg (Statistisk sentralbyrå 2010).

Norske eple er meir syrlige enn importerte eple og har sånn sett ein smak som er unik og som mange har ein preferanse for i sesong. Vilkår for frukt dyrking i Noreg er svært varierende. Skal frukta utviklast tilfredsstillande, krev det godt grøfta, varm og djup jord på ein solrik og lun stad. Det er ein kort vekstsesong og låge temperaturar samanlikna med andre land der det vert produsert eple. Dette krev at ein må velja sortar som er frostherdige, både med tanke på temperatursvingingar mellom dag og natt og dei ekstremt låge temperaturane som kan førekoma vinterstid. For ein del sortar kan òg ulaglege tilhøve i vekstsesongen føre til strekte sjukdomsangrep, dårleg fruktutvikling og dårleg kvalitet (Husabø 1962). Sortane som dyrkast må i tillegg vera tidlegsortar, som produserer frukter i ein kort vekstsesong.

Raud Aroma, Summerred og Discovery har dei siste åra vore dei tre viktigaste eplesortane i Noreg, rekna ut i frå menga av eple til konsum. Aroma og Raud Gravenstein har òg vore svært viktige sortar (Eidhammer 2015). Discovery er ein tidleg haustsort med haustetid i starten av september. Epla held fastleik godt under lagring, men smaken kan fort verta tam ved lagring over ein månad. Sorten er sterk mot skurv og mjøldogg, men er utsett for frukttrekraft, grå monilia og pærebrann. Epla har ein tendens til oppsprekking, særleg på unge tre. Raud Aroma har haustetid frå slutten av september til starten av

oktober og kan normalt lagrast på kjølelager til i starten av januar. Sorten er sterk mot skurv og frukttrekraft, men er utsett for kjølelagersopp på lager. Summerred er lett å forme og er vinterherdig, men er noko mottakeleg for frukttrekraft og skurv. Haustetid frå midten til slutten av september. Skalet er tjukt og noko feitt med glans (Kvåle 1990).

Dei siste åra har det vore eit større fokus på etablering av nye meir intensive felt for epledyrking med kort avstand mellom planter og rader. Planteavstanden i rekkene kan variera mellom 0.8 og 1.0 meter avhengig av sort. I Discovery er det tilrådd ein planteavstand på 80cm, medan i andre sortar er det tilrådd med 90cm planteavstand. Radavstanden tilpassast etter traktor og planteavstand. Den vanlegaste avstanden for eple og pære er 3.5m mellom rekkene. Tidlegare var det vanleg praksis å bruka ein enkelt staur per tre til oppstøtting. I nyare plantingar med tettare planteavstand har det vist seg å vera både enklare, raskare og rimelegare å setja opp eit såkalla hesjesystem i staden for enkeltstaurar. Dette hesjesystema består av ein kraftig stolpe ved om lag kvart 7. tre og større endestolpar i skrå vinkel (15-20°) ut i frå rekka som er festa med eit jordanker. For oppstøtting av trea vert det brukt små staur eller bambus. Mellom stolpane er det dradd to strengar i tillegg til sidestrengar som støtter opp dei nedste greinene («bordet») (Norsk fruktrådgjeving Hardanger 2013).



*Figur 3. Felt med intensiv dyrking av Raud Aroma. Planteavstand på 0.7m og radavstand på 3.5m. Til høgre i biletet ser ein endestolpen som er skråstilt og sidestrengar som skal støyte dei nedste greinene. Foto: Jorunn Børve*

Norsk Landbruksrådgjeving (NLR) er ein organisasjon som fungerer som bindeleddet mellom forskning og landbruket. Dei hentar inn, utviklar og samordnar kunnskap som rådgjevarane formidlar til næringsutøvarane i landbruket (Norsk Landbruksrådgjeving). I dag er det vanleg praksis at rådgjevingseiningane i NLR sender ut haustetidsvurderingar for regionen der dei er lokalisert. Haustetidsvurderinga vert sendt ut kvar veke når haustetidspunkt nærmar seg og er basert på analysar i

fleire referansehagar i ulike deler av regionen. Det er vald ut hagar ein reknar med har sein, middels og tideleg modning for å syne spreinga i modninga. Dette er meint som eit hjelpemiddel til dyrkarane for når dei ulike sortane bør haustast, men det er dyrkaren som tek den endelege avgjerdsla for tidpunkt for hausting.

I dag er normal praksis ved fruktpakkeria ei manuell sortering der eple med skadar og eple med dårleg kvalitet vert sortert ut. Deretter vert det eventuelt brukt automatisk sortering på farge og vekt. Grossisten set krav til kvalitet for kvar enkelt sort som fruktlagera sorterer etter. Dette er krav som går på fråvær av skade og sjukdom, modningsgrad, farge, form og storleik på epla.

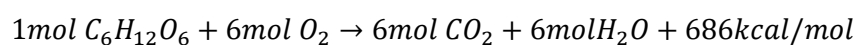
## 7 MODNING OG FASTSETJING AV HAUSTETIDSPUNKT I EPLE

---

Etter pollinering om våren går epla gjennom ulike vekstfasar. Gjennom celledelingsperioden og perioden for cellevekst har eplet nådd rett storleik, men det er framleis umodent. Før det vert attraktivt for både menneske og fuglar å ete må det gjennom ein modningsprosess der det utviklar betre farge, tekstur og smak. Kva modningsgrad eplet har når det vert hausta, har svært stor innverknad på lagringsevna. Eple som vert hausta for tidleg har ikkje utvikla god farge og smak, dei vil ikkje modna normalt og dermed aldri nå optimal kvalitet. Eple som vert hausta for seint vil ha kortare lagringstid og kan lett bli mjølne. Dei er òg meir utsett for utvikling av røte på lager. Eple som er overmodne ved hausting har ofte ein meir utvikla smak og ein lausare tekstur og bør gå rett til konsum utan lagring, sidan dei raskt vil miste kvalitet og verta uakseptable for ferskkonsum. Korleis epla skal lagrast vil i tillegg ha innverknad på kva som er optimal modningsgrad for hausting, og må takast med i avgjerdsla om haustetidspunkt (Tromp et al. 2005). For å finne det optimale haustetidspunktet er det difor essensielt å vite kva epla skal brukast til. Haustetidspunktet vil vere forskjellig om frukta skal direkte til konsum eller lagrast over ulike tidsrom. Dette kapittelet skildrar nokre av dei viktigaste endringane og prosessane som skjer i eple under modninga og korleis desse faktorane kan brukast til å undersøke modningsgrad og fastsetjing av haustetidspunkt.

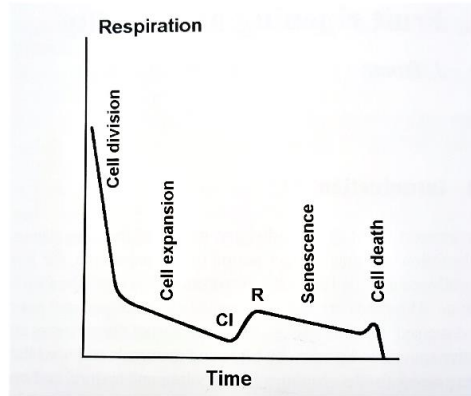
### 7.1 RESPIRASJON OG ETYLENPRODUKSJON

Endringane som skjer i eple gjennom modningsprosessen treng energi som vert generert gjennom respirasjon. Gjennom respirasjon ver oksygen ( $O_2$ ) tatt opp, medan karbondioksid ( $CO_2$ ) og vatn ( $H_2O$ ) vert frigjort saman med varme. Dersom glukose ( $C_6H_{12}O_6$ ) er substratet for respirasjon vil prosessen sjå slik ut:



Respirasjonen i unge eple er som regel svært høg, men minkar gradvis gjennom celleutvidingsperioden og når minimumspunktet rett før modningsprosessen startar. Når modninga startar, aukar

respirasjonsraten kraftig igjen. Denne auken i respirasjon rett før modning vert kalla klimakteriet (Figur 4). Denne auken kan i eple vere på heile 60-200%, målt i CO<sub>2</sub>-produksjon per eining ferskvekt (Kidd & West 1925). Respirasjonsraten i ei frukt er relatert til kor lenge ho kan lagrast. Ein høg respirasjonsrate vil avgrense lagringstida samanlikna med ein lågare respirasjonsrate. Gjennom manipulering av lagringsforhold forsøker ein å halde respirasjonsraten så låg som mogeleg.



Figur 4: CO<sub>2</sub>-produksjon per eining ferskvekt for eple frå fruktsetjing til aldring (Cl=klimakteriet og R= modning) (Tromp et al. 2005).

Den kraftige auken i respirasjon vert raskt følgt av ei auke i plantehormonet etylen. Etylen fungerer som eit modningshormon og initierer modningsprosessen. Auken i etylenproduksjon er mykje større enn auken i respirasjonsrate. Både auken i respirasjonsrate og etylenproduksjon har vorte føreslått som ein metode for å vurdere modningsgrada og estimere haustetidspunkt i eple, men begge metodane har vist seg å vere for upresise og upålitelege til å vere til praktisk nytte (Blankenship & Unrath 1987; Tromp 1977).

## 7.2 FASTLEIK

Nedgang i fastleik i fruktkjøtet er ein av hovudkarakteristikkane på modning i eple. At eple vert mindre faste under modning kjem av at celleveggane vert brote ned. Skjelettet av celleveggar består av eit nettverk av mikrofibrilar, som igjen består av cellulose støyt inn i ei blanding av hemicellulose og protein. Der to celler kjem i kontakt med kvarandre vert det danna midtflamell. Samanlikna med resten av celleveggen inneheld dette området meir pektin og andre protein. Nedbrytinga av midtflamellen fører til mindre kohesjon (krafta som held molekyl saman) mellom celler og dermed eit mjukare fruktkjøt (Tromp et al. 2005).

Fastleik i fruktkjøtet er ein svært vanleg metode for vurdering av modningsgrad og estimering av haustetidspunkt i eple. Dette er dels på grunn av det er ein relativt enkel faktor å måle. Den vanlegaste metoden er å bruke ein fastleiksmål, eller eit penetrometer, anten handhaldt eller automatisk. Eit sylinderforma stempel vert då pressa ein fastsatt avstand inn i fruktkjøtet og krafta som vert brukt registrert. Denne metoden vil sjølvsagt øydelegge epla og ein ikkje-destruktiv målemetode hadde vore

nyttig for kommersielle produsentar og i forsøk. Ein kunne då gjennomført fleire analyser over tid på dei same epla mens dei framleis heng på trea for å følgja utviklinga. I tillegg vil ein ha mogelegheita til å sortere ut eple som er for mjuke under pakking. Det har vorte forsøkt fleire ulike teknikkar og instrument til dette formålet (Harker et al. 2010; Schenk et al. 2003; Shmulevich et al. 2003).

Fastleik er likevel ikkje alltid ein god indikator på modningsgrad sidan den kan variera med fleire faktorar som temperatur, jordfukt, næring og eksponering til sollys (Sams 1999). I tillegg kan det vera store variasjonar innan eple frå same tre, til dømes eple frå indre og ytre del av trekrona. Trass i dette er fastleik ein svært viktig faktor for kvalitet, spesielt under lagring, sidan dette er ein av dei viktigaste kriteria til kunden. Harker et al. (2008) viste at fastleik var den viktigaste kvalitetsfaktoren som bidrog til kundetilfredshet i eple i USA. Kundetilfredsheita auka generelt med aukande fastleik, men sukkerinnhald og syreinnhald spelte òg ei rolle i nokre eplesortar.

### 7.3 STIVE

Stive er eit lagringskarbohydrat i eple. Stiveinnhaldet aukar under utviklinga av eple og vert deretter omdanna til sukker under modning og lagring. Den vanlegaste metoden for å vurdere stiveinnhaldet i eple er ved å kutte epla på tvers og dyppa overflata i ei blanding av jod og kaliumjodid. Stivekorna består av amylose, amylopektin og små mengder ikkje-karbohydrat som lipid og protein (Ernst et al. 1999). Amylosen i stivekorna reagerer med blandinga av  $I_2$ -KI og dannar eit blå-svart mønster. Amylopektin i stivekorna reagerer òg med kaliumjod-blandinga, men produserer eit lilla-raudt pigment i staden for det typiske blå-svarte pigmentet og bidreg difor mindre til farging av snittflata (Cho & Gil 2004). Mønsteret som vert danna på overflata etter å ha vorte dyppa i jod-blandinga er avhengig av sort, og det er difor laga standardskalar for ulike sortar, med bilete og stivetal (1-9 eller 1-10, der 1 = ingen nedbryting av stive og 10 = all stive nedbrote), i tillegg til at det finst generelle standardar som Cornell sin 8-trinns skala (Blanpied & Silsby 1992) og den europeiske 10-trinns skalaen (Travers et al. 2002). I Noreg er det laga sortsspesifikke plansjar for vurdering av stiveinnhald som går frå 1 til 10 og vert nytta i vurderinga av haustetidspunkt (Figur 5) (Sørum 1985).



Figur 5. Vurdering av stiveinnhald i Summerred med jod-test. Eple er dyppa i ein blanding av  $I_2$ -KI. Den blåsvarte fargen kjem av reaksjonen mellom stivekorna og jod-blandinga. Eit lågt tal svarar til eit høgt stiveinnhald.

Tolkinga av desse skalaane for stiveinnhald er svært subjektiv og kan gi skilnader på opptil 60% (Peirs et al. 2002). Det har vore tvil om det finst nok vitskapleg bevis for jod-testen, og tidlege studiar meinte han var for variabel (Haller & Smith 1950; Tiller 1934). I tillegg er det usikkert korleis stive vert brote ned i eple. Jod-testen viser at stive forsvinn først inne ved kjernehuset og deretter gradvis ut mot ytterkantane av eplet. Brookfield et al. (1997) observerte at konsentrasjonen av stive var høgast i ytterkantane i eplet og lågare ved kjernen. Nedbrytinga av stive starta samtidig i heile eplet, men nedbrytingshastigheita var høgare langs ytterkanten enn ved kjernen. Når konsentrasjonen av stive vert lågare enn eit visst nivå, vil fargen frå jod ikkje lenger oppstå. Sjølv om nedbrytinga av stive går saktare ved kjernen, er det her ein fyst ser endringa i fargemønster (SPI). Det er uklart om det finst ein lineær samanheng mellom skalaen for stiveinnhald og jod-testen. Travers et al. (2002) fann ein lineær samanheng mellom SPI og stivekonsentrasjon (% tørrstoff) i to siderkultivarar, medan Doerflinger et al. (2015) fann ein ikkje-lineær samanheng i sortane Gala, Honeycrisp, McIntosh og Empire.

## **7.4 OPPLØYST TØRRSTOFF**

Konsentrasjonen av oppløyst tørrstoff, i hovudsak ulike sukkerartar, aukar under modning av eple. Dette skuldast i størst grad nedbrytinga av stive. Mengda oppløyst tørrstoff vert brukt som ein indikator på modningsgrad, men det er òg ein indikator på kvalitet sidan det heng sterkt saman med smaken på eplet. Konsentrasjonen er påverka av forhold i feltet som vasstilgang, lys og temperaturar og kan vise årsvariasjonar som ikkje er relatert til modningsgrad. Til dømes vil eit eple frå ytre del av trekrona ha eit høgare sukkerinnhald på grunn av betre lystilgang, enn eple i indre del av trekrona. Avlingsnivå i forhold til mengda blad vil i tillegg ha ein innverknad på oppløyst tørrstoff. Jo fleir blad med fotosyntese, jo meir sukker vert sendt til og lagra (som stive) i epla. Treet prioriterer frukt som mottakar av fotosynteseprodukt framfor andre organ (frukta er ein sterk «sink»), men avstand frå fotosynteseblada spelar òg inn i dette forholdet. I dag er det vanleg å måle oppløyst tørrstoff ved å analysere saft frå skiver av fleire eple. Deretter måler ein denne safta på eit refraktometer. Instrumentet måler det oppløyste tørrstoffet (%) ved en lysbryting gjennom safta (Tromp et al. 2005).

## **7.5 KLOROFYLL**

Under modninga vil grunnfargen på epleskalet gå frå grøn til gulaktig. Den raude fargen på fruktoverflata er i hovudsak induisert av temperatur og lysforhold i feltet og vert kalla dekkfarge, mens grunnfarge er den meir homogene bakgrunnsfargen på eplet. Klorofyllet i skalet vert gradvis brote ned under modninga og andre pigment, som antocyan og karotenoid vert synlege. Nedgangen i klorofyllinnhald kan difor verta sett på som ein indikator på utviklingsstadium i frukta så vel som frukt kvalitet (Merzlyak et al. 1999) og har vorte forsøkt brukt til å bestemme optimal haustedato (Smock 1948). Denne fargeendringa vert som oftast samanlikna med eit standard fargekart og deretter gitt eit tilhøyrande nummer (1-9, der 1 = grøn og 9 = gul). Dette er ein enkel og billig metode, men om den skal

vere samanliknbar krev den definerte lysforhold og erfarne laboratorietilsette (Tromp et al. 2005). Det finst i dag fleire optiske instrument som måler farge og pigmentkonsentrasjon og automatisk fargesortering er i dag vanleg i bruk på eple i kommersielle pakkelinjer. Farge relaterer meir direkte til kunden sin oppfatning av produktet, mens pigmentkonsentrasjon er i større grad relatert til modningsgrad. Zude-Sasse et al. (2002) viste at spektroskopi i det synlege spekteret er ein lovande metode for å måle pigmentinnhald. Ved bruk av VIS-spektroskopi vart klorofyllinnhaldet i eplesortane Elstar, Jonagold, Idared og Golden Delicious estimert med korrelasjonskoeffisientar på høvesvis 0.88, 0.98, 0.90 og 0.87.

## 7.6 ANTOCYAN

Den raude fargen som oppstår på epla i løpet av modningsutviklinga kjem av akkumulasjon av antocyan gjennom at frukta vert utsett for sollys. Denne raudfargen vert kalla dekkfarge og er ein av dei viktigaste kriteria for kunden i butikken (noko avhengig av sort). I dag vert dekkfarge normalt vurdert etter kor stor del av overflata (1-9, der 1 er 10% og 9 er 100%) som er raud. Evna epla har til å akkumulera antocyan aukar etter som epla modnar, men er avhengig av lys (mengde og kvalitet), temperatur (låge temperaturar fremjar akkumulering av antocyan) og tilgang på fotosyntese-produkt (Saure 1990).

## 7.7 FASTSETJING AV HAUSTETIDSPUNKT

For å fastsetje haustetidspunkt må ein vurdere fleire av dei ulike parameterane under modning samtidig. I 1996 utvikla Josef Streif ein indeks som kombinerte fleire ulike parameter og som sa noko om modningsgrada i eple. Denne indeksen bestod opphaveleg av 8 parameterar, men vart seinare forenkla til 3 parameterar (fastleik, refraktometerverdi og stiveverdi). Denne indeksen blir i dag brukt i mange område der det vert produsert eple, mellom anna i Noreg.

$$\text{Streif - indeks} = \frac{\text{Fastleik} \left( \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right)}{\text{Refraktometerverdi} (\% \text{ Brix}) \times \text{Stiveverdi} (1 - 10)}$$

Sidan refraktometerverdi og stiveverdi normalt vil auka gjennom modning, medan fastleiken går ned, går streif-indeksen nedover etter som epla modnar. Indeks-verdien for hausteklare eple er sortsspesifikk, men felt- og år til år-variasjonar har vist seg å ha liten effekt (DeLong et al. 1999). Derimot har indeksen vist seg å vere relativt unøyaktig og bruken er avgrensa til region, ikkje kvart enkelt felt.

I Noreg har det vorte forsøkt å setja sortsspesifikke krav for dei ulike kvalitetsanalysane ved optimalt haustetidspunkt. Dei vanlegaste analysane er streif-indeks, fastleik, oppløyst tørrstoff og stiveinnhald. Nokre nyttar i tillegg dekkfarge. Utfordringa har vore å finne gode minimumsverdiar som gir god kvalitet etter lagring og som i tillegg er moglege å oppnå til same tid i felt. Nyare forsøk har vist at nedbryting av stive i enkelte sortar (til dømes raud Aroma og Summerred) ofte har kome for langt når



dei andre parameterane når optimalverdiar. Det vart konkludert med at det måtte leggast størst vekt på stiveinnhald ved start av hausting og fastleik for siste haustedag (Heiberg 2012).

## 8 LAGRING AV EPLE

---

For å handtere produksjonstoppar, spreie salet av avlinga over ein lengre periode og unngå svinn kan ein lagra eple over kortare og lengre periodar. Å samtidig bevare kvalitet kan vere utfordrande sidan eplet framleis er eit levande produkt med ein aktiv metabolisme etter det er hausta. Etter hausting er metabolismen katabolsk, det vil seie at nedbryting av komponentar, følgd av produksjon av energi (varme) dominerer over danning av nye komponent som krev energi. Desse endringane fører til slutt til aldring og celledød. Eple er ei klimakterisk frukt, det vil si at det fortset modninga etter hausting og kan difor haustast «umoden». For å bevare kvaliteten på frukta under lagring er det viktig å senke den metabolske aktiviteten. Ein må likevel rekne med at det alltid vil vere ei viss nedgang i kvalitet under lagring sidan eplet ikkje lenger har tilgang på vatn, assimilat og næring frå treet, men framleis bruker karbohydrat og mister vatn gjennom transpirasjon. Målet med lagring er å bevare mest mogeleg av den kvaliteten frukta har på haustetidspunktet, samtidig som ein ikkje påverkar den endelege modninga på ein negativ måte (Tromp et al. 2005).

Eit viktig mål på metabolsk aktivitet er respirasjon (sjå kapittel 7). I respirasjon vert oksygen ( $O_2$ ) tatt opp medan karbondioksid ( $CO_2$ ) og vatn ( $H_2O$ ) vert sleppt ut og varme produsert. Respirasjon fører dermed til tap av tørrvekt. Andre substrat enn sukker, som organiske syrer, kan òg brukast som substrat i respirasjonen. Når dette skjer vil det føre til ei nedgang i sukkerinnhald eller syreinnhald i eple, som igjen vil påverke smaken (Saltveit 2004). Generelt kan ein seia at lagringsevna til frukt er invers til respirasjonsraten.

Hovudmetoden for å minimere metabolismen i frukt er å senke temperaturen i omgjevnadane til frukta. Temperatur er hovudfaktoren som påverkar respirasjonen. Den store effekten av temperatur kjem av faktumet at alle biokjemiske prosessar går eksponentielt raskare når temperaturen, innan fysiologisk temperaturspekter, aukar frå  $0^{\circ}C$  til  $30^{\circ}C$ . Dess raskare den korrekte lagringstemperaturen vert oppnådd, dess betre vil frukta halde seg. For langtidslagring av klimakterisk frukt, som eple, er det en fordel å hausta før starten på klimakteriet. Respirasjonen er ved dette tidspunktet relativt låg, men vil raskt få ein kraftig auke. Det er lettare å redusere den metabolske aktiviteten, ved å senke temperaturen, i eit eple som ved hausting hadde eit relativt nivå av metabolsk aktivitet, enn eit som hadde høg metabolsk aktivitet ved hausting (Tromp et al. 2005).

I tillegg til dette kan endring av atmosfæren i lageret vesentleg forlenga lagringsperioden og betra kvaliteten på frukta etter lagring. Senking av oksygenivået og auke av karbondioksidnivået vert i stor grad brukt ved lagring i kontrollert atmosfære.

Gjennom respirasjonen mistar eple vatn frå cellene ved transpirasjon. Skilnaden i fuktigheit mellom cellene i epla og lufta rundt verkar inn på kor stort dette tapet er. For å minke vasstapet frå epla under lagring vert relativ luftfuktighet halde høg på lageret, men ei viss grad av vasstap er likevel nødvendig for å oppnå optimal kvalitet etter lagring. Jo nærare luftfuktigheita er til mettingspunktet dess betre er det, så lenge lufta ikkje kondenserar på epla. Tilrådd luftfuktigheit for eple på lager er 90-95%. Transpirasjon kan variere mellom ulike sortar som følgje av skilnadar i memembranen i kutikula – det ytre vokslaget på epla (Veraverbeke et al. 2003). I tillegg vil temperatur ha innverknad på transpirasjonsraten, då skilnaden i luftfukt er større ved høgare enn lågare temperaturar (Tromp et al. 2005).

Haustedato har svært mykje å seie for lagringsevna i epla. Om epla skal gå rett til sal eller lagrast ein svært kort periode er det best å hausta seint i haustevindauge for å oppnå best mogeleg smaks kvalitet. Dersom ein veit at frukta skal lagrast over ein lengre periode er det derimot lurt å hauste tidlegare, helst før klimakteriet, sidan metabolismen er minst mogeleg aktiv på det tidspunktet. Likevel er det viktig å hugse at epla må vere fysiologisk modne, slik at normal modning framleis vil fortsette også etter hausting (Tromp et al. 2005).

Ulike sortar har ulik lagringsevne. Dei varierer i toleranse til låge temperaturar og endra atmosfære. I tillegg varierer lagringsevne med vekstforhold, plassering av felt og år i tillegg til dyrkingspraksis, plassering på treet, avlingsmengd, tilgangen på mineral og karbohydrat under fruktutviklinga og temperatur (Ferguson et al. 1999). Dette betyr at for optimal lagring burde det ideelt vorte etablert eit lagringsregime for sort og region, basert på forsøk over fleire år.

## **8.1 LAGRINGSSKADAR**

Sjukdomar som oppstår på lager kan vera fysiologiske eller parasittære. Parasittære sjukdomar skuldast infeksjon av virus, bakteriar, phytoplasma eller sopp, medan fysiologiske skadar kjem av ugunstige lagringsforhold eller ein ubalanse av næringsinnhald i frukta (Røen et al. 2008). Eple av ulike sortar, frå ulike regionar og/eller år varierer i kor sensitive dei er for sjukdom og skadar. Lagringsprotokollar som har vorte utvikla gjennom lagringsforsøk for ein bestemt sort, i ein bestemt region over ein vis periode, har difor avgrensa generell verdi. Skilnadar på varigheit og intensitet på sollys, regn, luftfuktighet, jordforhold, grunnstamme og blad til frukt-ratio bidreg alle til skilnadar i lagringsevne (Tromp et al. 2005).

### **8.1.1 Røte**

På overflata av eple finst det ei rekke patogen, men relativt få av desse er i stand til å angripe før eplet vert hausta. Etter hausting aukar mottakelegheita for infeksjon gradvis, og fleire patogen kan angripe frukta. Frukt som er hausta kan innehalde sopp, bakteriar og insekt i ulike utviklingsstadium, og som kan utvikle seg på lager. Særleg kan soppjukdomar forårsake ei rekke lagringssjukdomar og føra til

store tap. Soppsjukdomar kan koma av at frukter er infisert i felt, før hausting, eller av kontakt med andre infiserte frukter på lager (Tromp et al. 2005).

Patogena som kan føre til røte vert ofte delt i to grupper: 1) Parasittar som berre kan angripe gjennom sår eller sprekkar i frukta og 2) «ekte parasittar» som kan angripe frukta gjennom lenticellene. Gråskimmel (*Botrytis cinerea*) er ein vanleg skadegjerar i den første gruppa, som ofte fører til begerrøte i eple på lager. Gråskimmel startar ofte som ei raudfarging ved begerblada og kan utvikla seg til ein blaut, brun råte etter hausting. I høg luftfuktigheit på lager vil det verta danna eit grått pelsliknande lag av konidiesporar og sklerotiar. Ein anna vanleg lagerråte, som ofte vert forveksla med gråskimmel, er frukttrekraft (*Nectria galligena*). Frukttrekraft startar ofte som begerrøte og kan utviklast til ein sterkt innsokke, rynka og temmeleg blaut røte. Utviklinga av røte frå frukttrekraft startar gjerne medan epla framleis heng på trea. Sekksporesoppen Gul monilia (*Monilia fructigena*) kan og infisere gjennom sår i frukta og utvikle ein tørr og relativt fast røte. På lageret kan dei rotne fruktene verta heil svarte (Røen et al. 2008).

Dei viktigaste lagringssjukdomane i den andre gruppa av skadegjerarar, ekte parasittar», er kjølelagersopp (*Pezicula alba*), svart frukttrekraft (*Pezicula malicorticis*) og bitterrøte (*Glomerella acutata*). Desse tre soppene er i nær slekt og er som oftast ikkje synleg på epla før etter hausting. På lager utviklar kjølelagersopp og svart frukttrekraft runde, brune flekkar med utgangspunkt i lenticeller. Røteflekkane veks i diameter utover lagringa og søkk noko saman. Symptoma på bitterrøte kan i starten minne litt om kjølelagersopp og svart frukttrekraft, men desse røteflekkane får rustbrune sporehopar som etter kvart vert svært mørke (Røen et al. 2008).

### **8.1.2 Fysiologisk skade**

Fysiologiske skadar oppstår gjennom næringsmangel i epla eller som følge av ugunstige lagringsforhold. Eit mineral kan finnast i tilstrekkelege mengder i jorda og bli tatt opp av planta, men likevel ikkje bli fordelt ut til fruktene. Dersom eple til dømes har eit lågt innhald av kalsium kan det oppstå meir prikksjuka, alderssamanbrot og skåld og ved lågt innhald av fosfor kan det føre til auka førekomst av alderssamanbrot (Watkins 2009)

Både for høge og for låge temperaturar kan føre til skadar i frukt, men det er dei låge temperaturane som er det største problemet sidan det vert brukt kjølelager til eple. Varmeskadar vil i hovudsak oppstå før hausting og fører til visning eller respirasjonsskadar. Ved låge temperaturar kan det oppstå frostskeidar eller kjøleskeidar. Frostskeidar oppstår når temperaturen i vevet går under frysepunktet. Ved alvorleg frostskeide kan det danna seg iskrystallar i vevet som gjer at celler døyrr og celleveggane vil sprengast. Frukta vil sjå vissen og blass ut ved tining. Kjøleskeide oppstår på låge temperaturar, men over frysepunktet. Dersom epla er for modne når dei er hausta kan dette føre til tidleg alderssamanbrot på lager. Kalsium kan direkte redusere alderssamanbrot dersom det vert tilført både før og etter hausting. (Snowden 2008).

Modningsgrad ved hausting er den viktigaste faktoren som bestemmer lagringstid og endeleg fruktkvalitet. Umodne frukter er meir utsett for skrumping og mekanisk skade og har lågare smaks kvalitet etter modning. Overmodne frukter har større sjanse for å bli mjuke og mjølne, og å bli smaklause kort tid etter hausting. I tillegg er det ein større risiko for at epla utviklar røte på lager dersom dei vert hausta etter optimalt haustetidspunkt (Fidler et al. 1973).

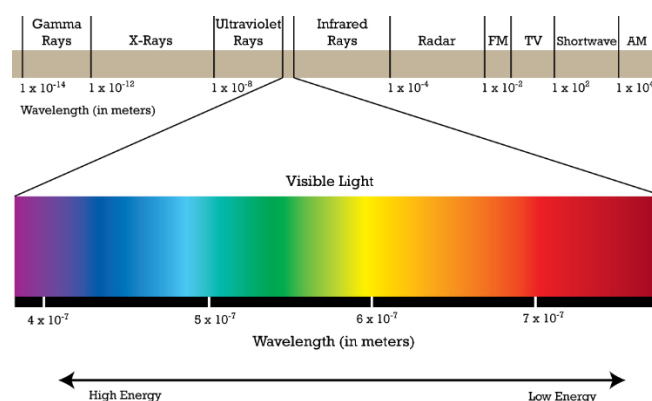
## 9 IKKJE-DESTRUKTIVE MÅLEMETODAR

Metodar for å måle kvalitet og kvalitetsrelaterede attributt har vorte utvikla i gjennom fleire hundre år, inkludert utviklinga av instrument gjennom dei siste 90 åra. I nyare tid har fokuset vore på utviklinga av ikkje-destruktive metodar, særleg instrument som kan implementerast i automatiske sorteringslinjer (Abbott 1999).

### 9.1 SPEKTROSKOPI

Spektroskopi er studiet av interaksjon mellom materie og elektromagnetisk stråling, og baserar seg på atoma si evne til å absorbere og reflektere denne strålinga. Absorpsjonen og refleksjonen vil variere mellom ulike atom og bølgjelengda på innstrålinga, og kan dermed brukast til å gi informasjon om kva ei prøve er bygd opp av. Spektroskopisk data vert ofte presentert som eit absorpsjonsspektrum ( $\log(1/R)$  der R er refleksjon) som viser absorbert lys som ein funksjon av bølgjelengd.

Figur 6 viser ei oversikt over det elektromagnetiske spekteret. Bølgjelengda aukar medan energien vert lågare mot høgre i figuren. Ved spektroskopi på hagebruksprodukt, er det i hovudsak synleg lys (400 – 700 nm), UV-stråling (4 – 400 nm) og nær-infraraud stråling (700 – 2500 nm) som har vorte nytta. Dei andre strålingstypene har ikkje vore vellukka på dette området (Abbott 1999).



Figur 6: Oversikt over det elektromagnetiske spekteret. Ståling til venstre har høgare energi og kortare bølgjelengd enn ståling som ligg til høgre i figuren. Til spektroskopi på frukt og grønsaker er det i hovudsak UV-stråling, synleg lys og nær-infraraud stråling (Carroll 2010).

### 9.1.1 Nær-infraraud (NIR) spektroskopi

Nær-infraraud (NIR) stråling vart fyrst oppdaga i 1800 av William Herschel. Han oppdaga NIR-ståling ved ei tilfeldigheit då han prøvde å finne ut om det var ein samanheng mellom farge og temperatur på sollys. Under desse forsøka fann han ut at den høgaste temperaturen låg utanfor den raude delen av spekteret. William Herschel trudde ikkje på dette tidspunktet at det var ein samanheng mellom lys og denne strålinga, men i 1835 demonstrerte Ampere at den einaste skilnaden mellom lys og det han kalla infraraud ståling, var bølgjelengda (Davies 2000).

Nær- infraraud stråling dekker det elektromagnetiske spekteret frå 780 nm til 2500 nm. Når stråling treff prøva kan den verta reflektert, absorbert eller transmittert, og det relative bidraget av kvart av desse fenomen er avhengig av den kjemiske oppbygginga og dei fysiske eigenskapane til prøva (Nicolai et al. 2007). Absorpsjonar i dette området vert generert frå grunnleggande vibrasjonar gjennom prosessane overtonar og kombinasjonar. Denne typen absorpsjonsspektroskopi er vesentleg svakare enn i det mid-infraraude spekteret (2,500-50,000nm) og den molekylære informasjonen er svært overlappande. På grunn av at spektra til forskjellige stoff er svært like og overlappar kvarandre i NIR-området, vart NIR-spektroskopi sett på som unyttig fram til datamaskina, avansert databehandling og multivariabel analyse vart utvikla.

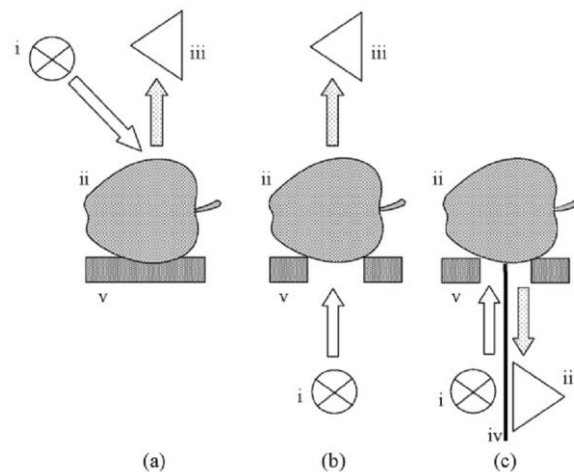
NIR-analyser kan bruka reflektert energi og dette er ein av dei store fordelane med denne teknikken. Dette betyr at NIR-analyser kan bli gjennomført med lite, eller ingen, førebuing av prøva. Reflektert energi er kompleks. For det fyrste består den av to delar, speglende og diffus refleksjon. Den speglende informasjonen gjer lite informasjon ved NIR-spektroskopi, men den diffuse refleksjonen er avhengig av den fysiske strukturen i prøva. Partikkelstorleik er særskild viktig. Variasjonar i fysiske parameter i prøva fører til endringar i spekteret slik at observert spekter er ei blanding av kjemisk og fysisk informasjon. Sidan NIR-spektroskopi kan gjennomførast utan førebuing av prøva, er analysetida redusert frå timar til minutt. I tillegg kan ein finne fleire resultat i dei same NIR-data, medan i tradisjonelle analysar ofte vil trengja fleire teknikkar og timar med arbeid. Derimot er det naudsynt å utvikla kalibreringar som treng mange prøvar, mange timar arbeid og tusenvis av data-kalkuleringar (Davies 2000; Nicolai et al. 2007).

#### 9.1.1.1 *Bruk av NIR-spektroskopi i frukt og grønt*

Fyrste gong NIR-spektroskopi vart brukt i samband med jordbruk var av Norris (1964) til måling av fukt i korn. Sidan den gongen har teknikken vorte nytta til raske analyser av i hovudsak fukt, protein og feittinnhald på mange fleire jordbruks- og matprodukt. NIR-spektroskopi på frukt vart i starten berre brukt på prosesserte produkt, som purear, vin og frukt-juice, men dei siste 20 åra har teknikken vorte utvida til analyse av intakt frukt (Lin & Ying 2009). Dei fyrste forsøka vart gjort på tørrstoffinnhald i lauk, innhald av oppløyst tørrstoff i eple og vassinnhald i sopp, men teknikken har raskt spreidd seg til andre produkt. Sidan spreinga av NIR-stråling i frukt og grønsaker er avhengig av mikrostrukturen, vart

det klart at NIR-spektroskopi kan brukast til analyse av eigenskapar som fastleik, indre skade og sensoriske kvalitetar (Nicolai et al. 2007).

Teoretisk sett har alle organiske komponent i frukt eit eige spekter, men for at det skal vere mogeleg å gjennomføre gode analyser må komponenten ha ein massekonsentrasjon på minst 0,1%. Andre kvalitetar som tørrstoff, fastleik og ytre og indre skadar kan òg verta analysert med NIR-spektroskopi, men då indirekte. Dei kvalitetane i frukt som oftast har vorte analysert med NIR-spektroskopi er sukkerinnhald, syreinnhald, pH, pektin og fastleik (Lin & Ying 2009).



Figur 7: Refleksjon (a), transmisjon (b) og interaksjon (c) er 3 ulike analyse-oppsett for NIR-spektroskopi. Oppsetta består av ei lyskjelde (i), prøva (ii), monokromator / detektor (iii), lys-barriere (iv) og støtte til prøva (v). Ved interaksjons-modus vert lys frå refleksjon fysisk hindra frå monokromatoren ved ein barriere (Nicolai et al. 2007).

Ved NIR-spektroskopi kan ein nytte 3 ulike måleoppsett, som vil påverka spektera, sjølv på same prøve. Desse er refleksjon- (Figur 7a), transmisjon- (Figur 7b) og interaksjonsmodus (Figur 7c). Schaare og Fraser (2000) samanlikna refleksjon, interaksjon og transmisjon som metodar for analyse av SSC, tettleik og indre farge på kiwi. Dei fann at interaksjons-modus gav dei mest korrekte predikasjonane. Lammertyn et al. (2000) fann berre marginale skilnadar mellom refleksjon og interaksjon ved analyse av SSC i eple. Ved val av oppsett for analyse er det viktig å vite at kor djupt NIR-strålinga går inn i prøva vil vere avhengig av bølgjelenda. Lammertyn et al. (2000) fann at for eple så vil stråling i området 700-900 nm rekke inn til 4mm og stråling i området 900-1900 nm mellom 2-3 mm inn i eplet.

I frukt vil om lag 4% av lysinnstrålinga bli reflektert ved overflata. Den resterande delen, 96%, går gjennom overflata og inn i cellestrukturen. Her vil strålinga verta spreidd ved ulike grensefasar eller verta absorbert av bindingar som finst der (Birth 1976). Hovuddelen av spreieing av stråling i frukt og grønsaker skjer ved celleveggane (McGlone et al. 1997), men andre partiklar som stivekorn, kloroplast og mitokondria kan òg påverke (Il'iasov & Krasnikov 1991). Bryting av strålinga påverkar intensiteten

av det reflekterte spekteret, ikkje forma. Forma på spekteret heng mest saman med absorpsjonsprosessane, medan spreinga heng sterkare saman med mikrostrukturane.

I frukt har det vorte oppnådd gode resultat for estimering av sukkerinnhald og for tørrstoff, men for estimering av syreinnhald har resultatata vore mindre gode. Konsentrasjonen av syre i dei fleste frukt og grønsaker er betydeleg lågare enn for sukker. Det er difor stort sannsyn for at konsentrasjonen av syre er for låg til å påverka NIR-spekteret i særleg grad. Absorpsjonsbandet for vatn dominerer NIR-spekteret for frukt og grønsaker, og det er lite sannsynleg at mindre bestanddelar kan verta nøyaktig målt. I tillegg, når konsentrasjonen av ein slik liten bestanddel er relatert til t.d. sukkerinnhald, kan kalibreringsresultata virke fornuftige, men metoden er då indirekte og problem er venta å oppstå når han vert brukt på eit anna parti (Nicolai et al. 2007).

Så langt har dei fleste forsøka vorte gjennomført i laboratorium under statiske forhold. Nokre studiar har omhandla problem med denne teknikken på eit sorteringsband. Det er i dag tilgjengeleg fleire typar sorteringsband med integrerte NIR-system frå ulike firma, men det finst lite vitskapleg bevis for nøyaktigheita på desse (Nicolai et al. 2007). (Choi 1998) utvikla eit «on-line» sorterings-system basert på NIR-spektroskopi i refleksjonsmodus. Systemet sorterte Fuji-eple etter sukkerinnhald på ei hastigheit på to eple per sekund og SEP (standard error of prediction) på 0.78 °Brix. Dette er ein feilmargin som er akseptabel for raske analyser under sortering (Huang et al. 2008). Clark et al. (2003) undersøkte om NIR-transmisjon kunne brukast til skilja eple med indre skade frå dei utan, og konkluderte med at teknikken kunne brukast på kommersielle sorteringsband. Deretter konstruerte og testa McGlone et al. (2005) to ulike prototypar. Desse systema viste korrekte analyser av Braebun-eple i eit realistisk tempo med 5 eple per sekund. Desse systema vart i tillegg testa for sortering og gradering av eple etter innhald av tørrstoff (DM), der det vart registrert mindre enn 0,5% feilgradering ved ei hastigheit på om lag 5 eple per sekund (McGlone & Martinsen 2003).

### **9.1.1.2 Bruk av multivariabel analyse i NIR-spektroskopi**

NIR-spekter er svært komplekse og for å tolke dei treng ein matematiske, statistiske og datavitenskaplege metodar for å trekka ut den informasjonen ein har interesse av. I motsetnad til tradisjonelle metodar, der det berre vert sett på nokre få variablar i gongen, så kan ein med multivariable analysemetodar undersøke forholdet mellom svært mange variablar. Dette betyr at i staden for å samanlikne ei bestemt bølgjelengd med komponenten ein er interessert i, så ser ein på variasjonen i ei rekkje bølgjelenger (Fearn 2005).

Vatn er den viktigaste kjemiske bestanddelen av dei fleste frukt og grønsaker og sidan vatn absorberer nær-infraraud stråling i stor grad, vil spektera frå frukt og grønsaker vera dominert av denne absorpsjonstoppen. Det at NIR-spekter består av overtonar og kombinasjonsband, samstundes med den komplekse kjemiske oppbygginga av frukt og grønsaker fører til at NIR-spektera vert svært innvikla. I tillegg kan spekteret verta meir komplisert av spreining av stråling ved ulike bølgjelengder, heterogent material og støy i instrument, påverknad frå miljøet. På grunn av desse effektane er det svært vanskeleg

å kople bestemte absorpsjonsband til spesifikke funksjonelle grupper eller kjemiske komponent. Teknikkar for multivariabel statistikk, òg kalla kjemometri, er difor nødvendig for å trekkje ut informasjonen ein er på jakt etter. Som oftast betyr dette bruk av forbehandling av spektra og regresjonsteknikkar.

#### Forbehandling av spektrale data

Ofte inneheld datasett irrelevant informasjon som ikkje speglar den informasjonen ein er ute etter. Dette kan vere variasjonar i grunnlinje, tjuknad på prøva eller andre instrumentale effektar. Teknikkar for forbehandling av NIR-spekter vert brukt for å fjerna slik irrelevant informasjon. Det finst fleire teknikkar for dette, her er det nemnt dei mest brukte:

*Sentrering* er ofte det første steget ved forbehandling av spekter. Gjennomsnittet vert trekt frå kvar variabel slik at alle resultata kan tolkast som variasjon rundt gjennomsnittet. Dette vert anbefalt å gjera for all praktisk bruk. *Midling* av spekter vert brukt for å redusera talet på bølgjelengder eller for å jamna spekteret. Moderne spektrometer har typisk ei optisk oppløysing på over 10 nm, medan ei oppløysing over dette er ikkje naudsynt i dei fleste tilfelle. Ei høg oppløysing betrar ikkje nødvendigvis informasjonen ein får frå spektra.

*Normalisering* av spektrale data kan kompensera for additive (variasjon i grunnlinje) og multiplikative variasjonar (tilting) i datasettet, som vert induisert av fysiske effektar som ulik grad av spreining i gjennom spekteret. Grada av spreining er avhengig av bølgjelengd, partikkelstorleik og brytingsindeks. Multiplikativ scatterkorrigering (MSC) og standard normal variasjonskorrigering (SNV) er to døme på metodar for normalisering. Ved SNV vert kvart spekter normalisert til null i gjennomsnitt og men lik variasjon.

*Derivasjon* er ein annan metode for å fjerna additiv og multiplikativ effektar, samstundes som informasjonen vert bevart og framheva (til dømes ved overlapping av spektrale toppar). Andre-grads derivasjon er mest populært sidan den kan korrigerera for både additive og multiplikative effekar (som MSC). Dei vert normalt kalkulert ut i frå Savitzky-Golay algoritmen og valet mellom MSC og Savitzky-Golay algoritmen er eit spørsmål om smak (Nicolai et al. 2007).

#### Lineære regresjonsteknikkar

Ved multivariabel regresjon forsøker ein å finne eit forhold mellom dei observerte responsvariablane Y (kvalitetsparameter av interesse, som innhaldet av stive, sukker og fastleik) og dei spektrale data over fleire bølgjelender (X).

Ein lineær regresjonsmodell er bygd opp av følgjande:

$$Y=XB+F$$



der  $X$  er spektraldata,  $Y$  er kvalitetsparameter,  $B$  er korresponderande regresjonskoeffisient og  $F$  er residualar (modellfeil, støy) .

*Multipel lineær regresjon* (MLR) er den enklaste forma for multivariabel regresjon. I multipel lineær regresjon vert  $Y$  estimert av ein lineær kombinasjon av dei spektrale verdiane ved kvar enkelt bølglengd. Regresjonskoeffisientane vert estimert ved å minimera feilen mellom predikerte og observerte responsverdiar ved minste kvaderatans metode. MLR-modellar fungerer ofte dårlig på grunn av stor grad av kolinearitet mellom spektra og overtilpassing, og dermed tap av robusthet i modellen (Naes et al. 2002,; Sitert i Nicolai et al. 2007).

*Prinsipalkomponentregresjon* (PCR) er ein to-steps prosedyre, som fyrst dekomponerer variasjon i  $X$  med ein prinsipalkomponents analyse (PCA) og deretter lagar ein MLR-modell ved å bruka nokre få prinsipalkomponentar (PC) i staden for å bruka dei opphavelige variablane. Dette gjer ein fordel framfor MLR ved at  $X$ -variablane (PC) ikkje er korrelert og at støy vert filtrert ut. Ei ulempe med denne metoden er at prinsipalkomponentane vert rangert etter grad av forklart varians i dei spektrale data, og det er ikkje sikkert at den fyrste prinsipalkomponenten som vert brukt til regresjonsmodellen er den komponenten som inneheld mest informasjon med tanke på responsvariabelen (Wold et al. 2001).

*Delvis minste kvadrats regresjon* (PLSR) vart utvikla av Wold et al. (2001) for å unngå problema med PCR. I PLSR vert det danna eit vinkelrett forhold for latente variablar slik at dei vert orientert langs retningar for maksimal kovarians mellom dei spektrale data  $X$  og responsvektoren  $Y$ . På denne måten sikrar ein at dei latente variablane vert sortert etter deira relevans for estimering av  $Y$ -variablar. Denne metoden er spesielt bra når dei ulike  $X$ -variablane uttrykk same informasjon, noko som ofte er tilfelle for spektrale data av biologisk material (Naes et al. 2002).

#### Val av kalibreringssett

Alle metodane for kalibrering er basert på korrelasjonen mellom samla spekter og referansemålingar for dei same prøvene. For at kalibreringa skal bli mest mogeleg robust er det svært viktig at dette settet av spekter og referansemålingar, kalibreringssettet, er representativt for dei prøvene som ein seinare vil analysere. Det må dekke den variasjonen som den seinare skal gjere predikasjonar i. I tillegg til dette må kalibreringssettet dekke variasjonen som kan førekome i fysiske eigenskapar eller andre komponentar enn den som er av interesse. Det ideelle kalibreringssettet er ei utval tilfeldige prøvar frå alle prøvar som kalibreringa nokon gong vil verta brukt på. Dette er i dei fleste tilfelle uopnåeleg, men det er viktig å likevel prøve å bruke eit utval som representerer hovudvariasjonane i prøvene (Fearn 2005).

#### Vurdering av regresjonsmodell

Uteliggjarar i datasettet kan koma av skrivefeil, filoverføringar, feil på sensor, dårlig sampling og liknande. Ei prøve kan vere ein uteliggjar anten berre i følge  $X$ -variabel eller  $Y$ -variabel, eller bli ein

idet X-Y-forholdet vert vurdert (Nicolai et al. 2007). I praksis kan ein berre fjerne dei uteliggjarane som påverkar regresjonsmodellen og å fjerna færrest mogeleg bør vere eit mål (Martens & Naes 1992).

For å vurdere kor nøyaktig ein kalibreringsmodell er, og for å unngå overtilpassing av modellen, må ein ta i bruk valideringsmetodar. Ein metode for dette er kryssvalidering. Ved kryssvalidering vert ei og ei prøve fjerna frå datasettet og det vert laga ein kalibreringsmodell basert på dei resterande prøvane. Deretter bruker ein den prøva som vart tatt ut av modellen til å rekne ut prediksjonsfeilen. Denne prosessen vert repetert heilt til alle prøvane har vorte tatt ut ein gong. Til slutt vert variansen til prediksjonsfeilen frå alle modellane estimert. Kryssvalidering kan gjennomførast på denne måten ved å ta ut ei og ei prøve, eller eit definert tal prøver.

Andre metodar for validering av ein kalibreringsmodell er intern validering og ekstern validering. Ved intern validering deler ein datasettet i ein validerings- og ein kalibreringsdel, og prediksjonsfeil vert rekna ut ved å bruke kalibreringssettet på valideringssettet. Ved ekstern validering er valideringssettet eit eksternt datasett og er uavhengig frå kalibreringssettet, til dømes eple frå ein annan frukthage eller eit anna år, enn dei som vart brukt i kalibreringssettet (Nicolai et al. 2007).

Prediksjonsfeilen i ein kalibreringsmodell er definert som «root mean square error of cross validation» (RMSECV) når det vert brukt kryssvalidering, eller «root mean square error of prediction (RMSEP)» når det vert brukt intern eller ekstern validering (Naes et al. 2002). RMSECV eller RMSEP er definert som

$$RMSECV \text{ eller } RMSEP = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_p} (\hat{y}_i - y_i)^2}{n_p}}$$

Der  $n_p$  er talet på validerte objekt, og  $\hat{y}_i$  og  $y_i$  er den predikterte og den målte verdien i observasjon  $i$  i testsettet. Denne verdien gjer den gjennomsnittlege usikkerheita ein kan vente av modellen ved framtidige prøvar.

«Ratio of standard error of performance» (RPD) er definert som ratioen av standardavviket i responsvariabelen på RMSEP eller RMSECV. Mange har forsøkt å definere genser for kva ein akseptabel RPD-verdi bør vere, men det er ikkje einigheit om dette. Nicolai et al. (2007) skreiv at ein RPD-verdi mellom 1.5 og 2.0 betyr at modellen kan skilja låge frå høge verdiar i responsvariabelen; ein verdi mellom 2.0 og 2.5 indikerer at grove kvantitative estimat er mogeleg, og ein verdi frå 2.5 og oppover betyr at modellen er svært god og kan gjera gode predikasjonar. McGlone og Kawano (1998) såg på RPD på 3 som ei nedre grense for akseptabel sortering ved NIR-spektroskopi for å kunne sortere i tre grupper der dei to ytterpunkta ikkje overlappar. RPD på 2 vil bety to grupper, men med større grad av overlapping mellom gruppene. Cozzolino et al. (2011); (Fearn 2002; Williams 2001) meinte at RPD under 3 betyr at modellen kan skilja låge og høge verdiar av responsvariabelen og gi ei grov sortering. RPD over 5 indikerer god klassifisering og modellen er svært bra for kvalitets- og prosesskontroll.

Ein anna nyttig statistikk er  $R^2$ . Den representerer delen av forklart varians i responsvariabelen i kalibrerings- ( $R_c^2$ ) eller valideringssettet ( $R_v^2$ ). Verdien varierar mellom 0 og 1 og ein 100% nøyaktig modell vil ha  $R^2$  på 1. Etter eit kalibreringsforsøk bør fleire av parameterane for validering av modell vurderast: korrelasjon, RMSEC, RMSEP og bias (Martens & Naes 1992). Forholdet mellom  $R^2$  og RPD er:

$$\left[ RPD = \frac{1}{\sqrt{1 - R^2}} \right]$$

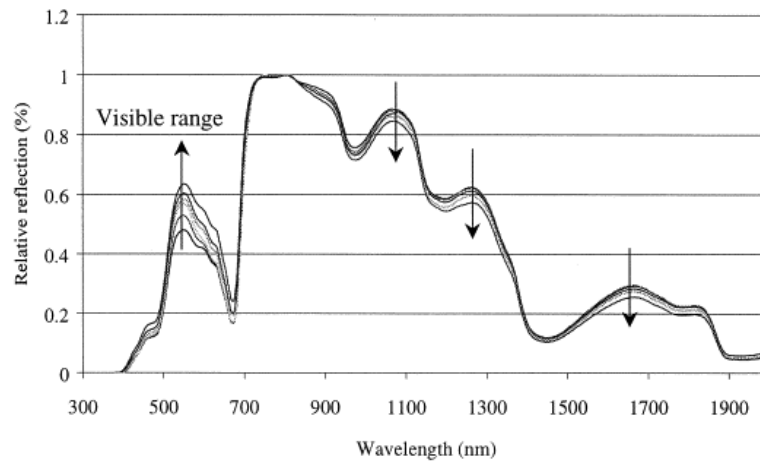
RPD og  $R^2$  er direkte knytt saman, men RPD viser større variasjon ved  $R^2$  nære 1 (Dardenne 2010).

### 9.1.2 Synleg lys (VIS) spektroskopi

Modningsprosessen i eple involverer endring i innhald og samansetjing av pigment i skalet (Solovchenko et al. 2006) og ei av dei største endringane under modning og lagring er degraderinga av kloroplaststruktur og tap av klorofyllinnhald (Kingston 1992; Knee 1972). Zude og Herold (2002) viste at måling av klorofyllinnhald ved optiske spekter kan vere eit verktøy for å bestemme optimal haustetid for eple. Klorofyll heng sterkt saman med etylen-produksjon i eple, hormonet som induserer dei fysiske, metabolske og biokjemiske endringane under modninga. Innhaldet av klorofyll kan difor brukast som ein markør på modningsgrad (Merzlyak et al. 2005; Zude-Sasse et al. 2002).

I den synlege delen av det elektromagnetiske spekteret (400-700nm) er det pigment som klorofyll, karotenoid og antocyan som står for det meste av absorpsjonen i eple (Knee 1972; Solovchenko et al. 2005). Synleg lys (VIS)-spektroskop kan difor brukast til å måle klorofyllinnhald og andre fargerelaterte eigenskapar. Ein vil dermed kunne registrere skilnadar ein ikkje kan sjå med det blotte auge, sjølv etter at eple har vorte farga raudt av antocyan. Dette er ein stor fordel framfor tradisjonell fastsetjing av grunnfarge med fargevifte. Ein metode som har svært stor feilmargin. Å måle klorofyllinnhald ved VIS-spektroskopi på intakte eple vil i tillegg vere mindre tidkrevjande og meir kostnadseffektive enn tradisjonelle kjemiske analysar (Merzlyak et al. 2003).

Påverknad av modningsgrad på VIS/NIR-spektera til eplesorten 'Golden Delicious' er vist i Figur 8, der pilene indikerer ei aukande modningsgrad. I den synlege delen av spekteret kan ein sjå ei tydeleg endring over tid. Denne endringa kjem i hovudsak av overgangen frå grøn til gul og raud farge på epleskalet (Peirs et al. 2001).



Figur 8: Påverknad av modningsgrad på refleksjonsspektra av eplesorten 'Golden Delicious'. Piler indikerer aukande modningsgrad (Peirs et al. 2001). Endringa ein ser i det synlege spekteret kjem av at epleskalet går frå å vere grønt (490-570nm) til å bli meir gult og raudt (620-780nm).

Spektroskopi har gjennom forsøk vist seg å vera eit godt alternativ for ikkje-destruktive analyser, både med mogelegheita for å måle fleire parameter per analyse og å dele frukt inn i ulik modningsgrad med høg presisjon. Likevel har teknikken ei ulempe i behovet for repetert kalibrering på mange frukter, avhengig av temperaturen frukta er lagra på, storleik på frukta, modningsstadium, og til ei viss grad området ho vart produsert i. Som eit resultat av dette må kalibreringa bli verifisert og oppdatert kontinuerleg, noko som krev mykje ressursar (Costa et al. 2009). For å unngå problemet med repetert kalibrering vart det i 2008 utvikla eit handhaldt, ikkje-destruktivt instrument (DA-meter, Sinteleia, Bologna, Italia). Ved hjelp av absorpsjon ved to ulike bølgjelengder, kan ein indirekte måle klorofyllinnhaldet i frukta. Instrumentet bruker absorpsjon ved 670 og 720 nm og kalkulerer ut i frå dette ein indeks,  $I_{AD}$  («index of absorption difference»), som eit estimat for klorofyllmengda i frukta. Klorofyll i steinfrukt (som instrumentet var utvikla for) har maksimal absorbans ved 670 nm og minimal absorbans ved 720 nm. Under modning vert klorofyllet i eple brote ned. Absorbans ved 670 nm vil dermed verta mindre, medan absorbans ved 720 nm vil halda seg konstant. Indeksen som instrumentet målar vil dermed minke gradvis gjennom modninga. Denne metoden har ein fordel framfor tradisjonell spektroskopi ved at han ikkje krev kalibrering og store mengder statistisk databehandling før bruk (Ziosi et al. 2008). Metoden vil derimot vere mindre nøyaktig då ein ikkje kan vere heilt sikker på akkurat kva instrumentet målar. Det kan vere andre komponent i epla som absorberer lys ved dei same bølgjelengdene og påverkar indeksen. Ved bruk av spektroskopi, med kalibrering av målingane gjennom statistiske behandlingar, kan ein gjere meir nøyaktige målingar utan denne feilkjelda.



Figur 9: Bildet til venstre viser DA-meteret med referansebrikke. Bildet til høyre viser DA-meteret frå framsida med LED-lys og sensor. Sensoren er plassert i sentrum og dei 6 LED-lysa plassert rundt, 3 som avgjer lys ved 670 nm og 3 som avgjer lys ved 720nm. Foto: Ingvill Hauso.

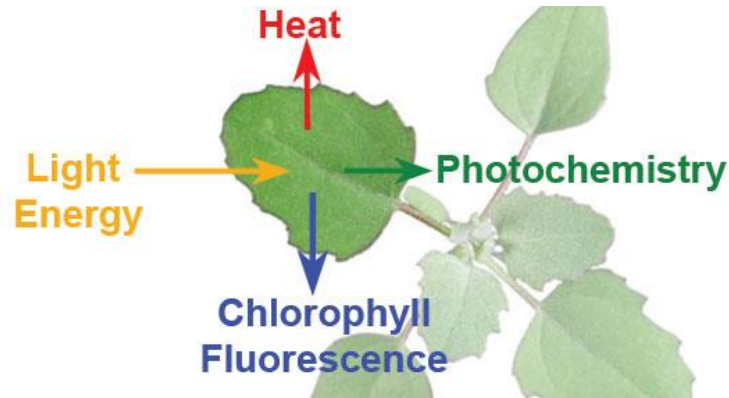
DA-meteret har ikkje mogelegheita til å bestemme vanlege kvalitetsparameter, som oppløyst tørrstoff, fastleik eller syreinnhald, men indeksen korrelerar med fleire av parameterane som endrast under modninga; etylenproduksjon, klimakterisk stadium og til ei viss grad fastleiken i fruktkjøtet (Costa et al. 2009). Foreløpig har instrumentet vist lovande resultat. I fersken har indeksen vorte brukt til å finne optimal haustetid og sortering etter hausting. I ei anna studie vart instrument til å dele fersken og nektarinar inn i homogene klassar med like lagringstid. Nyasordzi et al. (2013) fann at  $I_{AD}$  gav  $r^2$  verdiar frå 0,79-0,64 i samanheng med stive, fastleik og syreinnhald i eple. Forsøket vart gjennomført på kultivarane 'Starking', 'Granny Smith' og 'Pink Lady'.  $I_{AD}$  korrelerte best med totalt syreinnhald (0,76) og minst med fastleik (0,51). Ein annan fordel med DA-meteret er at, medan nivåa på dei tradisjonelle parameterane, som oppløyst tørrstoff eller fastleik, er ulike frå år til år, er  $I_{AD}$ -indeksen er konstant (Costa et al. 2009).

DA-meteret har i nyare tid vorte testa på fleire eplesortar i Noreg. Det er funne gode korrelasjonar mellom tradisjonelle analysar som grunnfarge og stive med  $I_{AD}$  (Vangdal 2012). Utviklinga av  $I_{AD}$  ser ut til å vera sigmoid og optimalt haustetidspunkt ser ut til å koma rett etter vendepunktet i denne kurva. Dette vendepunktet kan fastsetjast ganske nøyaktig. På denne måten er det anteke at DA-meteret kan vere til hjelp i fastsetjing av optimalt haustetidspunkt (Vangdal et al. 2014). Knutsen et al. (2013) sorterte Aroma i tre modningsgrader med DA-meteret før lagring og fann at  $I_{AD}$  kan brukast til å estimere lagringstid.

### 9.1.3 Klorofyll-fluorescens

Klorofyll *a* og *b* absorberer i hovudsak lys frå rett under 250 nm til litt over 700nm. Når eit klorofyllmolekyl blir treft av lys, kan energien frå dette lyset ta tre ulike retningar: Størsteparten vil verta absorbert og nytta til å drive fotosyntese i planta, medan resten vert omdanna til varme eller sendt ut att som lys - klorofyll fluorescens (ChlF). Desse tre prosessane vil gå føre seg i konkurranse med kvarandre. Det vil seie at ein auke i effektiviteten i den eine, vil føra til ein tilsvarande reduksjon i dei andre. Ved å måle klorofyll-fluorescens kan ein dermed få informasjon om dei to andre prosessane. Sjølv om

mengda klorofyll-fluorescens er liten (1-2% av lys totalt absorbert), er den relativt enkel å måle. Spekteret til fluorescens skil seg frå det absorberte lyset ved at fluorescens har ei litt lengre bølgjelend. Dermed kan klorofyll-fluorescens kvantifiserast ved å utsetje ei prøve for lys med ei bestemt bølgjelengd og deretter måla mengda tilbakestrålt lys med ei lengre bølgjelengd (Maxwell & Johnson 2000).

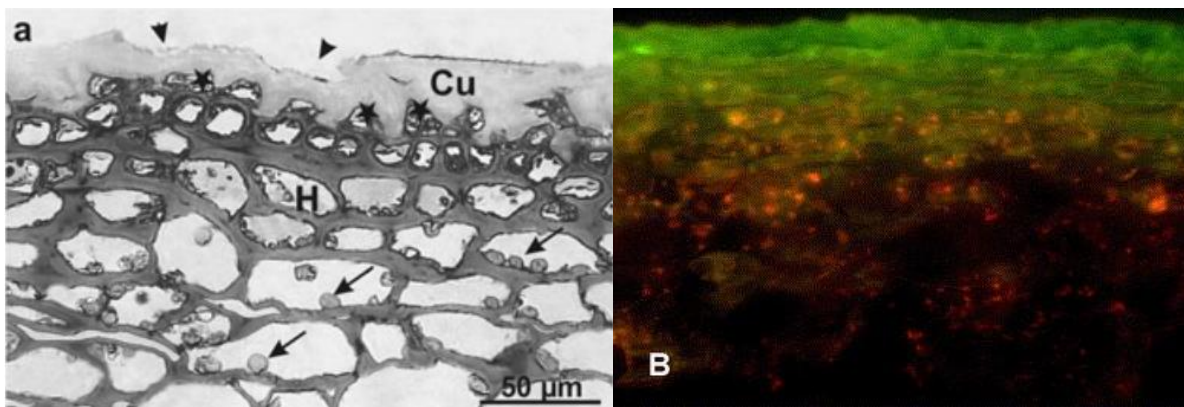


Figur 10: Lys-energi som treff eit klorofyllmolekyl kan gå i tre ulike retningar. Den kan bli nytta i fotosyntesen, verte omgjort til varme eller sendt ut att som lys – klorofyll fluorescens (Plant Protection Chemistry New Zealand 2009).

Analyser av klorofyll-fluorescens har i stor grad vorte brukt for å måla fotosyntetisk aktivitet og effekten av stress har på den. Andre studiar har peikt på klorofyll-fluorescens som eit moglege verktøy til vurdering av modningsutvikling og vurdering av kvalitet i klorofyllhaldig frukt (Song et al. 1997). På eple har det vorte gjort studiar på klorofyll-fluorescens under lagring (Mir et al. 1998; Song et al. 1997), stressforhold (Solovchenko & Schmitz-Eiberger 2003) og modning (Song et al. 1997). Desse studiane er basert på fluorescens induksjonskinetikk i overgang frå mørke til lys (Katsky-effekten) og målt med eit PAM-fluorimeter (pulse amplitude modulated). PAM-fluorimeteret baserar seg på at eit svært svakt lys vert skrudd raskt av og på. Dette er så lite lys at det ikkje kan drivast elektrontransport og ein kan dermed bestemma bakgrunnsfluorescensen ( $F_0$ ). Målesystemet måler berre fluorescensen som kjem frå det modulerte eksiterande lyset. Maksimal fluorescens ( $F_m$ ) vert målt under eit kort lysglimt, stort nok til å lukka alle reaksjonssentera for ein kort augneblink. Forholdet  $(F_m - F_0)/F_m$  er direkte proporsjonalt med kvanteutbyttet i fotosyntesen. Denne teknikken krev ei mørketilpassing av prøvene og er dermed upraktisk for bruk i felt.

I 1997 introduserte Bilger et al. ein ny metode for vurdering av UV-absorberande komponent i epidermis i blad. Metoden samanliknar klorofyll-fluorescens (ChlF) indusert av UV-stråling med ChlF indusert med blått lys. Forholdet mellom desse signala estimerer innhaldet av UV-absorberande komponent i vakuolar og celleveggar i epidermis. Intensiteten av klorofyll fluorescens er relatert til mengda lys som når klorofyllet i overflata. Eple inneheld ei stor mengd flavonoid, deriblant flavonol og antocyan (Awad et al. 2000). Mengda antocyan i dei epiderme og hypoderme cellene (Figur 11a) i skalet bestemmer intensiteten på raudfargen på skalet i raude eplesortar. Dei absorberer ein del av det synlege lyset og er mellom anna anteke å verna fotosynteseapparatet mot skadelege nivå av lys (Merzlyak & Chivkunova 2000). Flavonol er for det meste utan farge, eller svakt gule. Dei absorberer ultrafiolett (UV)-stråling og

beskyttar underliggende vev mot UV-induserte skadar (Solovchenko & Schmitz-Eiberger 2003). Desse bindingane i dei ytre skal-laga i eplet kan absorbera noko av innstrålinga, og dermed redusera klorofyll-fluorescensen proporsjonalt med konsentrasjonen av bindingane. Denne metoden skil seg frå bruken av PAM-fluormeter som ein annan måte å bruka klorofyll-fluorescens ved at det vert mogeleg å bruka metoden i felt og under varierende lysforhold. For at ChlF-metoden skal vera gyldig, må følgande krav vera oppfylt: Prøva må innehalde klorofyll, dei absorberande komponentane må vere lokalisert over klorofyllmolekyla og ChlF må verta indusert av minst to ulike bølgjelengder; ei som vert absorbert og ei referanse som ikkje vert absorbert av komponenten ein er interessert i.



Figur 11. Bildet til venstre viser eit snitt gjennom skalet på eplesorten Szamion etter hausting. Stjerner viser epidermis og H viser hypodermis (Dickinson & White 1986). Bildet til høgre viser eit snitt gjennom skalet på eplesorten Aroma under epifluorescensmikroskopi. Den raude og grønne fargen kjem frå høvesvis klorofyll og fenolar (Hagen et al. 2006).

Denne teknikken for klorofyll-fluorescens indusert ved to, eller fleir, bølgjelengder har til no blitt brukt på bladprøver av ulike artar og grønne druer for å måle absorpsjon av UV-ståling i epidermis. Agati et al. (2005) brukte det same prinsippet for å måle antocyanin i oliven gjennom modning, Bengtsson et al. (2006) for estimering av flavonoid i brokkoli og Hagen et al. (2006) for flavonoid i eple.

Hagen et al. (2006) fann at flavonoid i eple, ligg i hovudsak i epidermis, medan klorofyll er lokalisert i parenkyma under epidermis. Sidan flavonoida er lokalisert over klorofyllet, kan metoden med siling av klorofyll-fluorescens brukast på eple (Figur 11b). I deira forsøk vart det funne gode samanhengar mellom ChlF og innhaldet av antocyanin og totalt flavonoid-innhald

# 10 MATERIALE OG METODAR

## 10.1 MODNINGSUTVIKLING

### 10.1.1 Plantemateriale

Eple (*Malus domestica* Borkh.) av sortane Raud Aroma, Discovery og Summerred vart brukt i forsøket. Alle fruktene vart hausta på Lofthus i Ullensvang (N 60.3326821, E 6.6609551) (**Feil! Fant ikke referanse-kilden.**). Felta som vart brukt var alle felt med intensivt dyrkingssystem. Tabell 1 viser planteår, planteavstand, grunnstamme og grunn gjødsling for dei ulike felta som vart henta eple frå under modningsutviklinga.

Tabell 1: Informasjon om felta som vart brukt til hausting av eple under modningsutviklinga. For sprøytingar, sjå vedlegg.

	Discovery	Raud Aroma	Summerred
Planteår	2007	2008	2010
Planteavstand (m)	3,5 x 0,7	3,5 x 0,8	4,5x1,0
Grunnstamme	M9	M9	M9
Grunngjødsling	12-4-16, 25 kg/daa	12-4-16, 25 kg/daa	12-4-18, 20 kg/daa

### 10.1.2 Forsøksdesign

For alle sortane vart det gjort analyser kvar veke under modningsutvikling. Analysane i felt starta 10. august og heldt fram til hausting for Discovery 22. september, Summerred 7. oktober og Raud Aroma 15. oktober.

Kvar veke vart det tatt ut 3 gjentak av 10 eple av dei tre sortane. Epla som vart hausta var fri for skade og representerte eit gjennomsnitt i modningsgrad for treet. Kvar gjentak vart fordelt på 2 til 3 tre og det vart notert om eplet vart henta frå nordsida eller sørsida av treet. Det vart valt ut eple frå nye tre kvar veke. Epla vart deretter transportert direkte til laboratoriet, der vekt, diameter, grunnfarge, dekkfarge, fastleik, sukkerinnhald og stiveinnhald blei målt og vurdert. I tillegg vart alle epla målt med dei ikkje-destruktive måle metodane; DA-meter, Multiplex-3® og NIR-instrumentet. Analysane vart gjennomført om lag midt mellom stilk og beger, på sol- og skuggesida på kvart eple (for info om instrument sjå kapittel 10.4.1, 10.4.2 og 10.4.3.).

Grunnfarge var vurdert frå 1 til 9, der 1 tilsvara grøn og 9 tilsvara gul. Dette vart gjort ved hjelp ei spesiallaga CTIFL-vifte, der 1-7 tilsvara 1-4 (C2(a)-C8(a)) på CTIFL Golden® og 8-9 tilsvara C6-C7 på CTIFL Tentation® (Figur 12). Denne vifta er laga ved NIBIO, Ullensvang for å ha eit stort nok fargespenn til dei norske sortane. Dekkfarge vart vurdert frå 1-9 etter prosentvis dekke på eplet, der 1 er 0-10%, 2 er 10-20% raudfarge på eplet osv. For å måle fastleik vart det brukt eit automatisk



penetrometer (Fruit Texture Analyser, Güss, Sør-Afrika) med eit 11mm stempel som presser stempelet ein viss avstand inn i fruktkjøtet og registrerer krafta som vert brukt ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ). Epla vart skrelt før analyse med fastleiksmålaren. Sukkerinnhaldet vart analysert med eit digitalt refraktometer (PR-101, Atago Co. Ltd, Tokyo, Japan) (% oppløyst tørrstoff). Det vart brukt saft frå fastleiksmålingane, så lenge dette var mogeleg. I starten av modningsutvikling og i slutten av lagringsperioden vart det laga juice av ei ekvatorial skive frå kvart eple som vart blanda saman og analysert. Under modningsutviklinga vart det blanda saft frå eple 1-5 og eple 6-10 innan kvart gjentak før analyse og ved uttak frå lager vart safta frå alle epla innan kvart gjentak (10 eple) blanda før analyse. Stiveinnhaldet vart bestemt ved å kutte epla i to over ekvator og dyppe snittflata i ei løysing av jod og kalium (10g jod, 40g kalium, vatn til totalt 1000g). Deretter vart kvart enkelt eple gradert 1-10 ut i frå sortspesifikke referansemalar, der 1 svarar til ingen nedbryting av stive og 10 svarar til all stive brote ned.



Figur 12. Fargeskala brukt for vurdering av grunnfarge i forsøket. Vifta er sett saman av to ulike CTIFL-vifter der nr 1-7 svarar til 1-4 (C2(a)-C8(a)) på CTIFL-golden<sup>®</sup> og nr 8-9 tilsvara C6-C7 på CTIFL-golden<sup>®</sup>. Foto: Ingvill Hauso.

## 10.2 MODNINGSUTVIKLING I FELT

Det vart vald ut 4x10 eple som vart følgd i felt med eit DA-meter (Sinteleia, Bologna, Italia). DA-meteret er eit handhaldt VIS-instrument som måler ein indeks,  $I_{AD}$  («Index of absorbance difference»). På kvart eple vart det markert to punkt, eitt på solsida og eitt på skuggesida (Figur 13) slik at målingane vart gjort på same punkt kvar veke. Epla som vart vald ut var eple som var frie for skade/sjukdom, var lett tilgjengelege og som hadde ei modningsgrad som ikkje skilde seg frå resten av treet. Det vart vald ut eple både frå sørsida og nordsida av treet.



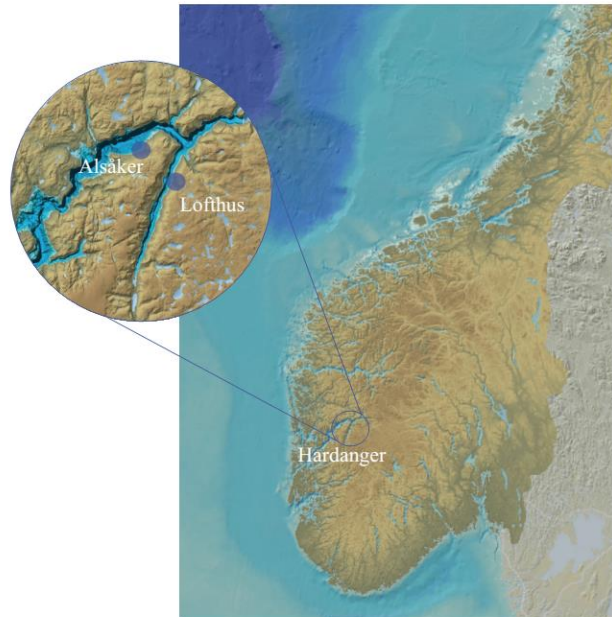
Figur 13 Alle epla som vart følgd i felt med DA-meter vart merka på sol- og skuggesida slik at analysane alltid vart utført i same punkt. Foto: Ingvill Hauso

## 10.3 LAGRING

### 10.3.1 Plantemateriale

Eple (*Malus domestica* Borkh.) av sortane Raud Aroma, Discovery og Summerred vart brukt i forsøket. Alle fruktene vart hausta på Lofthus i Ullensvang (N 60.3326821, E 6.6609551), utanom Raud Aroma, som vart henta på Alsåker i Ullensvang (N 60.413097, E 6.527944) ().

Felta som vart brukt var alle felt med intensivt dyrkingssystem (sjå kapittel). Tabell 1 viser planteår, planteavstand, grunnstamme og grunnjødsling for dei ulike felta som vart henta eple frå under modningsutviklinga.



Figur 14. . I lagringsforsøket vart det hausta eple frå Alsåker og Lofthus. Foto: Norgeskart.

Tabell 2. Informasjon om felta der epla som vart brukt til lagringsforsøket vart hausta. For sprøytingar, sjå vedlegg.

	<b>Discovery</b>	<b>Raud Aroma</b>	<b>Summerred</b>
<b>Planteår</b>	2007	2010	2010
<b>Planteavstand (m)</b>	3,5 x 0,7	3,5 x 0,9	4,5x1,0
<b>Grunnstamme</b>	M9	M9	M9
<b>Grunnjødsling</b>	12-4-16, 25 kg/daa	12-4-18, 15 kg/daa og Marihøne (250-300g) på svaktveksande tre.	12-4-18, 20 kg/daa

Etter hovudhaustinga av epla vart dei transportert direkte til NIBIO (Norsk Institutt for Bioøkonomi) i Ullensvang, for analyser og lagring. Discovery og Summerred vart sortert på DA-verdi same dagen som epla vart hausta, medan på raud Aroma vart det gjort etter 1 dag lagring ved 4°C. Summerred vart sortert med NIR 1 dag etter hausting, raud Aroma etter 2 dagar og Discovery etter 16 dagar (Tabell 3). I tida frå epla vart hausta fram til dei vart sortert vart dei oppbevart på lager med 4°C.

Tabell 3. Tidspunkt for hausting og sortering i modningsgrader for dei tre eplesortane. I tida frå hausting til sortering vart epla lagra ved 4°C.

	<b>Discovery</b>	<b>Summerred</b>	<b>Raud Aroma</b>
<b>Hovudhausting</b>	22. september	7. oktober	13. oktober
<b>Sortert med DA-meter</b>	22. september	7. oktober	14. oktober
<b>Sortert med NIR-spektroskopi</b>	9. oktober	8. oktober	15. oktober

### 10.3.2 Forsøksdesign

Discovery vart hausta i veke 39, Summerred i veke 41 og Aroma i veke 42 (sjå Tabell 3 for dato). Desse tidspunkta vart vald på grunnlag av rådgjevinga for haustetidspunkt i regionen same år, i tillegg til eigne analyser av modningsutviklinga som vart gjort kvar veke. Etter hausting vart epla sortert i to ulike modningsgrader ved hjelp av NIR-spektrometeret og med DA-meteret. Deretter var dei delt i to grupper der den eine vart lagra ved 1°C og den andre ved 4°C. Discovery og Summerred sortert med NIR-spektroskopi vart sortert etter eit estimert innhald av stive, medan Aroma vart sortert etter estimert sukkerinnhald. Under lagring var epla lagra i kassar (IFCO, Spania) med pappbrett, 30 eple i kvar kasse, under pallehetter av plast.

Nokre dagar før hovudhaustinga av dei aktuelle sortane, vart det laga regresjonsmodellar for sortering med VIS/NIR-instrumentet. Det vart henta om lag 100 eple som vart analysert med både tradisjonelle kvalitetsanalyser og ikkje-destruktive metodar. Desse epla vart hausta med tanke på å inkludera mest mogeleg spenn i modningsgrad. Basert på desse epla vart det laga regresjonsmodellar for innhald av stive på Discovery og Summerred og for oppløyst tørrstoff på Aroma. Desse modellane vart brukt til å sortere epla som skulle til lagring i to modningsgrader. Grensa for sortering vart vald etter korleis dei hausta epla fordelte seg og kva som var praktisk mogeleg for å få to like store grupper. Epla vart målt på solsida (sida med mest raudfarge, subjektivt vurdert) og plassert i ein klasse etter denne målinga.

DA-meteret vart brukt til å sortere eple i grupper med ulik modningsgrad før lagring. Sorteringsverdien vart vald på same måten som ved sortering med NIR-spektroskopi - etter korleis dei hausta epla fordelte seg og kva som var praktisk mogeleg for å få to like store grupper. Det vart gjort to målingar rundt ekvator på kvart eple, og eplet vart deretter plassert i ei gruppe basert på gjennomsnittet av desse målingane.

Det vart gjort uttak etter 4, 8 og 12 vekers lagring. Epla vart analysert etter uttak frå kjøll og etter 2 nye veker der dei vart oppbevart ved 20°C for simulering av butikk (Tabell 4). Alle epla vart analysert på same måte som under fruktutviklinga, men dei vart i tillegg undersøkt for eventuell skade/sjukdom. Alle epla vart delt i to over ekvator, slik at det vart registrert skadar og sjukdomar både inni og på utsida av epla. Røte vart bestemt basert på karakteristiske symptom og teikn på soppen som forårsaka symptoma.

Dersom det var røteflekkar som ikkje var identifiserbare, vart desse lagra lengre (20°C) og identifisert ved mikroskopi. Vekta av kvar kasse med eple (x30) vart registrert før og etter lagring.

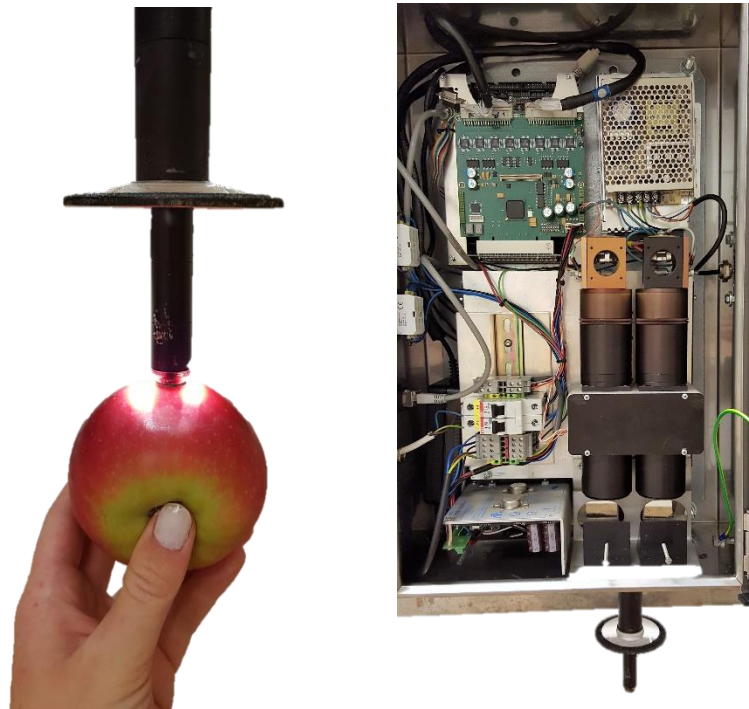
Tabell 4: Lageruttak etter 4, 8 og 12 veker. Det var gjort analysar rett etter uttak frå kjølelager og etter 2 veker ved 20°C.

Uttak frå kjølerom (1°C eller 4°C)	Talet på eple (x 4 gjentak)
4 veker kjøøl	10
4 veker kjøøl + 2 veker romtemperatur	20
8 veker kjøøl	10
8 veker kjøøl + 2 veker romtemperatur	20
12 veker kjøøl	10
12 veker kjøøl + 2 veker romtemperatur	20

## 10.4 IKKJE-DESTRUKTIVE INSTRUMENT

### 10.4.1 VIS/NIR-Spektroskop

Det vart brukt eit NIR-instrument som opphavelig var utvikla for å måle feittinnhald i laks (Folkestad et al. 2008). Lys frå to 50W halogen-pærer (OSRAM, Augsburg, Tyskland) vart prosjektert, gjennom ei optisk linse og ned på eplet. Ein del av lyset vart reflektert ved overflata og ein annan del gjekk inn i fruktkjøttet i eplet og diffunderte vidare der. Den delen av lyset som vart reflektert ut att frå eplet vart fanga opp av eit sylindrisk røyr og sendt til eit spektrometer og ein sensitiv CCD- detektor. Røyret er i fysisk kontakt med eplet for å hindre at lys frå omgjevnadane og refleksjon frå utsida av eplet blir registrert. Denne typen NIR-spektroskopi vert kalla interaksjonsmodus. Spektrometeret hadde ei oppløysing på 20 nm og måler i området 460-740 nm og 760-1040 nm. Kvar måling varte i 2 sekund, men under sorteringa av eple vart det brukt 1 sekund. Området som vart belyst av instrumentet vart regulert ved hjelp av speglar mellom lyskjelda og linsa (inne i instrumentet). Dette vart justert slik at dei rektangulære områda med lys akkurat tangerte røyret som førte til CCD-detektoren (Figur 15).



Figur 15: t.v. Måling av Aroma eple med NIR-spektroskopi. Lyset var regulert slik at det tangerte det synlindriske røyret. T.h. Innsida av NIR-instrumentet som vart brukt i forsøket. Foto: Ingvill Hauso

Før kvar runde med analyser vart det gjort referansemålingar mot ein krum flate av bariumsulfat, forma som ei vogge. Denne vart halde under instrumentet slik at lysa fall på kvar si side av den krumma botn i vogga og vart reflektert tilbake til detektoren. Under måling av epla vart det brukt den same referansemålinga kvar dag.

Før måling var alle epla romtemperert til omlag 20°C. NIR-instrumentet stod i eit rom med konstant temperatur for å hindre skilnadar i målingane på grunn av temperaturendringar. Instrumentet måler om lag 1-3 cm inn i epla (Folkestad et al. 2008).

#### 10.4.2 DA-meter

DA-meteret er eit handhaldt VIS/NIR-instrument som måler ein indeks ,  $I_{AD}$  («Index of absorbance difference»), som seier noko om klorofyllinnhald. Instrumentet består av 6 diode LED-lys som er plassert rundt ein fotodiode-detektor. Tre av LED-lysa sender ut lys med ei bølgjelengd på 670 nm og dei tre andre ved 720 nm. Frukta vert i ein kort periode utsett for lys med dei to bølgjelengdene, om kvarandre. For kvar av bølgjelengdene vert det registrert kor mykje lys som vert reflektert av frukta. Lyset frå omgjevnadane vert trekt i frå målingane, målt medan alle LED-lysa er av og anteke å vera konstant heile måleperioden. Det reflekterte lyset vert registrert ved ein fotodiode plassert i senter av LED-lysa som er plassert i ein sirkel. Signalet vert konvertert til eit digitalt signal gjennom ein ADC-konverter («Analog to digital konverter») og  $I_{AD}$  henta via ein mikrokontroller. Basert på absorpsjonsspektra frå frukta vert  $I_{AD}$  kalkulert som;

$$I_{AD}=A_{670}-A_{720}$$

der  $A_{670}$  og  $A_{720}$  er absorpsjonen ved 670 og 720 nm. Det vart brukt to ulike versjonar av DA-meteret i forsøket: versjon 1.0 og 1.4. Versjon 1.0 vart brukt i alle målingar under modningsutvikling og versjon 1.4 var brukt i alle målingar i lagringsforsøket.

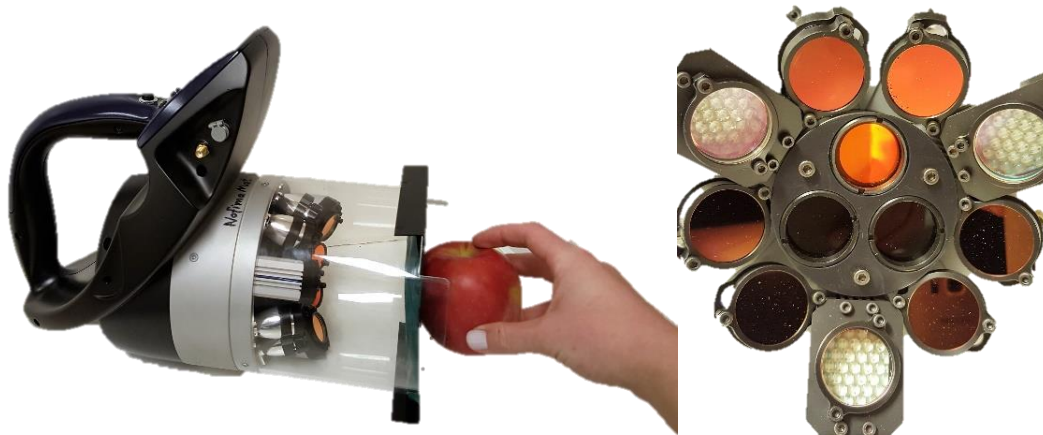
### 10.4.3 Multiplex-3®

I forsøket vart det brukt er eit multiparametrisk, handhaldt optisk instrument, Multiplex-3® (Force A, Frankrike) (Figur 16), som nyttar LED-lys med ulike bølgjelengder (UV, blå, grøn og raud) som lyskjelde og silikon-fotodiodar til måling av klorofyll-fluorescens etter at lyset har interagert med eplet. Multiplex-3® har 6 UV-lys kjelder ved 375 nm, beskytta av DUG11-filter (Schott, Mainz, Tyskland), og tre raud – blå – grøn (RGB) LED-lys, beskytta av eit 650-nm short-pass filter (Edmund Scientific, Storbritannia), som avgjer lys ved 470 nm (blå, B), 516 nm (grøn, G) og 635 nm (raud-oransje, R). LED-lysa vert pulsert regelmessig ved 476 Hz med 20µs per lysglimt. Det har tre, synkroniserte, fotodiode-detektorar for å registrera fluorescens, gul (YF), raud (RF) og mørkeraud (FRF). Desse er definert av høvesvis 590NM10, 678WB22 og 750WB65 interferens-filter (Intor, Socorro, NM USA). I tillegg har RF-kanalen eit 3 mm RG665 raudt glasfilter (Schott, Mainz, Tyskland) og FRF-kanalen har eit 3mm RG9 mørkeraudt glasfilter (Schott, Mainz, Tyskland).

Sensoren måler ein 8 cm diameter sirkel om lag 10 cm frå lyskjelda, der ein plasserer prøva. Kva måling varer mindre enn eit sekund og består av ei rekke med 500 lysglimt av 4 fargar (UV, B, G og R). Instrumentet kalkulerer eit sett med ulike ratioar etter lysserien. Deretter lagrar det gjennomsnittet og standardavviket av dei 500 målingane for dei 12 signala (Tabell 5) og 10 ratioar på eit SD-kort. Instrumentet reknar i tillegg ut eit utval indeksar som klorofyll, antocyanin og flavonolar.

Tabell 5: Multiplex® 3 registrerer gul, raud og mørkeraud fluorescens eksitert av 4 ulike bølgjelengder.

Emisjon (nm)	Eksitasjon (nm)			
	UV (373)	Blå (B) (470)	Grøn (G) (516)	Raud-oransje (R) (635)
<b>YF (590)</b>	YF_UV	YF_B	YF_G	YF_R
<b>RF (685)</b>	RF_UV	RF_B	RF_G	RF_R
<b>FRF (735)</b>	FRF_UV	FRF_B	FRF_G	FRF_R



Figur 16: t.v. Multiplex-3 vist frå sida t.h: LED-lys, 6 UV-lys og 3 RGB, og 3 sensorar (silikon-fotodiodar) i Multiplex®-3. Foto: Ingvill Hauso

Kombinasjonen av RF og FRF signala ved dei forskjellige eksitasjons-bølgjelengder gjev dei følgjande indeksane for antocyan (ANTH), flavonol (FLAV) og klorofyll (CHL):

$$\text{ANTH} = \log(\text{FRF}_R/\text{FRF}_G) \quad (1)$$

$$\text{FLAV} = \log(\text{FRF}_R/\text{FRF}_{UV}) \quad (2)$$

$$\text{CHL} = \text{FRF}_R(\text{RF}_R) \quad (3)$$

Indeksane aukar proporsjonalt med innhaldet av pigmenta. Teoretisk bakgrunn for desse formlane er forklart i detalj i Agati et al. (2005); Agati et al. (2007); Ghozlen et al. (2010).

Intensiteten på klorofyll-fluorescens er relatert til mengda lys som når klorofyllmolekyla i overflata på eplet. For å nå klorofyllmolekyla må lyset fyrst gå gjennom dei øvste celledaga, der det finst andre pigment som kan absorbera noko av dette lyset før det når fram. Intensiteten av klorofyll-fluorescens er difor relatert til mengda av andre lys-absorberande pigment i overflata på eplet. Maksimal demping av klorofyll fluorescens skjer ved grønt lys (520 nm) og ved UV-stråling (360nm). Dette fell saman med maksimal absorpsjon for høvesvis antocyan og flavonol. Ved raudt lys (637nm), er denne dempinga er ved eit minimum sidan verken antocyan eller flavonoler absorberer ei signifikant mengd i dette området. Klorofyll-fluorescens ved raudt lys kan dermed brukast som eit referansesignal.

Måleområdet var avgrensa av ei ramme med ein diameter på 4,5 cm, i omlag 10 cm avstand frå lyskjeldene. Før analyse vart epla varma opp til romtemperatur (20°C). Etter analyse vart resultatata manuelt standardisert for korrigerings av bakgrunnslys og skilnadar i lysforhold.



## 10.5 STATISTISKE METODAR

For å samanlikne gjennomsnitta i dei ulike parameterane gjennom modningsutviklinga vart det brukt variansanalyse (ANOVA) med eit konfidensintervall på 95%. For å gruppere informasjonen vart det brukt Tukeys test. Samanheng mellom ulike analysar vart undersøkt ved Pearsons korrelasjonskoeffisient, der  $P < 0.05$  vart rekna som signifikant. Ved uttak frå lager vart dei to sorteringsgruppene samanlikna med students t-test. Skilnaden mellom sorteringsgruppene vart rekna som signifikant dersom P-verdiar var under 0.05. Desse statistiske analysane vart gjennomført i R commander. Alle diagram for utvikling av parameterar under modning og uttak frå lager vart laga i Microsoft Excel. Tilpassing av sigmoide kurver til  $I_{AD}$  vart gjort i R studio med ein logistisk regresjonsmodell.

VIS/NIR-spektera vart analysert med det statistiske programmet for multivariabel analyse; The Unscrambler (CAMO AS, Trondheim, Noreg). Spektera vart forbehandla ved å trekke frå gjennomsnittet og dele på standardavviket, ein metode kalla Standard Normal Variate (SNV). Dette vart gjort for å fjerna effekten av scatter og partikkelstorleik. For å laga modellen vart det brukt delvis minste kvadrats metode (PLSR) og for å validere dei vart det brukt kryssvalidering. Modellane vart evaluert ved bruk av RMSECV,  $R^2_{CV}$  og RPD.

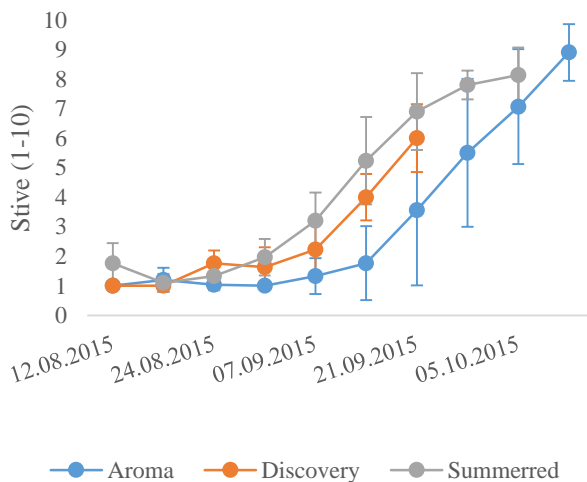
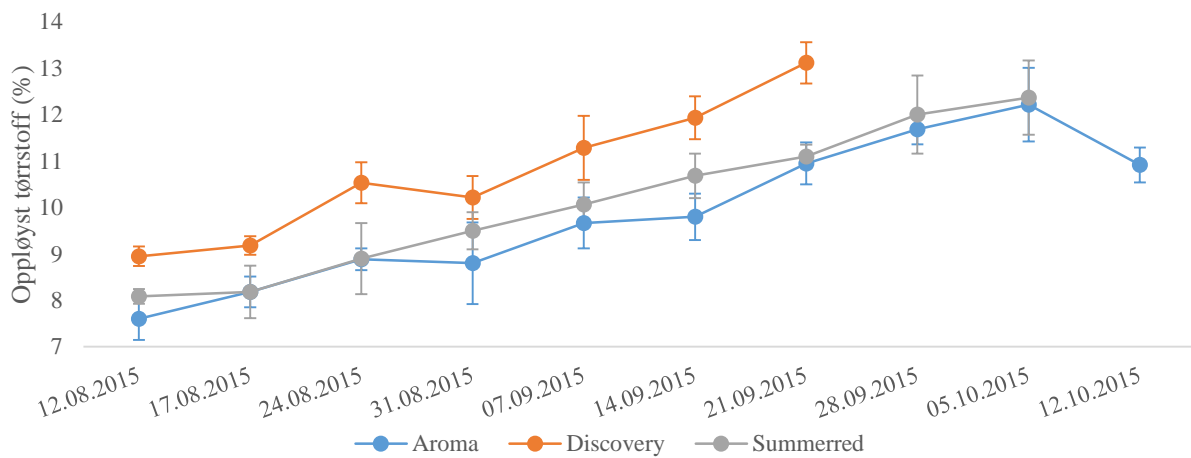
# 11 RESULTAT

## 11.1 MODNINGSUTVIKLING

### 11.1.1 Utvikling av dei tradisjonelle parameterane

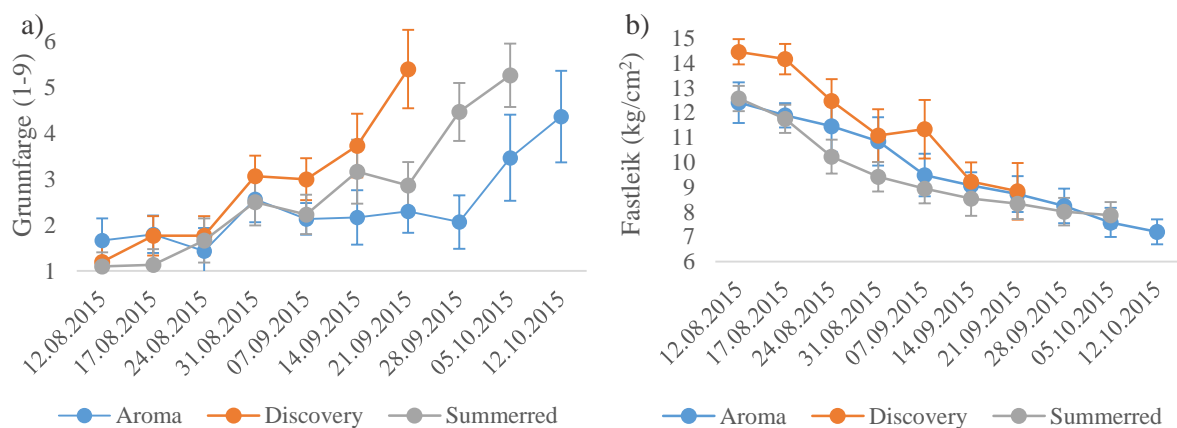
Discovery vart målt 7 gonger, Summerred 9 gonger og Aroma 10 gonger gjennom modningsutviklinga. Alle sortane modna ved ein auke i oppløyst tørrstoff (Figur 17), stivetal (Figur 18) og grunnfarge (Figur 19a) mellom første og siste analysedag i alle sortane. Alle sortane hadde i tillegg ein nedgang i fastleik (Figur 19b) og streif-indeks (Figur 20) over same periode.

I Aroma hadde epla frå sørsida av treet eit høgare innhald av oppløyst tørrstoff enn epla frå nordsida av treet frå veke 3-9 ( $P<0.05$ ). I Discovery hadde epla frå sørsida av treet eit høgare innhald av oppløyst tørrstoff i veke 2 i tillegg til frå veke 4 til 7 ( $P<0.05$ ). I Summerred var det det eit høgare innhald av oppløyst tørrstoff i epla frå sørsida av treet frå veke 5 til 7 i tillegg til veke 9 ( $P<0.05$ ). I veke 3 hadde Summerred frå nordsida av treet eit høgare innhald av oppløyst tørrstoff enn epla frå sørsida av treet ( $P<0.05$ ).

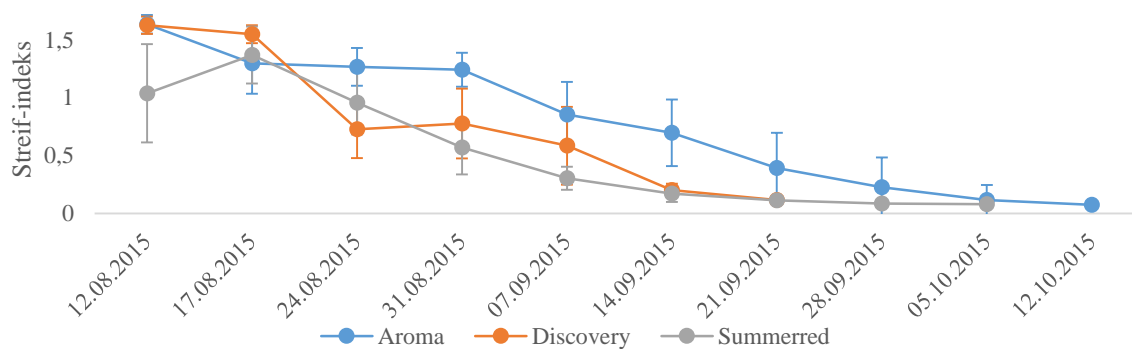


Figur 17 (over). Gjennomsnitt og standardavvik av oppløyst tørrstoff (%) i dei tre eplesortane Aroma, Discovery og Summerred gjennom sesongen 2015. Kvart punkt er eit gjennomsnitt av 30 eple, analysert med saft frå både sol- og skuggeside på kvart eple.

Figur 18 (til venstre). Gjennomsnitt og standardavvik av stiveinnhaldet i Aroma, Discovery og Summerred gjennom modningsutviklinga 2015. Stiveinnhaldet gir ein indeks på 1-10, der 1 er eit høgt innhald av stive og 10 er ingen stive ( $n=30$ ).



Figur 19. a) Gjennomsnitt og standardavvik av grunnfarge (1-9, der 1 er grøn og 9 er gul) i Aroma, Discovery og Summerred (n=30). b) Gjennomsnitt og standardavvik av fastleik i fruktjøtet i Aroma, Discovery og Summerred gjennom modningsutviklinga i 2015. Kva veke vart det analysert 30 eple på både solside og skuggeside (n=60).



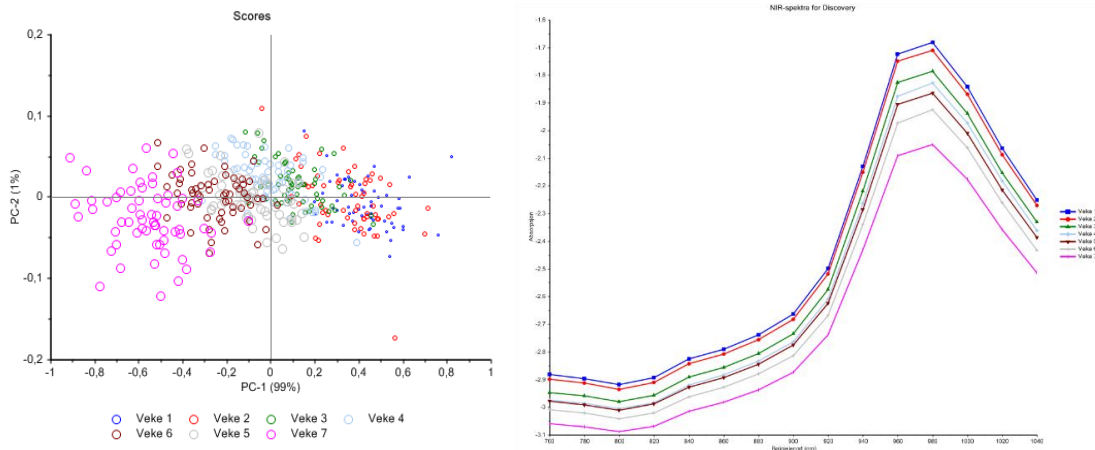
Figur 20: Gjennomsnitt og standardavvik for streif-indeks (fastleik (kg cm<sup>-2</sup>)/(oppløyst tørrstoff(%) × stivetal(1-10))) i Aroma, Discovery og Summerred gjennom modningsutviklinga (n=30).

Det var ingen signifikant skilnad på streif-indeksen og stivetal på eple frå sørsida og nordsida av trea eller i fastleik på sol- og skuggeside av epla.

Ved forsøkstart hadde Discovery ei gjennomsnittleg fruktvekt på 41.0g, Aroma 37.6g og Summerred 58.8g. Alle sortane hadde ein auke i fruktvekt gjennom modning (P<0.05) og ved hausting låg gjennomsnittleg fruktvekt på 124.0g, 100.0g og 161.9g for Discovery, Aroma og Summerred. Dekkfargen auka i alle sortane mellom veke 1 og siste analyse før hausting (P<0.05). I veke 1 låg gjennomsnittleg dekkfarge på 3.6, 4.2 og 5.4 for Discovery, Summerred og Aroma. Ved hausting hadde Discovery, Summerred og Aroma ein gjennomsnittleg dekkfarge på 5.30, 7.70 og 6.17.

### 11.1.2 NIR-spektroskopi

Prinsippkomponentanalyse (PCA) viste at det var ein tidstrend i det nær infraraude spekteret gjennom modninga i Discovery, Summerred og Aroma. Figur 21 viser skårverdiar frå ein prinsippkomponentanalyse plotta med dei to første komponentane, samt gjennomsnittsspektera i NIR av Discovery frå veke 1-7. NIR-spektera for Aroma og Summerred viste òg ein tidstrend i NIR-spektera gjennom modningsutviklinga (data ikkje vist).



Figur 21. NIR-spekter og PCA-analyse av Discovery gjennom modningsutviklinga i sesongen 2015. Vekene er skild med farge og storleik på sirkel. Analysen viser at det er ein tydeleg tidstrend i NIR-spektera på epla gjennom modningsutviklinga.

Det vart undersøkt om ein kan følgje modningsutviklinga i eple gjennom endringa i NIR-spekter ved å laga PLSR-modellar (sjå kapittel 9.1.1.2). Før modellane vart laga, vart spektera midla slik at det var eitt spekter per referansemåling (5 eple (10 spekter) for oppløyst tørrstoff, 1 eple (2 spekter) for stive, osv.). Alle modellane er presentert i Tabell 6.

Den beste modellen for oppløyst tørrstoff vart oppnådd for Discovery. Den hadde låg RMSECV kombinert med høg RPD og høg  $R^2_{CV}$ . Modellane for Summerred og Aroma var mindre gode, men framleis akseptable. Den beste modellen for stive vart oppnådd på Discovery, men alle modellane hadde betydeleg lågare RPD enn modellane for oppløyst tørrstoff.

Det vart laga separate modellar for fastleik på solside og skuggeside av epla, men det var varierende kven av sidene som gav den beste modellen. I Discovery vart den beste modellen for fastleik oppnådd der både referansemåling og spekter var analysert på solsida av epla, medan i Summerred vart den beste modellen oppnådd på skuggesida av epla. Denne modellen for Summerred var òg den beste modellen som vart oppnådd for fastleik, samanlikna med alle sortane og kva side analysane vart gjort på. For Aroma derimot, var det liten skilnad på modellane basert på solside og skuggeside.

Det var liten skilnad mellom modellane for streif-indeks i dei ulike sortane. Modellen for Discovery hadde høgaste RPD og  $R^2_{CV}$  kombinert med lågast RMSECV samanlikna med modellane for Summerred og Aroma. Samtidig var modellen for Discovery basert på fleir prinsippkomponentar enn modellane for Summerred og Aroma.

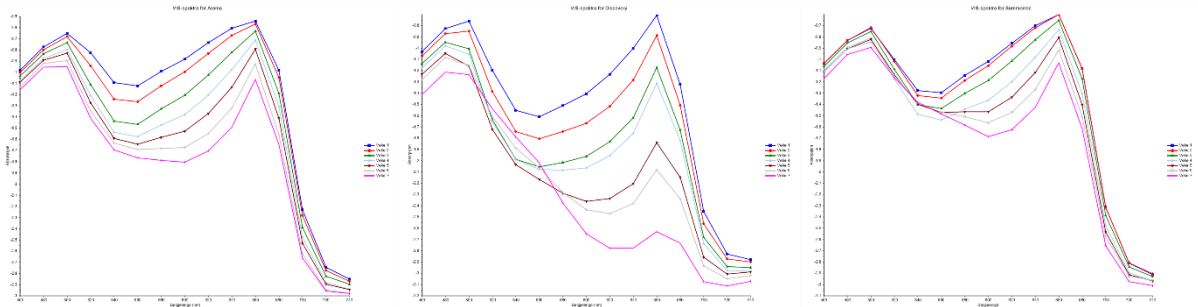
For å undersøke om storleik (diameter) på epla hadde påverknad på NIR-spektra, og dermed nøyaktigheita til modellane, vart det laga regresjonsmodellar mot diameter både i NIR-spekteret og VIS-spekteret for alle eplesortane. Det vart brukt eple som var hausta på same tidspunkt, rett før hausting, for å lage modellane. I denne haustinga vart det berre registrert diameter for Aroma og Summerred og det er difor berre laga modellar for desse sortane. Modellen for Aroma basert på NIR-spekteret i skilde seg ut frå dei andre modellane ved at han hadde fleir prinsipalkomponentar samanlikna med dei andre. Den skilde seg i tillegg ut med ein høgare korrelasjon og RPD.

Tabell 6. PLSR-modellar for kvalitetsanalysar under modningsutvikling i tre eplesortar. RMSECV: «root mean square error of calibration validation», PC: prinsipalkomponentar brukt i modellen, n: kor mange prøver modellen er basert på og RPD: «Ratio of performance to deviation». Modellane er validert med kryssvalidering. Modellen for storleik er basert på ei enkelt hausting.

Sort		RMSECV	R <sup>2</sup> <sub>cv</sub>	PC	n	RPD	
<b>Oppløyst tørrstoff (%)</b>							
<b>Discovery</b>		0.39	0.93	2	42	3.74	
<b>Summerred</b>	Per 5 eple	0.47	0.86	5	42	2.57	
<b>Raud Aroma</b>		0.53	0.81	2	42	2.21	
<b>Stive (1-10)</b>							
<b>Discovery</b>		0.94	0.74	3	210	1.96	
<b>Summerred</b>	Per eple	1.26	0.69	6	209	1.78	
<b>Raud Aroma</b>		1.04	0.44	7	210	1.33	
<b>Fastleik (kg/cm<sup>2</sup>)</b>							
<b>Discovery</b>	Solside	1.18	0.63	4	166	1.71	
	Skuggeside	1.26	0.61	6	167	1.60	
<b>Summerred</b>	Solside	0.95	0.71	6	210	1.85	
	Skuggeside	0.86	0.73	6	210	1.91	
<b>Aroma</b>	Solside	1.01	0.62	5	209	1.60	
	Skuggeside	1.02	0.62	7	209	1.61	
<b>Streif-indeks</b>							
<b>Discovery</b>		0.26	0.78	7	40	2.12	
<b>Summerred</b>	Per 5 eple	0.27	0.68	4	42	1.76	
<b>Raud Aroma</b>		0.20	0.77	3	42	2.06	
<b>Storleik (cm)</b>							
<b>Raud Aroma</b>	Per eple	NIRabs	5.34	0.05	3	120	1.02
<b>Summerred</b>			4.12	0.06	4	100	1.02
<b>Raud Aroma</b>	Per eple	VISabs	5.30	0.07	1	120	0.97
<b>Summerred</b>			4.15	0.04	1	100	1.02

### 11.1.3 VIS-spektroskopi

#### 11.1.3.1 VIS-spektra med VIS/NIR-spektroskop



Figur 22. Absorpsjonsspekter av (f.v.) Aroma, Discovery og Summerred gjennom modningsutviklinga. Eitt spekter er eit gjennomsnitt av 60 spekter gjort same veke. Blått spekter er veke 1 og rosa spekter er veke 7.

Det var ei tidstrend i VIS-spekter av epla gjennom modningsutviklinga (Figur 22) der absorpsjonen vart lågare, spesielt rundt 500-660 nm, etter som epla modna. Tidstrenden vart analysert ved prinsipalkomponentanalyse som viste at spekter endra seg over tid for alle sortane (data ikkje vist).

Sidan hovuddelen av absorpsjonen av synleg lys i epleskal er av pigmenta, vart det forsøkt å laga modellar for grunnfarge og dekkfarge basert på det synlege spekteret. Modellane for grunnfarge vart betre enn modellane for dekkfarge, men for begge analysane var det Summerred som oppnådde dei beste modellane (Tabell 7).

Tabell 7. Regresjonsmodellar for grunnfarge og dekkfarge med VIS/NIR-spektrometeret. Det er brukt den synlege delen av spekteret og data frå heile modningsperioden og ved haustetidspunkt. Modellane er validert med tilfeldig kryssvalidering.

Sort			RMSECV	R <sup>2</sup> <sub>CV</sub>	PC	n	RPD
<b>Grunnfarge</b>							
<b>Aroma</b>			0.54	0.19	3	210	1,93
<b>Discovery</b>	Per eple	VISsnv	0.76	0.72	1	210	1,89
<b>Summerred</b>			0.56	0.61	3	210	2,57
<b>Dekkfarge</b>							
<b>Aroma</b>			0.76	0.37	3	210	1,43
<b>Discovery</b>	Per eple	VISsnv	0.98	0.40	5	210	1,29
<b>Summerred</b>			0.76	0.68	3	210	2,02

Det vart laga regresjonsmodellar for indeksar målt med DA-meteret og Multiplex-3® for å undersøke om VIS/NIR-instrumentet kan måle det same som desse instrumenta. Alle modellane for  $I_{AD}$  er vist i Tabell 8, med RMSECV,  $R^2_{CV}$ , talet på prinsipalkomponentar (PC) og RPD.

*Tabell 8. PLSR-modellar for  $I_{AD}$  med VIS/NIR-spektrometeret. Det er brukt den synlege delen av spekteret (VIS) og data frå veke 1-5. Det er modellar basert på spekter og referansemålingar frå anten solside, skuggeside eller begge sider av epla. Modellane for solside og skugge side er validert med tilfeldig kryssvalidering, medan modellane per eple er validert med systematisk kryssvalidering.*

Sort	Side	RMSECV	$R^2_{CV}$	PC	n	RPD
<b>Discovery</b>	Sol	0.29	0.82	3	210	2.10
	Skugge	0.23	0.82	2	210	2.65
<b>Summerred</b>	Sol	0.06	0.74	3	210	2.00
	Skugge	0.06	0.77	3	210	2.00
<b>Aroma</b>	Sol	0.04	0.87	3	209	3.00
	Skugge	0.05	0.85	23	209	2.40

Modellane for klorofyllindeksen for Summerred målt med Multiplex-3® oppnådde  $R^2_{CV}$  frå 0.13 til 0.19 avhengig av kva side av epla analysane var gjennomført. For Discovery og Aroma vart  $R^2_{CV}$  noko høgare (0.44-0.64), men tydeleg betre på solsida enn på skuggesida av epla (høgare  $R^2_{CV}$  og RPD, i tillegg til lågare RMSECV). RPD i Aroma og Discovery var høvesvis 2.00 og 1.66 på solsida, samanlikna med 1.37 og 1.36 på skuggesida. Modellar for antocyanindeksen frå Multiplex-3® vart berre oppnådd på målingar basert på solsida av epla. Den beste modellen vart oppnådd for Aroma med  $R^2_{CV}$  på 0.65, RMSECV på 0.07 og RPD på 3.00 med 2 prinsipalkomponentar. Summerred og Discovery oppnådde modellar med tydeleg høgare RMSECV (0.34 og 0.14) og lågare  $R^2_{CV}$  (0.30 og 0.57) og RPD (1.32 og 1.50) enn Aroma. Det var ikkje mogeleg å laga modellar for flavonolindeksen med VIS/NIR-instrumentet.

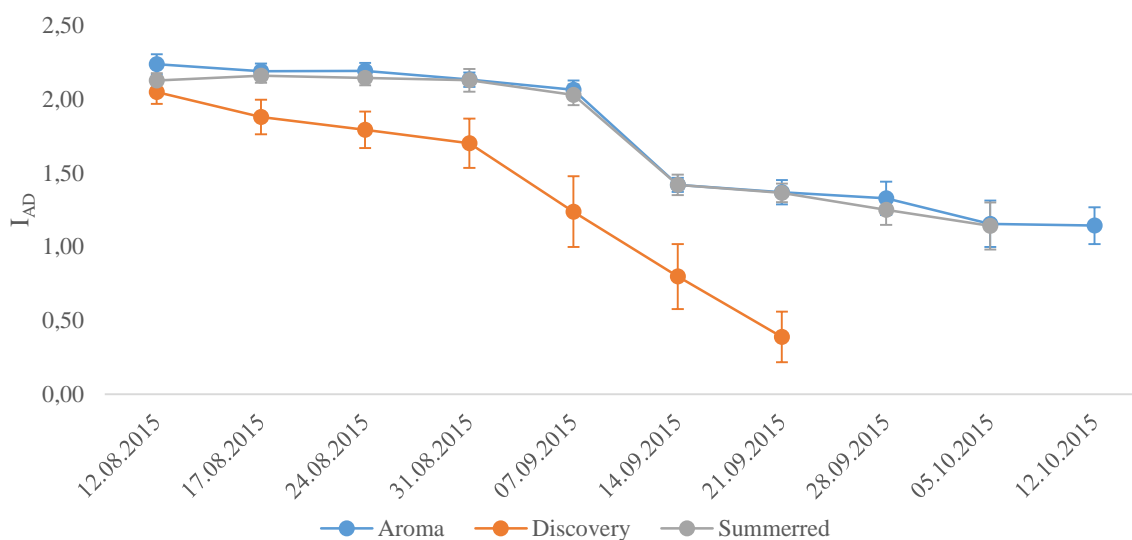
I tillegg til å lage regresjonsmodellar for  $I_{AD}$  vart det forsøkt å finne indeks, tilsvarande indeks, med VIS/NIR-instrumentet ved å rekne ut skilnaden mellom absorpsjonen ved 660 og 720nm og 680 og 720nm. Samanhengen mellom  $I_{AD}$  og indeks frå VIS/NIR-spektrometeret vart undersøkt ved Pearsons korrelasjonskoeffisient for heile modningsutviklinga og for ein enkelt analysedag (Tabell 9). Begge indeksane frå VIS/NIR-spektrometeret hadde om lag like god samanheng med  $I_{AD}$ .

Tabell 9. Pearsons korrelasjonskoeffisient for  $I_{AD}$  med VIS/NIR-spektrometeret og DA-meteret. Korrelasjonane er basert på data frå heile modningsperioden eller veke 7. Stjerne betyr at korrelasjonen er signifikant forskjellig frå null ( $P < 0.05$ ).

Modningsutvikling		
	$A_{660nm} - A_{720nm}$	$A_{680nm} - A_{720nm}$
<b><math>I_{AD}</math>-Aroma</b>	0.80*	0.85*
<b><math>I_{AD}</math>-Discovery</b>	0.90*	0.89*
<b><math>I_{AD}</math>-Summerred</b>	0.79*	0.81*
<b>Veke 7</b>		
<b><math>I_{AD}</math>-Aroma</b>	0.97*	0.97*
<b><math>I_{AD}</math>-Discovery</b>	0.96*	0.96*
<b><math>I_{AD}</math>-Summerred</b>	0.90*	0.89*

#### 11.1.3.1.1 DA-meter

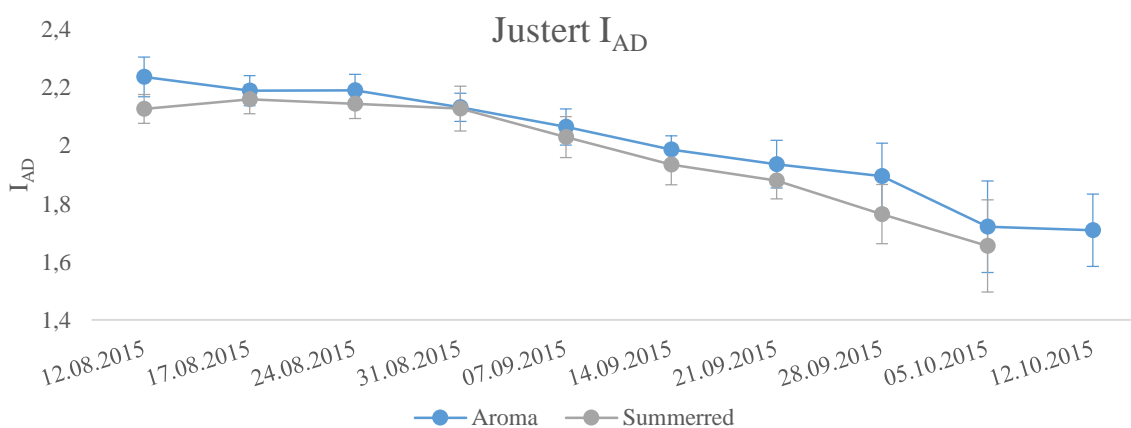
Det var ein nedgang i  $I_{AD}$  i alle sortane mellom veke 1 og siste analyse før hausting (Figur 23). I Discovery hadde solsida av epla ein høgare  $I_{AD}$  i veke 1 og 2 av modninga ( $P < 0.05$ ), veke 3-5 var det ingen skilnad mellom sidene og i veke 6 og 7 hadde skuggesida på epla ein høgare  $I_{AD}$  enn solsida ( $P < 0.05$ ). I Summerred var det ein høgare  $I_{AD}$  på solsida av epla i veke 1 ( $P < 0.05$ ), men gjennom resten av modningsutviklinga (veke 2 til 9) var det ingen skilnad i  $I_{AD}$  på dei to sidene. I Aroma var  $I_{AD}$  høgare på solsida enn skuggesida av epla frå veke 1 til veke 7 ( $P < 0.05$ ). Frå veke 8 til veke 10 var det ingen skilnad i  $I_{AD}$  på dei to sidene av eplet i Aroma.



Figur 23: Gjennomsnitt og standardavvik av  $I_{AD}$  i Aroma, Discovery og Summerred under modningsutvikling ( $n=60$ , 2 målingar per eple).



Frå 07.09.2015 til 14.09.2015 sank  $I_{AD}$  frå 2.03 til 1.42 i Summerred og frå 2.07 til 1.42 i Aroma. Dette er ein unormalt stor nedgang og vart tolka som ein instrumentfeil. Målingane frå og med 14.09.2015 vart estimert til normal verdi ved hjelp av målingar på sei same epla, med VIS/NIR-spektroskopi (Figur 24). Justert  $I_{AD}$  vart nytta vidare i forsøket.



Figur 24. Gjennomsnitt og standardavvik av  $I_{AD}$  i Aroma og Summerred under modningsutvikling ( $n=60$ , 2 målingar per eple), der målingar frå og med 14.09.2015 er justert for feilmålingar med DA-meteret ved måling.

I Discovery var  $I_{AD}$  høgare på eple frå nordsida av trea i veke 2, 6 og 7. I Summerred var det same resultatet i veke 7 og 9 og i Aroma i veke 6 og 10 ( $P<0.05$ ). Resten av analysedagane, for alle sortane, var det ingen skilnad i  $I_{AD}$  på eple frå sørsida og nordsida av trea.

#### 11.1.3.1.1.1 $I_{AD}$ og andre kvalitetsanalysar

Samanhengen mellom  $I_{AD}$  og andre kvalitetsanalysar vart undersøkt ved Pearsons korrelasjon gjennom modningsutvikling og ved haustetidspunkt (Tabell 10). Det var relativt gode korrelasjonar med dei andre kvalitetsanalysane gjennom modningsutviklinga, men ved haustetidspunkt (ei enkelt hausting) var det berre samanheng mellom  $I_{AD}$  og oppløyst tørrstoff i alle sortane.

Tabell 10. Pearsons korrelasjonskoeffisient for  $I_{AD}$  og tradisjonelle kvalitetsparameter. Det er brukt snittverdiar per eple (2 målingar) for  $I_{AD}$  og fastleik. Data er frå heile modningsperioden og ved haustetidspunkt. \* tyder at korrelasjonen er signifikant ( $P<0.05$ ).

Modningsutvikling					
	Fastleik ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )	Stive (1-10)	Oppløyst tørrstoff (%)	Streif-indeks	Grunnfarge (1-9)
<b><math>I_{AD}</math>-Aroma</b>	0.79*	-0.78*	-0.79*	0.80*	-0.73*
<b><math>I_{AD}</math>-Discovery</b>	0.77*	-0.84*	-0.93*	0.73*	-0.91*
<b><math>I_{AD}</math>-Summerred</b>	0.69*	-0.86*	-0.85*	0.68*	-0.83*
Haustetidspunkt					
<b><math>I_{AD}</math>-Aroma</b>	-0.18	0.006	-0.44*	-0.01	-0.44*
<b><math>I_{AD}</math>-Discovery</b>	0.42*	-0.45*	-0.37*	0.73*	-0.14
<b><math>I_{AD}</math>-Summerred</b>	0.17	0.14	-0.56*	0.06	-0.71*

Korrelasjonskoeffisienten for  $I_{AD}$  og vekenummer varierte mellom 0.91 og 0.93 basert på gjennomsnittsverdiane av  $I_{AD}$  per eple. Gjennomsnittsverdiane gav alltid noko betre samanhengar i alle sortar med haustetidspunkt enn ei enkelt side, men skilnaden var svært liten (Tabell 11). Korrelasjonskoeffisienten for  $I_{AD}$  og streif-indeksen var om lag like god for snittmålingane og målingane gjort på solside med DA-meteret.

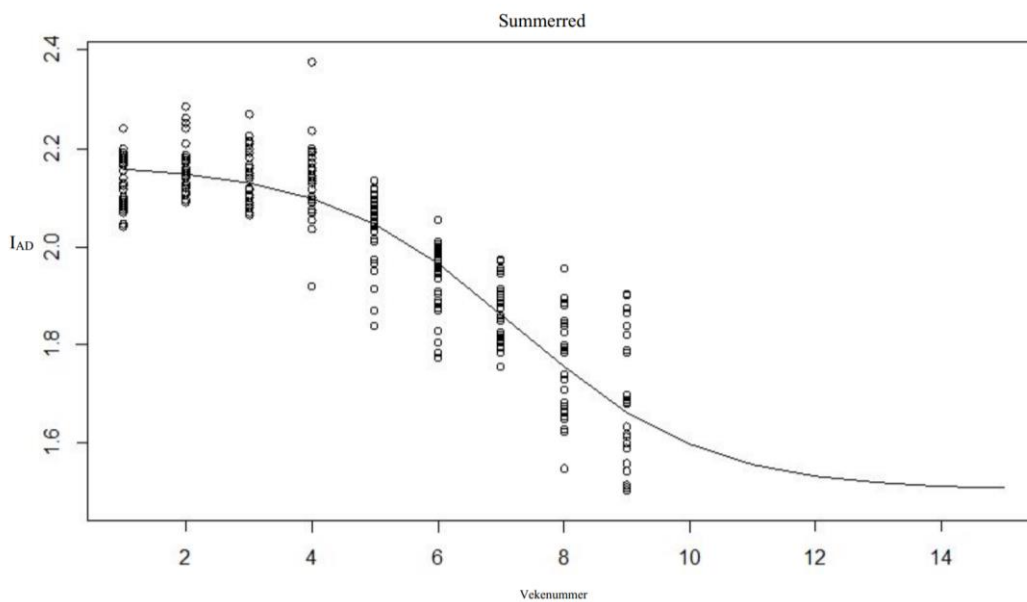
Tabell 11. Pearsons korrelasjonskoeffisient for  $I_{AD}$  og vekenummer og streif-indeks gjennom modningsutviklinga i Discovery, Summerred og Aroma ( $P < 0.001$ ).

Sort	Vekenummer	Streif-indeks
$I_{AD}$ -Discovery	-0.92	0.80*
$I_{AD}$ -Summerred	-0.85	0.73*
$I_{AD}$ -Aroma	-0.88	0.68*

Utviklinga av  $I_{AD}$  såg ut til å følge ei sigmoid utvikling i alle sortane. Det vart tilpassa ein logistisk modell på forma:

$$E(y) = \theta_1 + \frac{\theta_2 - \theta_1}{1 + e^{\theta_3(x - \theta_4)}}$$

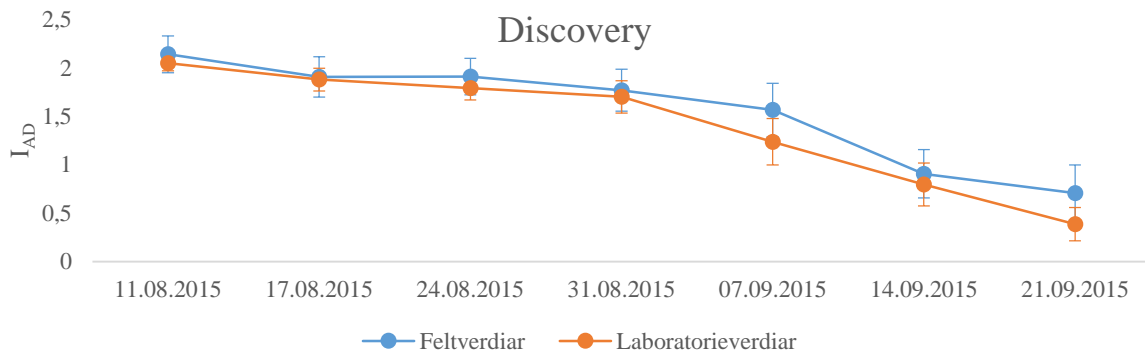
Der  $y$  er  $I_{AD}$  og  $x$  er vekenummer for analysen. Figur 25 viser målingar gjort på Summerred tilpassa ein denne modellen. Aroma og Discovery hadde tilsvarande kurver.



Figur 25.  $I_{AD}$  gjennom modninga av Summerred. Veke 1 svarar til 12.08.2015 og veke 9 til 05.10.2015.

### 11.1.4 Modningsutvikling i felt med DA-meter

I Summerred var det ein signifikant skilnad mellom  $I_{AD}$  målt i felt og på laboratoriet i veke 1 og veke 3 ( $P < 0.05$ ), der feltverdiene var høgare enn laboratorieverdiene i veke 1 og omvendt i veke 3. Frå veke 2-8 var det ingen skilnad mellom indeks målt i felt og på laboratorium i Summerred. I Aroma var  $I_{AD}$  på epla målt i felt høgare enn  $I_{AD}$  på epla målt på laboratoriet frå veke 5-7 og i veke 9. Veke 1-4, 8 og 10 var det ingen skilnad i indeks målt i felt og på laboratorium. I Discovery var  $I_{AD}$  målt i felt høgare enn  $I_{AD}$  målt på laboratoriet i veke 1, 3, 5 og 7. I veke 2, 4, og 6 var det ingen skilnad mellom dei to datasetta (Figur 26).

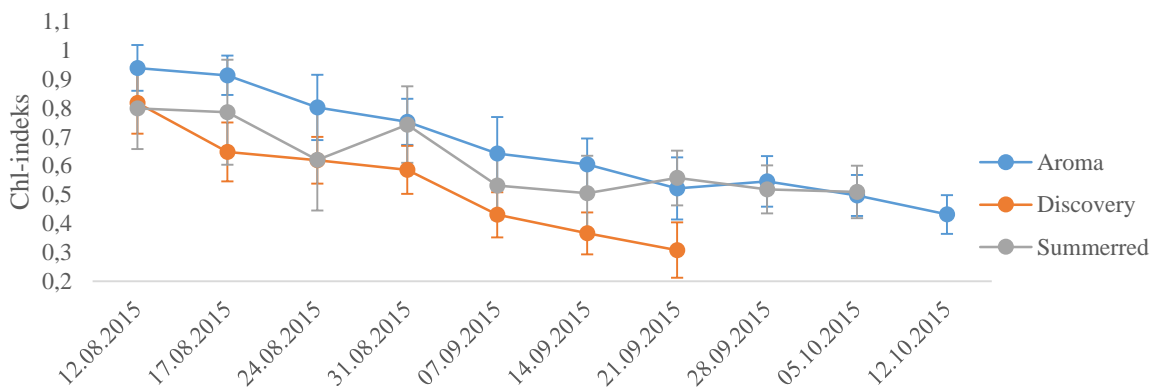


Figur 26. Gjennomsnitt og standardavvik av  $I_{AD}$  målt i felt medan epla heng på trea og verdiar målt etter hausting inne på laboratoriet ( $n=40$  for feltverdiar og  $n=30$  for laboratorieverdiar).

### 11.1.5 Klorofyll fluorescens

#### 11.1.5.1 Klorofyllindeks

Klorofyllindeksen i Multiplex-3<sup>®</sup> sank frå analysestart i veke 1 til siste analyse før hausting i alle eplesortane (Figur 27). Ved siste analysedato av Discovery vart det registrert 7 avvikande verdiar for Chl-indeks, alle på skuggesida av eplet. Desse verdiene var opp til fleire gonger større enn indeksen var ved noko anna punkt i modningsutviklinga. Epla skilde seg ikkje ut i nokon av dei andre analysane, verken dei tradisjonelle eller ikkje-destruktive og desse målingane vart difor utelatt frå datasettet.



Figur 27. Gjennomsnitt og standardavvik av klorofyllindeksen målt med Multiplex-3<sup>®</sup> gjennom modningsutviklinga i Aroma, Discovery og Summerred ( $n=60, 30$  eple).

I veke 1, 3, 5, 6, 7 og 10 var klorofyllindeksen i Aroma høgare på solsida enn på skuggesida av epla ( $P < 0.05$ ). I veke 2, 4, 8 og 9 var det ingen skilnad på kva side av epla analysen var gjort på. I Summerred var klorofyllindeksen høgare på solsida enn på skuggesida av epla i veke 1-3 og veke 7 og 9 ( $P < 0.05$ ). Det var ingen skilnad mellom side av eplet i veke 4-6 og veke 8. I Discovery var det ingen skilnad i klorofyllindeksen på solsida og skuggesida av epla ved nokon av analysane. Det var ingen skilnad i klorofyllindeks på eple henta frå nordsida og sørsida av trea for nokon av sortane, utanom veke 2 i Discovery og veke 4 og 9 i Summerred, der epla frå nordsida hadde ein høgare klorofyllindeks enn epla frå sørsida ( $P < 0.05$ ).

#### Klorofyllindeksen og andre kvalitetsanalysar

Samanhengen mellom klorofyllindeksen og andre kvalitetsanalysar vart undersøkt ved Pearsons korrelasjonskoeffisient. Klorofyllindeksen i alle sortane hadde ein signifikant samanheng med dei andre kvalitetsanalysane gjennom modningsutviklinga. Samanhengen mellom klorofyllindeks og grunnfarge var best i Discovery, medan samanhengen mellom klorofyllindeks og streif-indeks vart best i Aroma. Ved haustetidspunktet for dei ulike sortane var det berre Discovery som hadde ein korrelasjon mellom klorofyllindeks og grunnfarge og Summerred mellom klorofyllindeks og streif-indeks (Tabell 12).

Tabell 12. Pearsons korrelasjonskoeffisient for klorofyllindeks og tradisjonelle analysemetodar for Discovery, Summerred og Aroma. Det er brukt data frå heile modningsperioden og berre frå haustetidspunkt. «\*» betyr at korrelasjonen er signifikant forskjellig frå null ( $P < 0.05$ ).

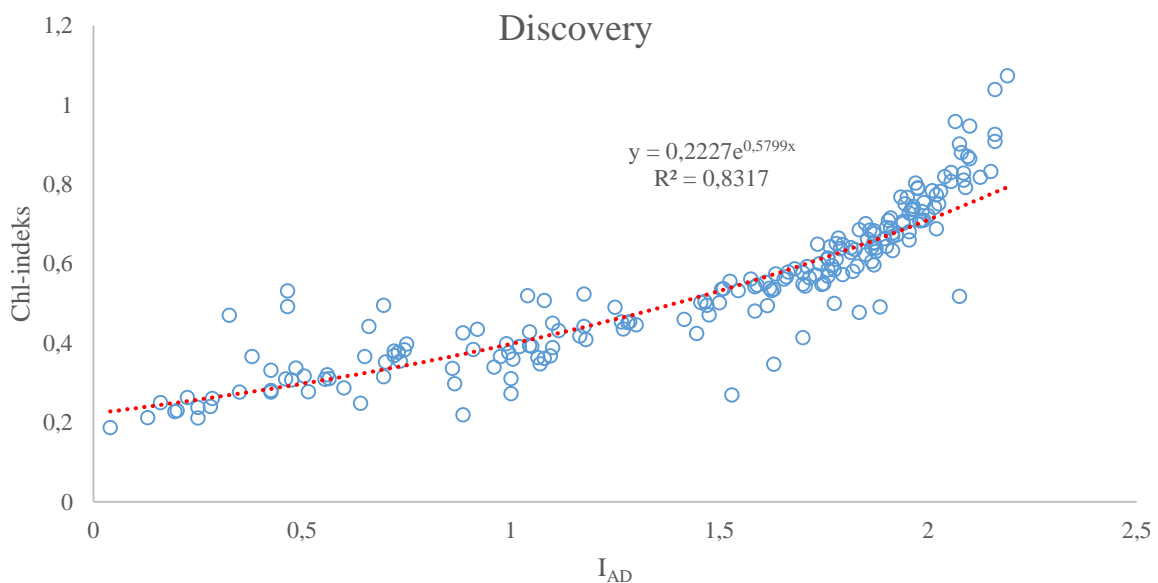
<b>Modningsutvikling</b>					
<b>Chl-indeks</b>	Grunnfarge (1-9)	Fastleik (kg/cm <sup>2</sup> )	Oppløyst tørrstoff (%)	Stive (1-10)	Streif-indeks
<b>Aroma</b>	-0.58*	0.82*	-0.78*	-0.66*	0.81*
<b>Discovery</b>	-0.78*	0.72*	-0.80*	-0.64*	0.51*
<b>Summerred</b>	-0.46*	0.54*	-0.58*	-0.47*	0.51*
<b>Haustetidspunkt</b>					
<b>Aroma</b>	-0,15 <i>is</i>	0,09 <i>is</i>	-0,06 <i>is</i>	-0,25 <i>is</i>	0,13 <i>is</i>
<b>Discovery</b>	-0,53*	0,25 <i>is</i>	0,03 <i>is</i>	-0,39 <i>is</i>	0,15 <i>is</i>
<b>Summerred</b>	0,06 <i>is</i>	0,52*	-0,24 <i>is</i>	-0,42*	0,62*

Klorofyllindeksen hadde høgare korrelasjon med haustetidspunkt (veke) enn med streif-indeksen og dei beste samanhengane var ved bruk av gjennomsnittsindeks frå begge sidene av epla (Tabell 13).

Tabell 13. Pearsons korrelasjon for klorofyllindeks og haustetidspunkt i eplesortane Aroma, Discovery og Summerred gjennom modningsutviklinga. Alle korrelasjonane er signifikante med  $P < 0.05$ .

Sort	Veke	Streif-indeks
Chl-Aroma	-0.87	0.81
Chl-Discovery	-0.86	0.51
Chl-Summerred	-0.57	0.51

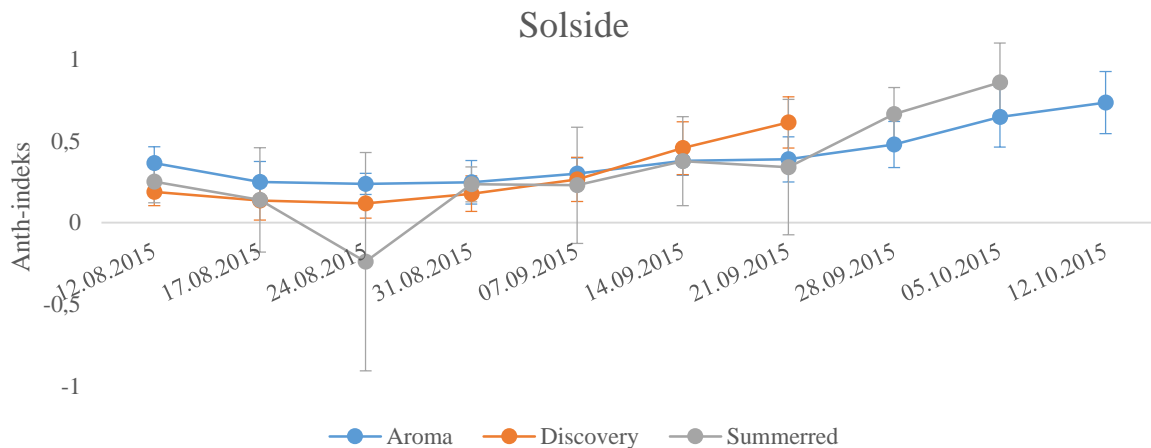
Klorofyllindeks,  $I_{AD}$  og grunnfarge er alle mål på det same - klorofyllinnhaldet i epleskalet. Det var signifikant korrelasjon mellom klorofyllindeks og  $I_{AD}$  i starten og slutten av modningsutviklinga i Aroma (0.37-0.75 ( $P < 0.05$ )).  $I_{AD}$  hadde ein korrelasjon med klorofyllindeksen i Discovery i alle analysevekene (0.43-0.89 ( $P < 0.05$ )). I Summerred var det  $I_{AD}$  og klorofyllindeksen var signifikant i veke 1, 3 og 9 (0.44, 0.40, 0.85 ( $P < 0.05$ )). Det var ein eksponentiell samanheng mellom  $I_{AD}$  og Chl-indeks i både Discovery (Figur 28), Summerred ( $R^2 = 0.27$ ) og Aroma ( $R^2 = 0.68$ ).



Figur 28. Samanheng mellom  $I_{AD}$  og Chl-indeks i Discovery gjennom modningsutvikling.

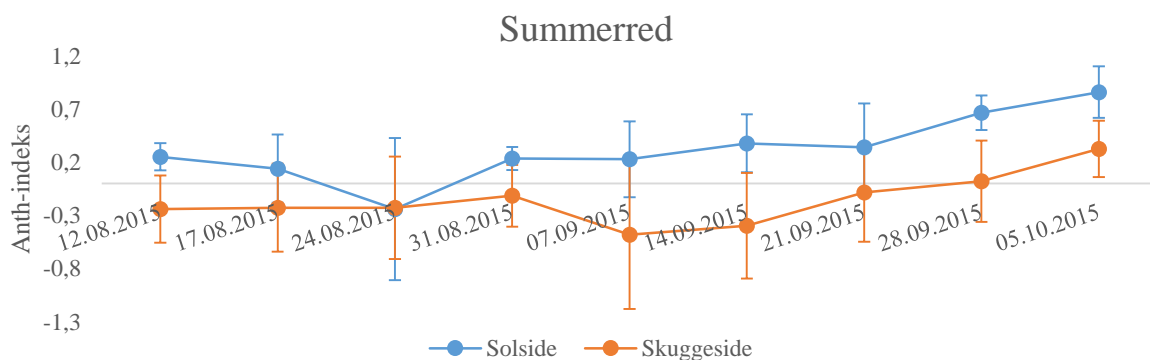
### 11.1.5.1.1 Antocyanindeks

Då det ofte vart registrert negative og ustabile verdiar for antocyanindeksen når målingane vart gjennomført på skuggesida av epla, er det berre presentert målingar frå solsida her. Alle sortane hadde ein auke i antocyanindeks frå veke 1 til siste analyse før hausting. Discovery hadde ikkje ein signifikant auke frå veke 1 før i veke 6, Summerred i veke 8 og Aroma i veke 9. Aroma hadde ein lågare indeks i veke 2, 3 og 4 enn i veke 1 (Figur 29). Summerred skilde seg ut med ein negativ antocyanindeks i veke 3.



Figur 29. Gjennomsnitt og standardavvik i antocyanindeks på solsida av epla (sida med mest raudfarge) målt med Multiplex-3® gjennom modningsutviklinga til Aroma, Discovery og Summerred (n=30).

Antocyanindeksen var høgare på solsida enn på skuggesida av epla ved alle analysane i alle sortane ( $P < 0.05$ ) utanom veke 8 i Aroma og veke 3 i Summerred (Figur 30). Det var ingen skilnad i antocyanindeks på eple frå sørsida og nordsida av epla i nokon av sortane, utanom veke 5 i Aroma og veke 3 og 6 i Discovery, der eple frå sørsida hadde ein høgare antocyanindeks enn eple frå nordsida ( $P < 0.05$ ).



Figur 30. Gjennomsnitt og standardavvik av antocyanindeks på solsida og skuggesida av Summerred gjennom modningsutviklinga (n=30).

## Antocyanindeksen og andre kvalitetsanalysar

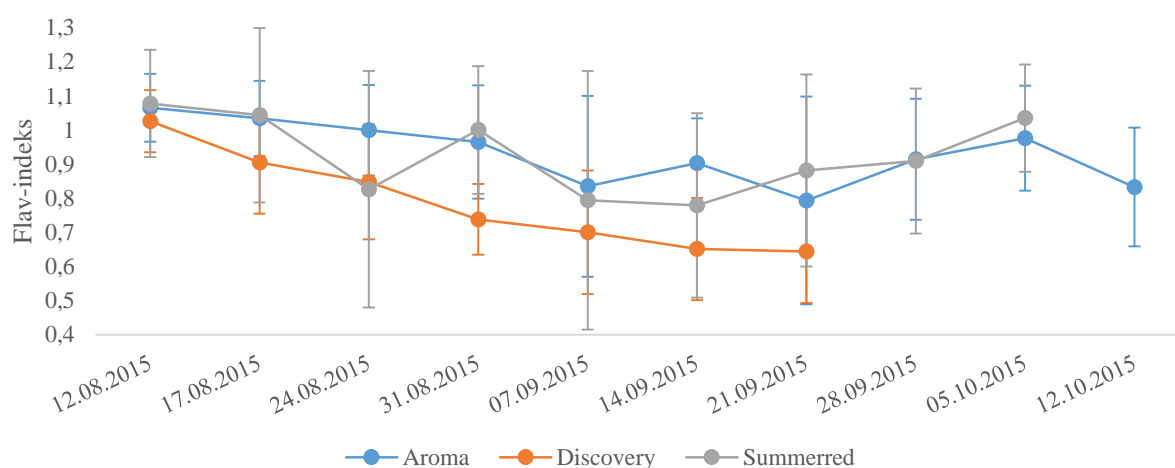
Samanhengen mellom antocyanindeksen og andre kvalitetsanalysar vart undersøkt med Pearsons korrelasjonskoeffisient (Tabell 14). Alle sortane hadde signifikante korrelasjonar med dekkfarge gjennom modningsutviklinga, men ved hausting var det berre Aroma og Summerred som viste samanheng mellom desse to analysane.

Tabell 14. Pearsons korrelasjonskoeffisient for antocyanindeks målt med Multiplex-3 på eplesortane Aroma, Discovery og Summerred og tradisjonelle analysar. Korrelasjonar er basert på data frå heile modningsperioden eller siste analyse før hausting. Stjerne bak korrelasjon betyr at den er signifikant ( $P < 0.05$ ).

<b>Modningsutvikling</b>						
	Grunnfarge (1-9)	Dekkfarge (1-9)	Fastleik (kg/cm <sup>2</sup> )	Oppløyst tørrstoff (%)	Stive (1-10)	Streif- indeks
<b>Aroma</b>	0.47*	0.50*	-0.22*	0.25*	0.45*	-0.26*
<b>Discovery</b>	0.70*	0.63*	-0.48*	0.64*	0.64*	-0.46*
<b>Summerred</b>	0.62*	0.48*	-0.38*	0.51*	0.60*	-0.39*
<b>Haustetidspunkt</b>						
<b>Aroma</b>	0.72*	0.60*	0.15	0.22	-0.09	0.13
<b>Discovery</b>	0.30	0.30	-0.09	0.36	-0.09	0.02
<b>Summerred</b>	0.48*	0.53*	-0.04	-0.04	0.55*	-0.47*

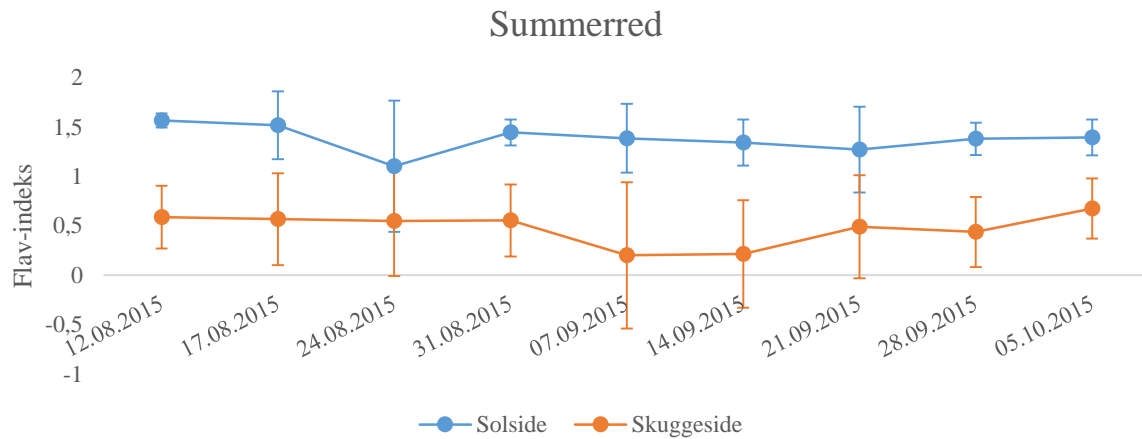
### 11.1.5.1.2 Flavonolindeks

I Summerred og Aroma skilde ikkje gjennomsnittleg indeks i veke 1 seg statistisk frå gjennomsnittleg indeks ved hausting. I Discovery var det ein nedgang i flavonolindeksen mellom veke 1 og 7 (Figur 31).



Figur 31. Gjennomsnitt og standardavvik av flavonolindeks målt med Multiplex-3® gjennom modningsutviklinga til Aroma, Discovery og Summerred. (n=60)

Det var ingen skilnad i flavonolindeks på eple henta frå sørsida og nordsida av trea, utanom veke 4 og 5 i Aroma (sørsida høgare indeks enn nordsida ( $P < 0.05$ ), veke 3 (sørsida høgare indeks enn nordsida,  $P < 0.05$ ) og veke 7 (nordsida høgare indeks enn sørsida,  $P < 0.05$ ) i Discovery i tillegg til veke 7 og 8 i Summerred (sørsida høgare indeks enn nordsida,  $P < 0.05$ ). Ved alle analysane låga flavonolindeksen høgare på solside enn på skuggesida av epla ( $P < 0.05$ ) for alle sortane (Figur 32).



Figur 32. Gjennomsnitt og standardavvik for flavonolindeksen på solside og skuggesida av epla i Aroma, Discovery og Summerred gjennom modningsutviklinga ( $n=30$ ).



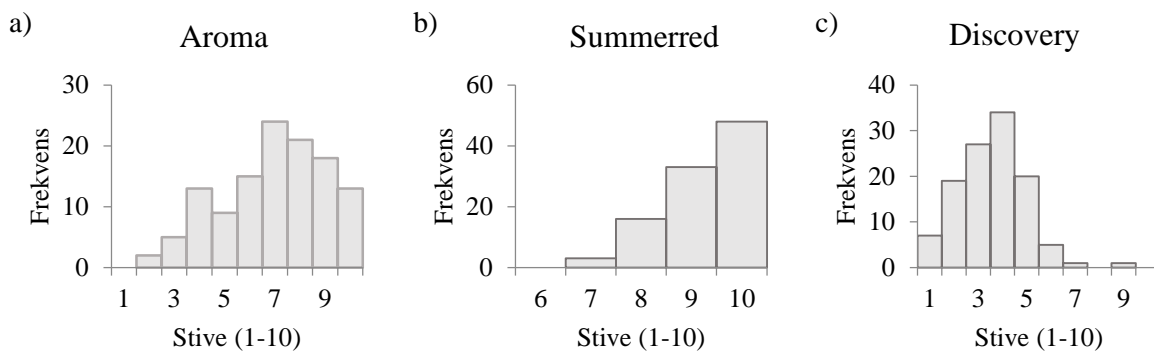
## 11.2 LAGRING

### 11.2.1 NIR-spektroskopi

#### 11.2.1.1 Kalibrering av VIS/NIR-spektrometer for sortering av haustemodne eple

Det vart hausta 120 Aroma og 100 Summerred som vart brukt i kalibreringssetta som modellane for sortering etter hausting vart basert på. Desse vart målt 14.10.2015 og 08.10.2015. Datasettet for Discovery bestod i utgangspunktet av 110 eple (analysert 15.09.2015), men 4 eple vart lagt til 1 veke seinare (analysert 21.09.2015). Dette vart gjort som eit forsøk på å få inn fleir eple med høge stivetal i modellen. Det vart laga PLSR-modellar som vart vurdert med RMSECV,  $R^2_{CV}$  og RPD (sjå kapittel 7.1.1.2). Alle modellane frå kalibreringssettet er presentert i Tabell 15.

Fordelinga av stiveinnhald i epla i kalibreringssetta til dei tre sortane, vurdert med jod-testen, er vist i Figur 33. Dei beste modellane for innhald av stive vart oppnådd for Aroma der spektera var målt på skuggesida av epla. Modellane for Summerred og Discovery hadde lågare  $R^2_{CV}$  og RPD enn Aroma, men òg noko lågare RMSECV.



Figur 33. Fordelinga av eple med ulikt stiveinnhald i kalibreringssettet for Aroma ( $n=120$ ), Summerred ( $n=100$ ) og Discovery ( $n=114$ ).

Oppløyst tørrstoff i kalibreringssettet av Aroma varierte mellom 8.6 til 14.8%, med eit gjennomsnitt på 11.8%. Summerred varierte mellom 8.9 til 13.7% med eit gjennomsnitt på 11.7% og Discovery frå 9.9 til 15.3% med eit gjennomsnitt på 12.1%. Modellane for oppløyst tørrstoff som var basert på målingar på solsida av epla hadde høgare  $R^2_{CV}$ , lågare RMSECV og høgare RPD enn modellane basert på målingar på skuggesida av epla. Dette gjaldt både Aroma, Summerred og Discovery.

$I_{AD}$  i epla i dei tre kalibreringssetta vise om lag same variasjon innan kvar sort. Aroma spente frå  $I_{AD}$  0.50 til 1.90, Summerred frå 0.66 til 2.01 og Discovery frå 0.05 til 1.22. I Aroma var RMSECV lågare og  $R^2_{CV}$  og RPD høgare i modellane basert på solsida enn på skuggesida av epla. I Discovery hadde modellen basert på solsida av epla ein betre  $R^2_{CV}$  enn skuggesida, medan dei andre parameterane var like gode. I Summerred hadde modellen basert på skuggesida av epla lågare RMSECV, høgare  $R^2_{CV}$  og RPD enn modellen basert på solsida av epla.

Streif-indeksen i kalibreringssettet varierte frå 0.05 til 0.32 i Aroma, med eit gjennomsnitt på 0.10. I Summerred spente indeksen frå 0.04 til 0.11 med eit gjennomsnitt på 0.07 og i Discovery frå 0.09 til 1.13 med eit gjennomsnitt på 0.33. Både Aroma, Summerred og Discovery hadde relativt låg  $R^2_{CV}$  i modellane for streif-indeks. Aroma hadde høgast RPD på 1.25 og Summerred lågast RMSECV på 0.01.

Tabell 15. PLSR-modellar for kvalitetsanalysar på hausteklar Aroma, Summerred og Discovery. RMSECV: «root mean square error of calibration validation», PC: prinsippkomponentar brukt i modellen, n: talet på prøver modellen er basert på og RPD: «Ratio of performance to deviation». Utheva modellar er modellar brukt til sortering i lagringsforsøket.

Sort		RMSECV	$R^2_{CV}$	PC	n	RPD
<b>Stive</b>						
<b>Aroma</b>	Solside	1.25	0.62	3	119	1.66
	Skuggeside	1.11	0.70	5	118	1.86
<b>Summerred</b>	Solside	0.59	0.42	5	100	1.36
	Skuggeside	0.60	0.40	7	100	1.40
<b>Discovery</b>	Solside	1.05	0.35	6	109	1.32
	Skuggeside	1.05	0.32	6	110	1.32
<b>Oppløyst tørrstoff (%)</b>						
<b>Aroma</b>	Solside	0.46	0.84	5	119	2.52
	Skuggeside	0.72	0.61	6	119	1.61
<b>Summerred</b>	Solside	0.50	0.75	7	100	1.98
	Skuggeside	0.66	0.55	7	100	1.50
<b>Discovery</b>	Solside	0.35	0.82	5	103	2.77
	Skuggeside	0.61	0.50	8	104	1.59
<b>I<sub>AD</sub></b>						
<b>Aroma</b>	Solside	0.10	0.90	4	117	2.80
	Skuggeside	0.13	0.84	2	117	2.15
<b>Summerred</b>	Solside	0.14	0.79	4	100	2.07
	Skuggeside	0.10	0.82	2	99	2,40
<b>Discovery</b>	Solside	0.08	0.94	3	110	3.25
	Skuggeside	0.08	0.88	3	110	3.25
<b>Streif-indeks</b>						
<b>Aroma</b>	Solside	0.04	0.38	2	120	1.25
	Skuggeside	0.04	0.34	4	120	1.25
<b>Summerred</b>	Solside	0.01	0.08	3	100	1.00
	Skuggeside	0.01	0.09	4	100	1.00
<b>Discovery</b>	Solside	0.19	0.17	6	110	1.11
	Skuggeside	0.19	0.26	7	110	1.11

### 11.2.1.2 Sortering til lagring

Trass i at modellane for stiveinnhald ikkje var så gode som det var håpa, vart desse modellane (solside) brukt til sortering av Discovery og Summerred. Discovery vart sortert på stiveinnhald over og under 8 og Summerred over og under 9 (Figur 34). Aroma vart sortert etter eit estimert innhald av oppløyst tørrstoff over og under 11.2% (Figur 34).

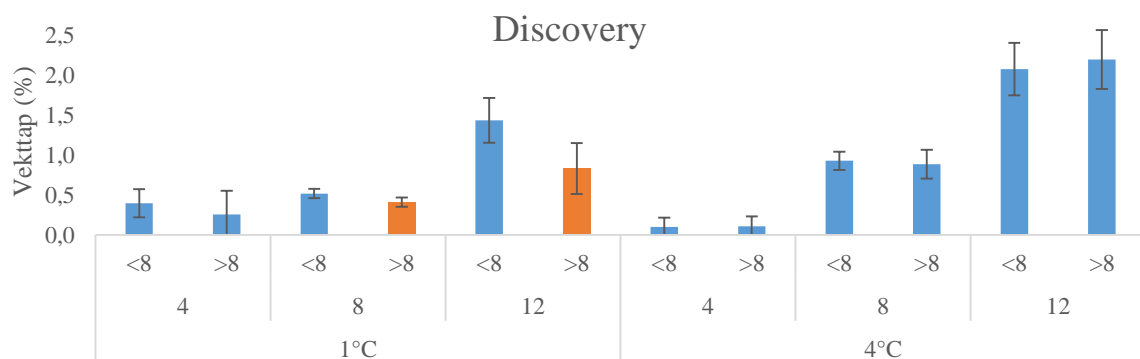


Figur 34. t.v.: Summerred sortert med NIR-spektroskopi i to modningsgrader. Biletet er tatt rett etter sortering, før lagring. Epla til venstre inneheld minst stive (<9) og epla til høgre mest stive (>9). T.h.: Aroma etter sortering med NIR-spektroskopi på estimert sukkerinnhald (oppløyst tørrstoff). Epla til venstre er estimert til eit sukkerinnhald over 11.2% og epla til høgre til under 11.2%.

### 11.2.1.3 Analysar etter lagring av eple

#### Vekttap

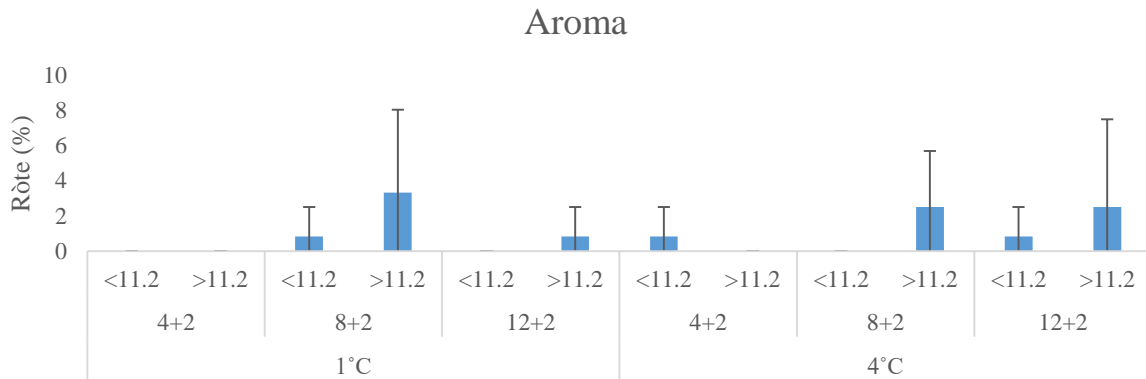
Vekttapet i dei tre sortane varierte mellom 0.06 og 2.3% ved uttak frå kjølelager. Summerred og Aroma hadde ingen signifikante skilnadar i vekttap mellom sorteringsgruppene etter lagring, verken etter lagring ved 1 eller 4°C. I Discovery lagra ved 1°C i 8 og 12 veker var vekttapet høgare i epla med stivetal < 8 ved lagringsstart enn i epla med stivetal > 8. Lagring ved 4°C gav ingen skilnad i vekttap mellom sorteringsgruppene (Figur 35).



Figur 35. Gjennomsnitt og standardavvik av vekttap under lagring i Discovery i to modningsgrader med NIR-spektroskopi etter estimert stiveinnhald. Epla er lagra i 4, 8 eller 12 veker, ved 1 eller 4°C. Ulik farge på søyler innan same lagringsstemperatur og lengd på lagringsperiode, tyder signifikant skilnad i vekttap ( $P < 0.05$ ).

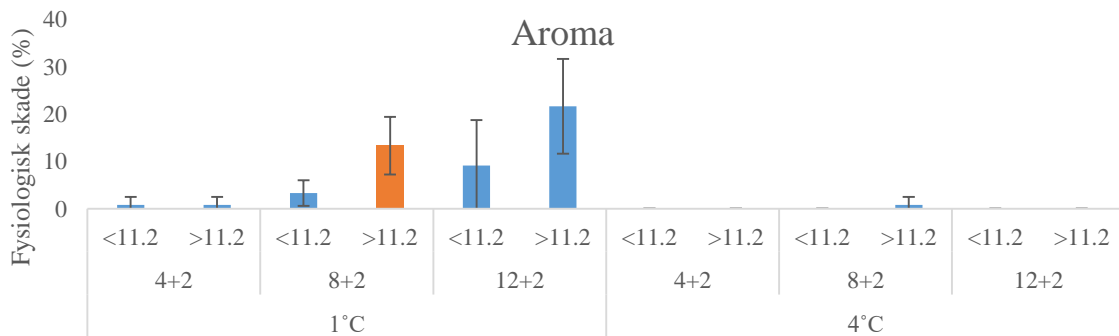
## Lagringsskadar

Røte i dei tre sortane varierte mellom 0.0 og 6.7% ved uttak frå romtemperatur etter kjølelagring. Det var ingen signifikante skilnadar mellom sorteringsgruppene i utviklinga av røte etter lagring for verken Discovery, Aroma (Figur 36) eller Summerred.



Figur 36. Gjennomsnitt og standardavvik av røte etter lagring av Aroma.. Dei ulike sorteringsgruppene vart lagra i 4, 8 og 12 veker ved 1 eller 4°C og deretter 2 nye veker ved 20°C. Det var ingen signifikante skilnadar mellom sorteringsgruppene ved nokon av uttaka.

Det var ingen statistisk skilnad i utvikling av fysiologisk skade mellom sorteringsgruppene i dei tre sortane, utanom etter lagring av Aroma i 8+2 veker ved 1°C. Ved dette uttaket var det meir fysiologisk skade på epla med oppløyst tørrstoff > 11.2% lagringsstart (13.3%) enn på epla med oppløyst tørrstoff < 11.2% ved lagringsstart (3.3%) (Figur 37).



Figur 37. Prosentdelen fysiologisk skade på Aroma etter lagring. Epla er sortert i to grupper basert på estimert stiveinnhald ved lagringsstart. Dei vart lagra ved 1 eller 4°C i 4, 8 og 12 veker + 2 veker ved 20°C. Ulik farge på søyler innan same lagringsperiode og lagringstemperatur tyder signifikant skilnad.

## Kvalitetsanalysar

Alle sortane hadde eit ulikt innhald av oppløyst tørrstoff i sorteringsgruppene før lagring (Tabell 16). I Discovery var det eit høgare innhald av oppløyst tørrstoff i epla med stivetal < 8, enn det var i epla med stivetal > 8. I Summerred var dette omvendt i forhold til Discovery, og det var epla med stivetal > 9 som hadde det høgaste innhaldet av oppløyst tørrstoff. I Aroma vart epla med eit estimert innhald av oppløyst tørrstoff >11.2% målt til eit høgare innhald av oppløyst tørrstoff, enn epla med eit estimert innhald av oppløyst tørrstoff < 11.2%.

I Aroma hadde epla med eit estimert innhald av oppløyst tørrstoff > 11.2% høgare streif-indeks enn epla med eit estimert innhald av oppløyst tørrstoff < 11.2%. I Summerred hadde epla med eit estimert stivetal > 9 ein høgare streif-indeks enn epla med stivetal < 9. Dei to sorteringsgruppene i Discovery viste ingen skilnad i streif-indeks (Tabell 16).

Det var ingen skilnad i stive målt med jod-testen mellom sorteringsgruppene i Discovery og Summerred, sjølv om dei vart sortert med modell for stiveinnhald. I Aroma hadde epla med lågast sukkerinnhald eit høgare stivetal enn epla med eit høgare sukkerinnhald (Tabell 16).

Tabell 16. Gjennomsnittsverdiar og standardavvik ( $n=40$ ) for tradisjonelle analyser utført på eple av sortane Discovery, Summerred og Aroma sortert i to modningsgrader. Discovery og Summerred er sortert etter estimert stiveinnhald (jod-test, 1-10) og Aroma etter estimert sukkerinnhald (% oppløyst tørrstoff). Ulik bokstav for ulik modningsgrad innan same sort og analyse, tyder at det er ein signifikant skilnad mellom gruppene ( $P<0.05$ ).

		Grunnfarge (1-9)	Dekkfarge (1-9)	Fastleik (kg/cm <sup>2</sup> )	Stive (1- 10)	Vekt (g)	Oppløyst tørrstoff (%)	Streif- indeks
<b>Discovery</b>	>8	6.08±1.25 a	5.88±1.64 a	7.28±1.13 a	9.65±0.58 a	117.47±26.57 a	11.60±0.64 a	0.07±0.01 a
	<8	5.35±1.23 b	4.88±1.45 b	7.47±0.85 a	9.83±0.38 a	127.72±40.37 a	12.25±0.51 b	0.06±0.01 a
<b>Summerred</b>	>9	9.55±1.18 a	7.10±0.78 a	7.11±1.11 a	9.83±0.45 a	143.32±25.10 a	12.83±0.25 a	0.064±0.01 a
	<9	6.08±1.05 b	6.98±0.70 a	7.56±1.01 a	9.63±0.67 a	154.50±29.10 a	12.33±0.23 b	0.056±0.01 b
<b>Aroma</b>	>11.2	4.90±1.22 a	6.78±1.21 a	6.81±0.43 a	6.50±2.43 a	127.24±32.52 a	12.20±0.37 a	0.11±0.09 a
	<11.2	4.50±0.99 a	6.68±1.10 a	7.15±0.79 b	8.88±1.34 b	106.89±19.16 b	10.85±0.26 b	0.08±0.02 b

Alle sortane hadde ulik  $I_{AD}$  i dei to sorteringsgruppene ved lagringsstart (Tabell 17). I Discovery hadde epla med det lågaste estimerte stiveinnhaldet ein lågare  $I_{AD}$  enn epla med det høgaste estimerte stiveinnhaldet. I Summerred hadde epla med det høgaste estimerte stiveinnhaldet lågast  $I_{AD}$ . Det vil seie at Summerred og Discovery hadde motsett forhold mellom estimert stiveinnhald og  $I_{AD}$ . I Aroma hadde epla med det høgaste sukkerinnhaldet hadde ein lågare  $I_{AD}$  enn epla med lågare sukkerinnhald. Aroma hadde i tillegg ein signifikant skilnad i klorofyllindeksen mellom sorteringsgruppene, der epla med det høgaste sukkerinnhaldet hadde den lågare klorofyllindeks enn epla med det lågaste sukkerinnhaldet.

Tabell 17. Gjennomsnittsverdiar og standardavvik ( $n=40$ ) for ikkje-destruktive analyser utført på eple av sortane Discovery, Summerred og Aroma sortert i to modningsgrader. Det vart brukt Multiplex-3, som måler ein klorofyllindeks, antocyanindeks og flavonoisindeks, og DA-meteret som måler  $I_{AD}$ . Discovery og Summerred er sortert etter estimert stiveinnhald (jod-test, 1-10) og Aroma etter estimert sukkerinnhald (% oppløyst tørrstoff). Ulik bokstav for ulik modningsgrad innan same sort og analyse, tyder at det er ein signifikant skilnad mellom gruppene ( $p<0.05$ ).

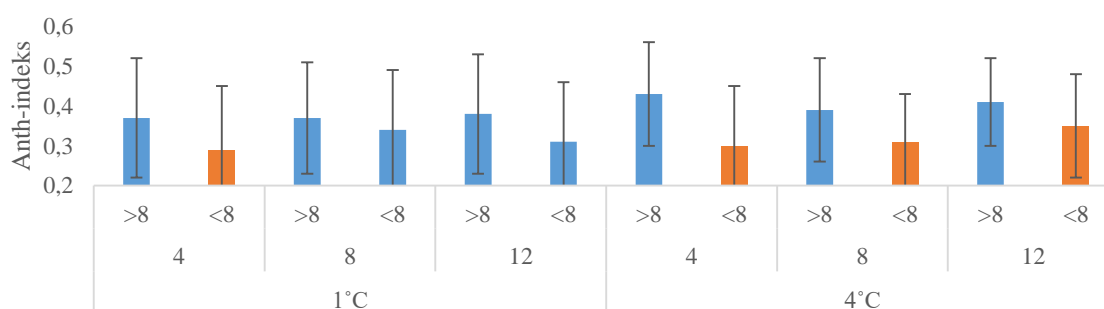
Sort	Sortert på:	Verdi	Chl-indeks	Anth-indeks	Flav-indeks	$I_{AD}$
Discovery	Stive	>8	0.40±0.66 a	0.33±0.14 a	0.60±0.17 a	1.47±0.23 a
		<8	0.33±0.06 a	0.30±0.12 a	0.58±0.16 a	1.30±0.20 b
Summerred	Stive	>9	0.40±0.10 a	0.36±0.32 a	0.79±0.26 a	1.37±0.20 a
		<9	0.42±0.10 a	0.47±0.34 a	0.88±0.30 a	1.59±0.14 b
Aroma	Sukker	>11.2	0.43±0.05 a	0.38±0.17 a	0.71±0.15 a	0.49±0.30 a
		<11.2	0.49±0.05 b	0.33±0.15 a	0.69±0.16 a	0.67±0.28 b

## Kvalitetsanalyser etter lagring

### Discovery

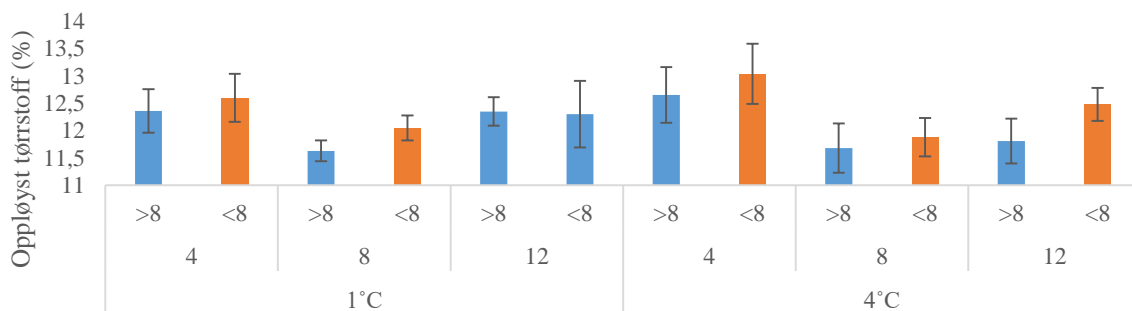
Det var ingen skilnad i grunnfarge mellom sorteringsgruppene i Discovery etter lagring.  $I_{AD}$  og klorofyllindeks viste skilnad mellom sorteringsgruppene etter lagring i 12 veker ved 1°C og etter 4 veker ved 4°C. Ved desse uttaka hadde epla med stivetal > 8 ein lågare indeks enn epla med eit stivetal < 8 ( $P<0.05$ ). Ved dei andre uttaka var det ingen skilnad i  $I_{AD}$  og klorofyllindeks mellom sorteringsgruppene.

Discovery med stivetal > 8 hadde meir dekkfarge etter lagring ved 4°C enn epla med stivetal < 8 ( $P<0.05$ ). Etter lagring ved 1°C var det ingen skilnad i dekkfarge mellom sorteringsgruppene ved uttaka. Den same skilnaden kom fram i antocyanindeksen, som var høgare i epla med høgast stivetal. Antocyanindeksen viste i tillegg den same skilnaden mellom sorteringsgruppene etter lagring i 4 veker ved 1°C (Figur 38).



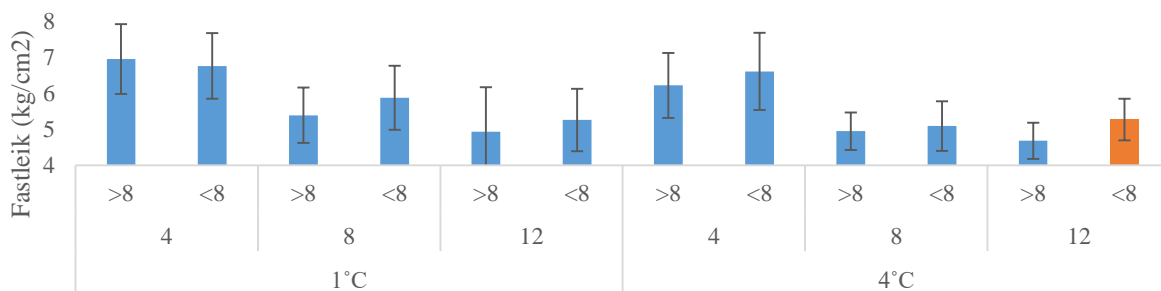
Figur 38. Gjennomsnitt og standardavvik av antocyanindeks i Discovery etter lagring. Forskjellig farge på søyler av med same lagringstid og lagringstemperatur tyder signifikant skilnad mellom sorteringsgruppene ( $P<0.05$ ).

Discovery med stivetal < 8 hadde eit høgare innhald av oppløyst tørrstoff enn epla med stivetal > 8. Dette gjaldt for alle uttaka frå 4°C og uttaka etter 4 og 8 veker ved 1°C. Etter lagring i 12 veker ved 1°C var det ingen skilnad i oppløyst tørrstoff mellom dei to sorteringsgruppene (Figur 39).



Figur 39: Gjennomsnitt og standardavvik for oppløyst tørrstoff i Discovery etter lagring. Ulik farge på søyler av ulik sorteringsgruppe, men same lagringstid og –temperatur tyder at det er ein signifikant skilnad mellom gruppene ( $P < 0.05$ ).

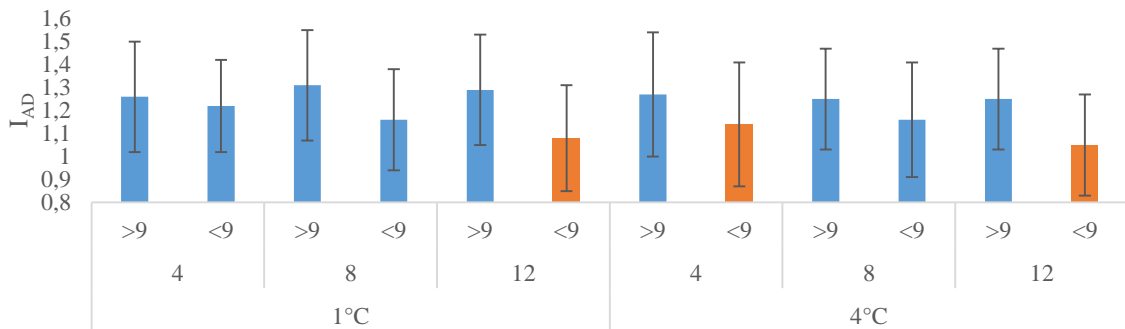
Det var ingen skilnadar i fastleik mellom sorteringsgruppene i Discovery etter lagring, utanom i epla lagra i 12 veker ved 4°C. Då hadde epla med stivetal < 8 ved lagringsstart høgare fastleik enn epla med stivetal > 8 (Figur 40). Det var ingen skilnad i flavonolindeksen mellom sorteringsgruppene i Discovery etter lagring.



Figur 40: Gjennomsnitt og standardavvik av fastleik i Discovery etter lagring. Ulik farge på søyler av ulik sorteringsgruppe, men same lagringstid og –temperatur tyder at det er ein signifikant skilnad mellom gruppene ( $P < 0.05$ ).

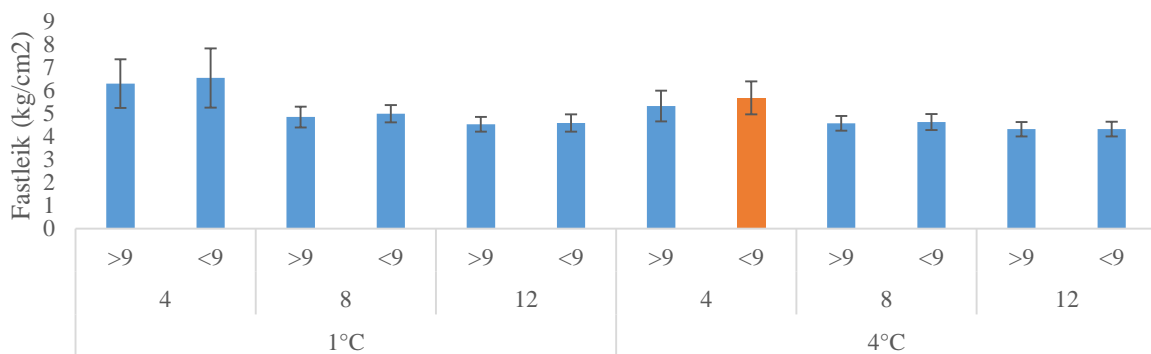
### Summerred

Etter lagring av Summerred i 4 veker ved 1°C hadde epla med estimert stivetal < 9, ein lågare grunnfarge enn epla med stivetal > 9 ( $P < 0.05$ ), men etter lagring i 12 veker ved same temperatur (1°C) var forholdet motsett. Det var ingen skilnad i grunnfarge mellom sorteringsgruppene etter 8 veker ved 1°C og i uttaka frå 4°C. I<sub>AD</sub> (Figur 41) og klorofyllindeksen var høgare i epla med stivetal > 9 enn epla med stivetal < 9 etter lagring i 12 veker ved 1 og 4°C, t tillegg til 4 veker ved 4°C.



Figur 41. Gjennomsnitt og standardavvik av  $I_{AD}$  i Summerred etter lagring ved 1 og 4°C i 1,8 og 12 veker. Epla var delt etter estimert stivetal over og under 9 ved lagringsstart. Ulike farge på søyler innan same lagringstemperatur og lengd på lagringsperiode, tyder at det var signifikant skilnad mellom sorteringsgruppene ( $P < 0.05$ ).

Summerred med stivetal  $> 9$  hadde eit lågare innhald av oppløyst tørrstoff, enn epla som vart estimert til stivetal  $< 9$  ved alle uttaka frå lager ( $P < 0.05$ ). Etter lagring i 4 veker ved 4°C hadde Summerred med stivetal  $< 9$  ein høgare fastleik i fruktkjøtet enn epla med eit estimert stivetal  $> 9$ . Ingen av dei andre uttaka gav skilnadar i fastleik mellom sorteringsgruppene (Figur 42).



Figur 42. Gjennomsnitt og standardavvik av fastleik i Summerred etter lagring ved 1 og 4°C i 1,8 og 12 veker. Epla var delt etter estimert stivetal over og under 9. Ulike farge på søyler innan same lagringstemperatur og lengd på lagringsperiode, tyder at det var signifikant skilnad mellom sorteringsgruppene ( $P < 0.05$ ).

Både flavonolindeksen og antocyanindeksen var lågare i epla med stivetal over enn under 9 ved uttaket etter 8 veker ved 1°C ( $P < 0.05$ ). Ved dei andre uttaka var det ingen skilnadar i indeksane mellom sorteringsgruppene.

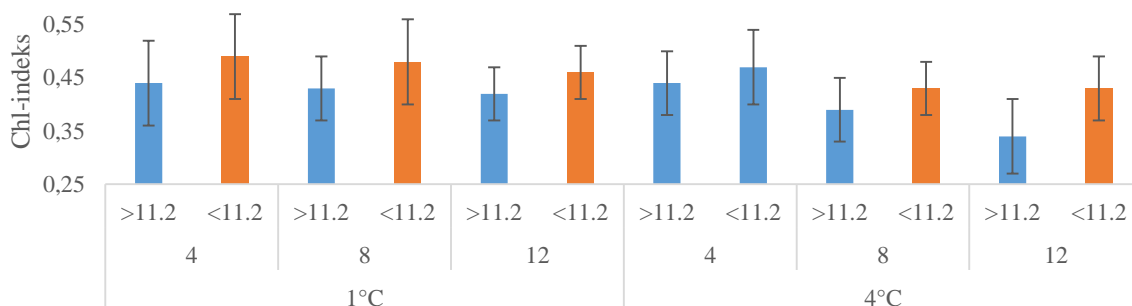
### Aroma

Ved alle uttaka av Aroma frå kjølelager hadde epla med oppløyst tørrstoff  $> 11.2\%$  ved lagringsstart eit høgare målt innhald av oppløyst tørrstoff ved uttak frå lager enn epla oppløyst tørrstoff  $< 11.2\%$  ved lagringsstart ( $P < 0.05$ ).

I analysane for klorofyllinnhald viste  $I_{AD}$  og klorofyllindeks skilnadar mellom sorteringsgruppene etter lagring, medan grunnfarge var lik i begge gruppene i alle uttaka. Aroma som var estimert til eit lågt innhald av oppløyst tørrstoff hadde alltid ein høgare  $I_{AD}$  ved uttak etter lagring enn epla med eit høgt



estimert innhald av oppløyst tørrstoff. Det var den same skilnaden i klorofyllindeks mellom sorteringsgruppene ved alle uttaka, utanom etter 4 veker ved 4°C (Figur 43).



Figur 43. Gjennomsnitt og standardavvik av klorofyllindeks i Aroma etter lagring. Ulik farge på søyler innan same lagringsperiode og lagringstemperatur tyder at  $I_{AD}$  mellom sorteringsgruppene er signifikant ulik ( $P < 0.05$ ).

Etter lagring av Aroma ved 1°C i 8 veker var epla med <11.2% oppløyst tørrstoff mindre faste enn epla med >11.2% oppløyst tørrstoff ( $P < 0.05$ ), men etter 12 veker lagring ved same temperatur var forholdet omvendt ( $P < 0.05$ ). Det var ingen skilnad mellom sorteringsgruppene etter 4 veker ved 1°C. Etter lagring av Aroma ved 4°C i 4 veker var epla med <11.2% oppløyst tørrstoff mindre faste ( $P < 0.05$ ) enn epla med >11.2% oppløyst tørrstoff. Det var ingen skilnad i fastleik mellom sortertingsgruppene etter 8 og 12 veker ved 4°C.

Flavonolindeksen var høgare i epla med >11.2% oppløyst tørrstoff enn i epla med <11.2% oppløyst tørrstoff etter 12 veker ved 1°C og 8 veker ved 4°C ( $P < 0.05$ ). Ved dei andre uttak var det ingen skilnad i flavonolindeks mellom sorteringsgruppene. Antocyanindeksen var høgare i epla med >11.2% oppløyst tørrstoff enn epla med <11.2% etter lagring i 8 og 12 veker ved 4°C ( $P < 0.05$ ). Ved lagringa på 1°C og etter 4 veker ved 4°C var det ingen skilnad i antocyanindeks mellom sorteringsgruppene i Aroma.

## 11.2.2 VIS-spektroskopi

### 11.2.2.1 Sortering til lagring

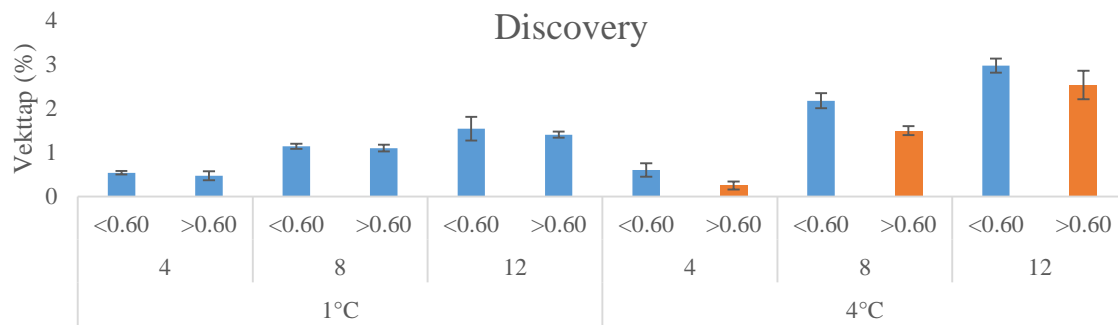
Discovery, Summerred og Aroma vart sortert i to grupper med DA-meteret. Etter nokre målingar på dei hausta epla for å finne spennet i dei hausta epla, vart det bestemt å sortere Discovery over/under  $I_{AD}$  0.60, Summerred over/under 1.60 og Aroma over/under 1.35.

### 11.2.2.2 Analysar etter lagring av eple

#### Vekttap

Vekttapet under lagring varierte mellom 0.2 og 3.0%. I Discovery som vart lagra ved 1°C var det ingen skilnad i vekttap mellom sorteringsgruppene ved uttak. Etter lagring ved 4°C hadde epla med  $I_{AD} < 0.60$  eit høgare vekttap enn epla med  $I_{AD} > 0.60$  (Figur 44). I Summerred, var det ingen signifikante skilnadar i vekttap mellom sorteringsgruppene ved nokon av uttaka. Aroma hadde heller ingen signifikante

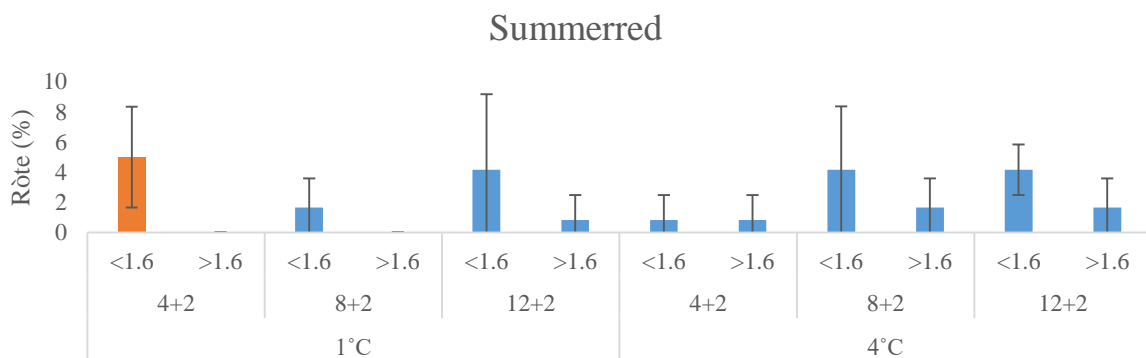
skilnadar i vekttap mellom sorteringsgruppene etter lagring ved 1°C, men etter lagring ved 4°C hadde epla med  $I_{AD} < 1.35$  eit høgare vekttap ved uttak etter 4 og 12 veker, enn epla med  $I_{AD} > 1.35$ .



Figur 44. Vekttap i Discovery under kjølelagring ved 1 og 4°C. Epla er sortert over/under  $I_{AD}$  ved lagringsstart og det vart gjort uttak etter 4, 8 og 12 veker. Ulik farge på søyler innan same lagringstemperatur og lagringsperiode tyder at det er ein signifikant skilnad i vekttap mellom sorteringsgruppene med ( $P < 0.05$ ).

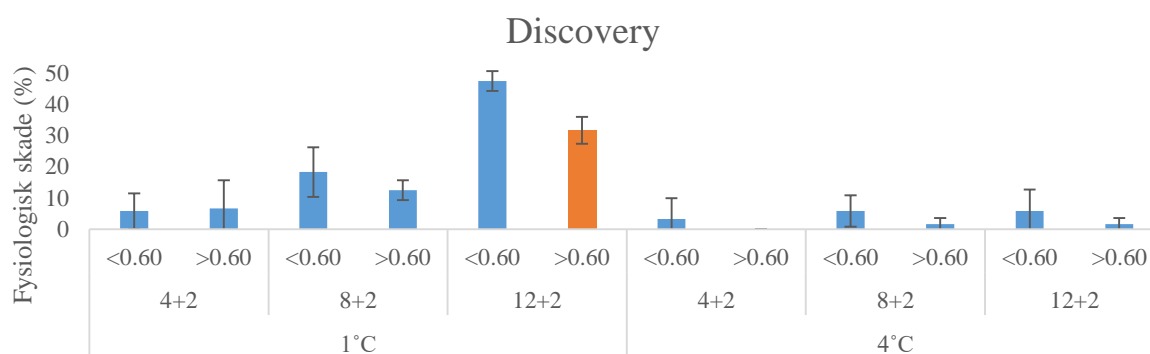
### Lagringskadar

Utvikling av røte under lagring varierte mellom 0 og 5 %. Det var ikkje skilnad mellom i utviklinga av røte mellom mogningsgradene, med unntak av Summerred lagra i 4+2 veker ved 1°C der det var meir røte på dei mest mogne epla (5%) enn dei minst mogne (0%) (Figur 45).



Figur 45. Røte i Summerred etter lagring ved 1 og 4°C. Det vart tatt uttak etter 4, 8 og 12 veker på kjølelager og deretter 2 veker på romtemperatur. Ingen av uttaka gav signifikant skilnad mellom sorteringsgruppene.

Discovery med  $I_{AD} < 0.60$  utvikla meir fysiologisk skade enn Discovery med  $I_{AD} > 0.60$  etter lagring i 12+2 veker ved 1°C (Figur 46). Ved alle andre uttak var det ingen skilnad mellom sorteringsgruppene. I Summerred var det ingen skilnad i fysiologisk skade mellom sorteringsgruppene ved nokon av uttaka. Etter lagring av Aroma ved 1°C var det ingen skilnad i fysiologisk skade mellom sorteringsgruppene. Etter lagring ved 4°C i 8+2 veker hadde epla med  $I_{AD} < 1.35$  meir fysiologisk skade enn epla med  $I_{AD} > 1.35$  ( $P < 0.05$ ). Uttaka av Aroma frå 4°C etter 4+2 og 12+2 veker viste ingen skilnad mellom sorteringsgruppene.



Figur 46. Fysiologisk skade i dei ulike sorteringsgruppene av Discovery etter lagring. Ulik farge på søyler innan same lagringstemperatur og lagringstid tyder signifikant skilnad mellom sorteringsgruppene.

### Kvalitetsanalysar

Epla med høgast  $I_{AD}$  hadde eit signifikant lågare sukkerinnhald ved lagringsstart enn epla med lågast  $I_{AD}$  i både Discovery, Summerred og Aroma. Discovery og Aroma hadde ulik grunnfarge i dei ulike sorteringsgruppene, der gruppene med høgast  $I_{AD}$  hadde lågast grunnfarge, altså var epla grønarare, enn epla med lågare  $I_{AD}$ . I startprøva av Summerred var det ingen skilnad i grunnfarge mellom sorteringsgruppene (Tabell 18).

Det var ein signifikant skilnad i streif-indeks i både Summerred og Aroma, men med motsett trend. I Summerred hadde epla med høgast  $I_{AD}$  òg den høgaste streif-indeksen, men i Aroma var det epla med lågast  $I_{AD}$  som hadde høgast streif-indeks. I Aroma var det i tillegg høgare stivetal og fastleik i epla med  $I_{AD}>1.35$  enn i epla med  $I_{AD}<1.35$  ved lagringsstart (Tabell 18).

Tabell 18. Gjennomsnittsverdi og standardavvik ved lagringsstart for analysar ved lagringsstart. Ulike bokstavar innan same sort og analyse tyder signifikant skilnad mellom modningsgradene ( $P<0.05$ ) ( $n=20$  (40 for fastleik)).

		Grunnfarge (1-9)	Dekkfarge (1-9)	Fastleik (kg/cm <sup>2</sup> )	Stive (1-10)	Vekt (g)	Oppløyst tørrstoff (%)	Streif-indeks
<b>Discovery</b>	<0.60	6.38±0.90a	6.08±1.05a	8.66±0.94a	5.48±1.15a	121.82±26.60a	13.10±0.38a	0.13±0.05a
	>0.60	4.78±0.95b	4.65±1.31b	8.56±0.80a	5.83±1.28a	116.72±26.37a	12.50±0.12b	0.12±0.04a
<b>Summerred</b>	<1.60	5.03±1.05a	7.28±0.96a	7.59±0.68a	9.0±1.13a	160.52±33.36a	11.38±0.46a	0.08±0.02a
	>1.60	4.68±0.83a	7.13±1.02a	7.63±0.95a	8.83±1.01a	149.68±33.02a	10.23±0.80b	0.09±0.02b
<b>Aroma</b>	<1.35	5.60±1.43a	7.15±1.56a	6.89±0.62a	6.05±2.16a	144.44±37.0a	12.20±0.61a	0.11±0.06a
	>1.35	3.70±1.04b	6.98±1.25a	7.22±0.65b	8.75±1.08b	108.49±19.50b	10.88±0.41b	0.08±0.01b

Klorofyllindeksen var lågare i sorteringsgruppene med lågast  $I_{AD}$  enn i sorteringsgruppene med høgast  $I_{AD}$  i alle sortar (Tabell 19). Det vart fjerna 6 analysar (skuggeside og dermed òg snittverdi per eple) frå klorofyllindeksen i Discovery på grunn av avvikande verdiar. 5 analysar frå epla klassifisert som  $I_{AD}<0.60$  og 1 analyse frå epla med  $I_{AD}>0.60$ . Antocyanindeksen var høgare i epla med lågaste  $I_{AD}$  enn

i epla med høgast  $I_{AD}$  men det var ingen skilnad i flavonol-indeksen mellom sorteringsgruppene (Tabell 19).

Tabell 19. Gjennomsnittsverdiar og standardavvik for MX-indeksane i dei ulike gruppene for modningsgrad ved lagringsstart. Ulik bokstav mellom modningsgradene innan same sort og analyse tyder signifikant skilnad ( $P < 0.05$ ) ( $n = 40$ ).

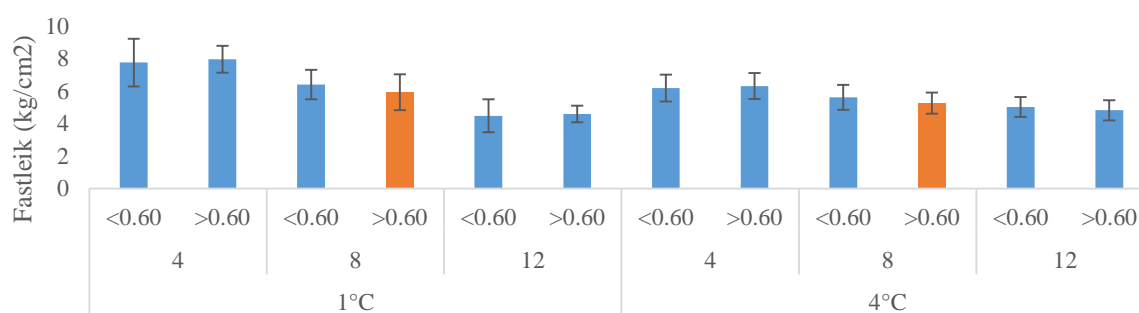
Sort	Modningsgrad	$I_{AD}$	Chl-indeks	Anth-indeks	Flav-indeks
Aroma	<1.35	0.38±0.17 a	0.43±0.08 a	0.44±0.20 a	0.80±0.19 a
	>1.35	0.88±0.29 b	0.47±0.06 b	0.30±0.20 b	0.74±0.17 a
Discovery	<0.6	1.29±0.24a	0.27±0.06 a (n=35)	0.40±0.12 a	0.64±0.13 a
	>0.6	1.63±0.12b	0.36±0.07 b (n=39)	0.19±0.24 b	0.59±0.22 a
Summerred	<1.6	1.11±0.27a	0.44±0.05 a	0.53±0.21 a	0.92±0.23 a
	>1.6	1.55±0.13b	0.49±0.08 b	0.42±0.21 b	0.93±0.19 a

## Kvalitetsanalyser etter lagring

### Discovery

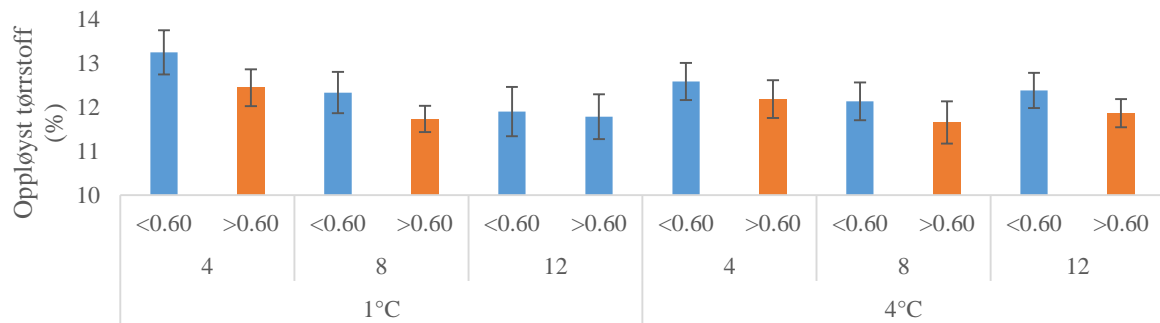
Ved alle uttaka av Discovery frå kjølelager var det ein signifikant skilnad i klorofyllinnhald mellom sorteringsgruppene, målt som  $I_{AD}$ , klorofyllindeks og med visuell bedømming. Epla med  $I_{AD} < 0.60$  hadde ved alle uttaka ein høgare grunnfarge (epla var gulare), lågare  $I_{AD}$  og lågare klorofyllindeks enn epla med  $I_{AD} > 0.60$  ( $P < 0.05$ ). I datasettet for klorofyllindeksen er det tatt vekk 9 avvikande målingar.

Raudfarge på epla, bedømt visuelt som dekkfarge og med antocyanindeksen frå Multiplex-3®, var høgare i Discovery med  $I_{AD} < 0.60$  enn Discovery med  $I_{AD} > 0.60$  ved alle uttaka ( $P < 0.05$ ), utanom etter 12 veker ved 1°C der det ikkje var skilnad mellom sorteringsgruppene. Discovery med  $I_{AD} < 0.60$  var etter lagring i 8 veker (ved 1 og 4°C) fastare enn Discovery med  $I_{AD} > 0.60$ . Det var ingen skilnad i fastleik mellom modningsgradene i Discovery ved andre uttak (Figur 47).



Figur 47. Gjennomsnitt og standardavvik av fastleik i Discovery ved uttak frå kjølelager. Det vart gjort uttak frå to lagringstemperaturar, 3 lagringsperiodar (veker) og 2 modningsgrader ( $I_{AD}$  ved lagringsstart). Ulik farge på søylene innan same lagringsperiode og lagringstemperatur betyr signifikant skilnad i fastleik mellom modningsgradene ( $P < 0.05$ ).

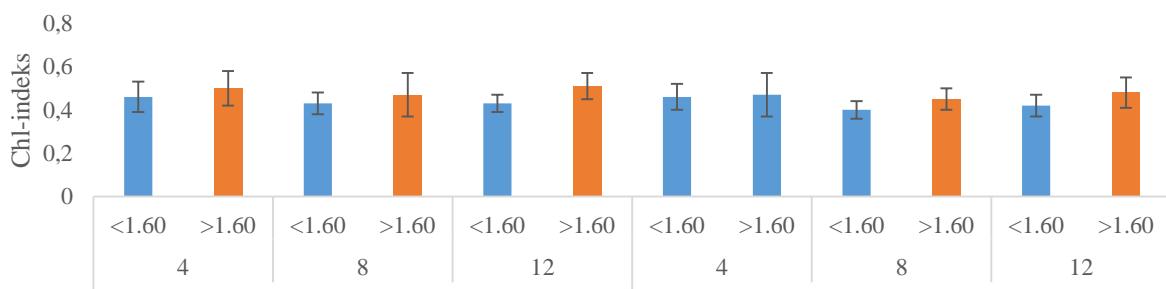
Innhaldet av oppløyst tørrstoff var høgare i Discovery med  $I_{AD}<0.60$  enn Discovery med  $I_{AD}>0.60$  etter lagring ved alle uttaka, utanom etter 12 veker ved  $1^{\circ}\text{C}$  der det ikkje var skilnad i oppløyst tørrstoff mellom sorteringsgruppene (Figur 48). Flavonolindeksen var høgare i Discovery med  $I_{AD}<0.60$  enn i Discovery med  $I_{AD}>0.60$  etter 4 veker lagring ved både 1 og  $4^{\circ}\text{C}$  ( $P<0.05$ ). Denne skilnaden var vekke ved seinare uttak.



Figur 48. Gjennomsnitt og standardavvik av oppløyst tørrstoff i Discovery ved uttak frå kjølelager. Det vart gjort uttak frå to lagringstemperaturar, 3 lagringsperiodar (veker) og 2 modningsgrader ( $I_{AD}$  ved lagringsstart). Ulik farge på søylene innan same lagringsperiode og lagringstemperatur betyr signifikant skilnad i oppløyst tørrstoff mellom modningsgradene ( $P<0.05$ ).

### Summerred

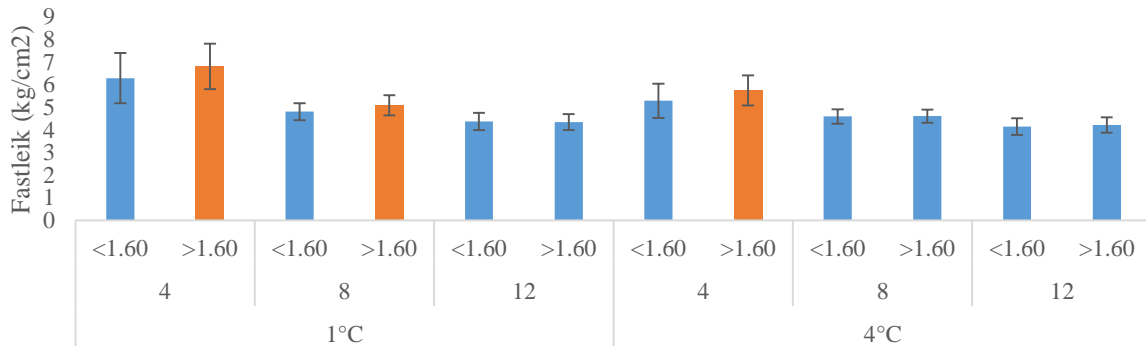
Analysane som viser klorofyllinnhald (grunnfarge, klorofyllindeks og  $I_{AD}$ ) hadde alle ein signifikant skilnad mellom sorteringsgruppene ( $P<0.05$ ) ved uttaka av Summerred. Klorofyllindeksen (Figur 49) og  $I_{AD}$  var høgare og grunnfargen var lågare (epla var grønnare) i epla med  $I_{AD} > 1.60$  ved lagringsstart enn i epla med  $I_{AD} < 1.60$  ved lagringsstart. Etter 4 veker lagring ved  $4^{\circ}\text{C}$  var det ingen skilnad i klorofyllindeks mellom sorteringsgruppene.



Figur 49. Gjennomsnitt og standardavvik av klorofyllindeks i Summerred ved uttak frå kjølelager. Det vart gjort uttak frå to lagringstemperaturar, 3 lagringsperiodar (veker) og 2 modningsgrader ( $I_{AD}$  ved lagringsstart). Ulik farge på søylene innan same lagringsperiode og lagringstemperatur betyr signifikant skilnad i Chl-indeks mellom modningsgradene ( $P<0.05$ ).

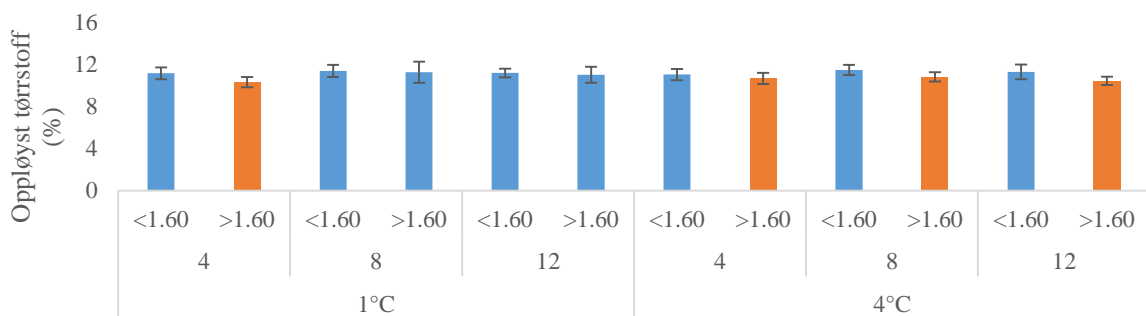
Summerred med  $I_{AD}<1.60$  hadde mindre dekkfarge og lågare antocyanindeks enn epla med  $I_{AD}>1.60$  ( $P<0.05$ ) ved alle uttaka, utanom etter 12 og 8 veker ved  $1^{\circ}\text{C}$ . Antocyanindeksen viste i tillegg den same skilnaden etter 4 og 12 veker ved  $4^{\circ}\text{C}$ . Etter 4 veker ved  $1^{\circ}\text{C}$  og 8 veker ved  $4^{\circ}\text{C}$  viste ingen skilnad i antocyanindeksen mellom sorteringsgruppene i Summerred.

Fastleiken i Summerred var høgare i epla med  $I_{AD}>1.60$  enn i epla med  $I_{AD}<1.60$  etter lagring ved 1°C i 4 og 8 veker og etter lagring ved 4°C i 4 veker. Etter lagring i 12 veker ved 1°C og 8 og 12 veker ved 4°C var det ingen skilnad i fastleik mellom sorteringsgruppene (Figur 50).



Figur 50. Gjennomsnitt og standardavvik av fastleik i Summerred ved uttak frå kjølelager. Det vart gjort uttak frå to lagringstemperaturar, 3 lagringsperiodar (veker) og 2 modningsgrader ( $I_{AD}$  ved lagringsstart). Ulik farge på søylene innan same lagringsperiode og lagringstemperatur betyr signifikant skilnad i fastleik mellom modningsgradene ( $P<0.05$ ).

I Summerred lagra ved 4°C var det ein skilnad i oppløyst tørrstoff mellom sorteringsgruppene ved alle uttaka. Epla som hadde ein høgare  $I_{AD}$  ved lagringsstart hadde eit lågare innhald av oppløyst tørrstoff etter lagring, enn epla med ein lågare  $I_{AD}$  ved lagringsstart. Epla som vart lagra ved 1°C viste berre denne skilnaden etter 4 veker lagring (Figur 51).



Figur 51. Gjennomsnitt og standardavvik av oppløyst tørrstoff i Summerred ved uttak frå kjølelager. Det vart gjort uttak frå to lagringstemperaturar, 3 lagringsperiodar (veker) og 2 modningsgrader ( $I_{AD}$  ved lagringsstart). Ulik farge på søylene innan same lagringsperiode og lagringstemperatur betyr signifikant skilnad i oppløyst tørrstoff mellom modningsgradene ( $P<0.05$ ).

Ingen av uttaka av Summerred, frå verken 1°C eller 4°C, viste skilnad i flavonolindeksen mellom sorteringsgruppene.

### Aroma

Alle uttaka av Aroma frå kjølelager viste signifikante skilnadar mellom modningsgradene i analysane som indikerer klorofyllinnhald. Epla med lågast  $I_{AD}$  ved lagringsstart hadde høgare grunnfarge (gulare eple), lågare  $I_{AD}$  og lågare klorofyllindeksen enn i epla med høgast  $I_{AD}$  ved lagringsstart ( $P<0.05$ ). Epla med  $I_{AD}<1.35$  hadde i tillegg ved alle uttaka eit høgare innhald av oppløyst tørrstoff enn epla med  $I_{AD}>1.35$ .

Det var ingen skilnad i dekkfarge mellom sorteringsgruppene ved nokon av uttaka av Aroma. Antocyanindeksen var høgare i Aroma med  $I_{AD}<1.35$  enn i Aroma med  $I_{AD}>1.35$  etter lagring i 8 og 12 veker ved  $1^{\circ}\text{C}$  og etter 4 veker ved  $4^{\circ}\text{C}$  ( $P<0.05$ ). Ved dei andre uttaka var det ingen skilnad i antocyanindeksen mellom sorteringsgruppene. Etter lagring av Aroma i 4 veker ved  $1^{\circ}\text{C}$  hadde epla med  $I_{AD}>1.35$  lågare fastleik enn epla med  $I_{AD}<1.35$  ( $P<0.05$ ), men ved alle andre uttak, var det ingen skilnad i fastleik mellom sorteringsgruppene. Det var heller ingen skilnadar i flavonolindeksen mellom sorteringsgruppene i Aroma etter lagring.

## 12 DISKUSJON

### 12.1 MODNINGSGRAD VED HAUSTING

Basert på tilrådingar frå Norsk Landbruksrådgjeving for fastleik og sukker- og stiveinnhald ved optimalt haustetidspunkt, vart Discovery truleg hausta ved rett modningsgrad. Derimot, var stivetal for raud Aroma og Summerred høgare enn ønskeleg, samstundes som dei andre kvalitetsparameterane var innanfor optimalverdiar. Dette er eit kjent problem i desse sortane, og nyare forsøk har vist at det bør vere større fokus på stivetal for fastsetjing av haustetidspunkt (Heiberg 2012). Raud Aroma og Summerred vart difor truleg hausta noko seint (Tabell 20).

Tabell 20. Tilrådinga frå NLR (Norsk landbruksrådgjeving) for minimumsverdiar ved hausting, samt krava som BAMA Gruppen AS set til kvalitet ut frå lager i Discovery, raud Aroma og Summerred. Utheva rader syner gjennomsnittsverdiar frå hausting i forsøket. Streif-indeks=Fastleik/(oppløyst tørrstoff x stive), I<sub>AD</sub> = skilnad i absorpsjon ved 670 og 720nm.

Sort		Streif- indeks	Fastleik (kg/cm <sup>2</sup> )	Oppløyst tørrstoff (%)	Stivetal (1-10)	Dekkfarge (%)	I <sub>AD</sub>
<b>Discovery</b>	NLR	0.09- 0.16	7.5-8.0	10.8	6-8		0.6-0.8
	BAMA		>5-6	>12		30	
	Forsøk	0.12	8.83	13.12	6	5.30	0.39
<b>Raud Aroma</b>	NLR	0.09- 0.2	6.5-7.0	11.2	4-6.5		
	BAMA		>5-6	>12		50	
	Forsøk	0.08	7.20	10.9	8.9	6.17	1.14
<b>Summerred</b>	NLR	0.09- 0.16	7-8	10.5	5-7		
	BAMA		>5-6	>12		50	
	Forsøk	0.08	7.87	12.37	8.13	7.17	1.14



## 12.2 MODNINGSUTVIKLING

### 12.2.1 VIS/NIR-Spektroskopi

Absorpsjonsspektra i epla i det nær infraraude spekteret var strekt dominert av vasstoppen ved om lag 970 nm (McGlone & Kawano 1998) (Figur 21). Til tross for at spektra såg svært like ut, fanst det ein stor variasjon i absorpsjon. Det var denne variasjonen som vart brukt til å laga modellar for ulike kvalitetar i epla. I den synlege delen av spekteret var det ein kraftig reduksjon av absorpsjon gjennom modningsutviklinga (Figur 22). Denne endringa kom i hovudsak av fargeendring i epleskalet då det er pigment som klorofyll, karotenoid og antocyan som står for det meste av absorpsjonen den synlege delen av det elektromagnetiske spekteret i eple (Knee 1972; Solovchenko et al. 2005).

Før regresjonsmodellane vart laga, vart det testa ulike forbehandlingar. Normalisering ved SNV gav dei beste resultatata og denne metoden vart difor brukt i alle modellane. Bobelyn et al. (2010) fann at SNV gav best resultat for oppløyst tørrstoff, men at rå-data gav best resultat for fastleik. Det vart ikkje funne den same fordelene i å bruka rå-data for modellering av fastleik i dette forsøket.

Som følgje av variasjonar i til dømes populasjonsstorleik og –struktur, er det vanlegvis komplisert å samanlikna resultat med andre forsøk i litteraturen. Generelt bør det vere oppgitt  $R^2$ , RMSECV, standardavvik, talet på prøvar, talet på uteliggjarar som vart fjerna og talet på prinsipalkomponentar for at det skal vere mogeleg å vurdere ein modell og samanlikna han med andre modellar (Cozzolino et al. 2011). Dette vert ikkje alltid gjort og samanlikningar er difor ofte gjort med atterhald.

Det vart oppnådd relativt gode modellar for innhaldet av *oppløyst tørrstoff* gjennom modningsutviklinga i alle sortane, men noko betre i Discovery enn dei andre. Dette stemmer godt med litteraturen, der fleire forsøk har oppnådd gode modellar for sukkerinnhald i eple, mellom anna med RMSECV 0.78 (Bertone et al. 2012), RMSEP 0.72 (McGlone et al. 2002), SEP 0.73 (Peirs et al. 2001) og SECV 0.94 og 1.29 (Zude et al. 2006). PLSR-modellane i dette forsøket var i alle sortane i stor grad basert på endringa i absorpsjon ved 980 nm. Den største endringa i eit spekter som følgje av auka sukkerkonsentrasjon har vist seg å vere ein nedgang i absorpsjon ved 960nm og ein auke i absorpsjon ved 984 nm (Golic et al. 2003). Det er difor sannsynleg at det var faktisk innhald av oppløyst tørrstoff som vart modellert. Modellane vart gode nok til ei grov vurdering av sukkerinnhald under modning, men for bruk til fastsetjing av optimalt haustetidspunkt er dei truleg for unøyaktige.

Modellane for stiveinnhald i Discovery, Summerred og raud Aroma varierte i RPD frå 1.33 til 1.96, der Discovery gav den beste modellen. Liknande modellar har vorte oppnådd av Bertone et al. (2011). Dei laga modellar for stiveinnhaldet i eplesorten Scarlet, basert på absorpsjon i NIR-området (833-2500nm). Med eit kalibreringssett som inneheldt eple både før og etter kommersiell hausting, oppnådde dei ein modell med  $R^2_{cv}$  på 0.81 og RMSECV på 1.7. Andre forsøk der det har vorte forsøkt å estimere stiveinnhald i eple gjennom modningsutvikling, har basert modellane på absorpsjon av synleg lys og er difor mest sannsynleg basert på endringa i klorofyllinnhald, ikkje faktisk stiveinnhald (McGlone et al.

2002). Referansemålingar for stiveinnhald vart vurdert subjektivt, og er rekna som ein metode med liten presisjon (Peirs et al. 2002). Det er usikkert om desse referansane målar det faktiske innhaldet av stive og kor påliteleg testen er. Forholdet mellom stivevurderinga med jod-testen og faktisk stiveinnhald har vorte registrert til å vere både lineært og ikkje-lineært i ulike forsøk (Doerflinger et al. 2015; Travers et al. 2002). Ein ikkje-lineær samanheng mellom konsentrasjon og referansemetode kan føre til mindre gode modellar. Jod-testen viser først nedbryting av stive ved kjernehuset og deretter gradvis ut mot ytterkanten av epla. Forsøk har vist varierende resultat på om nedbrytinga faktisk startar først ved kjernehuset, om området har ein lågare konsentrasjon i utgangspunktet, eller om nedbrytingshastigheita er ulik i forskjellige soner i epla (Brookfield et al. 1997; Doerflinger et al. 2015). Nær infraraud stråling i dette forsøket nådde truleg om lag mellom 1-3cm inn i fruktkjøtet (Folkestad et al. 2008). Dersom det ikkje er endring i stiveinnhald i ytterkantane av epla gjennom dei første vekene, er det sannsynleg at NIR-spektroskopi ikkje kan brukast til å måle stive før på eit seinare stadium. Eple inneheld rundt 0-6g stive per 100g når dei er haustklare, avhengig av faktorar som sort og årsvariasjonar (Tromp et al. 2005). Konsentrasjonen av stive i eple er difor truleg for liten til at det kan målast med NIR-spektroskopi. For nøyaktige målingar er det anslege at komponenten som skal analyserast generelt må ha eit innhald på minst 0.1% (Lin & Ying 2009). Forholdet mellom amylose og amylopektin vil i tillegg påverke nøyaktigheita på stive-skalaen, då det er amylose som reagerer med kaliumjod-blandinga og gir den blåsvarte fargen. Dette forholdet varierer med sort og tidspunkt i modningsutviklinga (Doerflinger et al. 2015).

At det trass i dette vart oppnådd modellar som kan følgje nedbrytinga av stive til ei viss grad, kan kome av samanhengen mellom sukker- og stiveinnhald. Gjennom modninga vert stive omdanna til sukker og det vil vere ein sterk samanheng mellom desse komponentane. Regresjonskoeffisientane for stive- og sukkermodellane var svært like, spesielt for Discovery. Dette kan vere ein indikasjon på at modellen for stiveinnhald, var indirekte modellar for sukkerinnhald. Peirs et al. (1998) kom fram til det same då dei analyserte stiveinnhald i eple med NIR-spektroskopi.

Regresjonsmodellane for fastleik var vurdert til RPD mellom 1.60 og 1.91, der modellane for Summerred var noko betre enn modellane for Discovery og Aroma. Det er kjent frå tidlegare forsøk at modellar for fastleik i eple generelt vert dårlegare enn modellar for sukkerinnhald (Bertone et al. 2012; Bobelyn et al. 2010; Lu et al. 2000). Eit viktig poeng er at fastleik i fruktkjøtet ikkje er direkte knytt til kjemisk innhald, som stive og oppløyst tørrstoff, men er ein fysisk eigenskap målt av fastleiksmålaren. Den fysiske eigenskapen er igjen avhengig av kjemisk struktur, men er ikkje direkte relatert til ein enkelt komponent. Nokre komponentar, som pektin, kan ha ein direkte samanheng med nedgang av fastleik i eple (Tromp et al. 2005), men konsentrasjonen er truleg uansett for låg til å kunne målast med NIR-spektroskopi (Bertone et al. 2012). Difor er eventuelle modellar for fastleik i eple truleg relatert til modning, men indirekte til fastleik (McGlone et al. 1997).

Modellane for streif-indeks i Discovery, Summerred og Aroma hadde RPD frå 1.76 til 2.12. Liknande, og noko betre, modellar for streif-indeks har tidlegare vorte oppnådd, men med fleire sortar og sesongar inkludert i modellen (Peirs et al. 2001; Peirs et al. 2005). Modellane oppnådd for streif-indeks er truleg ikkje nøyaktige nok til å følgje modningsutviklinga tett nok til å bestemme haustetidspunkt. Ein prediksjonsfeil på 0.2-0.3 i streif-indeks kan utgjere mykje når det er snakk om å bestemme rett haustetidspunkt.

Grunnfarge vart forsøkt målt av VIS/NIR-instrumentet med den synlege delen av spekteret. Regresjonsmodellane for grunnfarge vart relativt gode i alle sortane med RPD frå 1.89-2.57. Referansemetoden for grunnfarge er subjektiv og kan variere mykje. Ein meir nøyaktig referansemetode ville truleg ført til ein betre modell. Det vart i tillegg forsøkt å laga modellar for dekkfarge, trass i at det var venta ein dårleg samanheng. Dekkfarge er eit mål på kor stor del av overflate som er dekkja med raudfarge, medan VIS/NIR-analysane er gjort på to enkeltpunkt på kvar side av epla. Dette i seg sjølv gir ein dårleg samanheng mellom dei to analysemetodane. Regresjonskoeffisientane i modellane for dekkfarge var svært like dei for grunnfarge. Absorpsjon i området for klorofyll (670nm) var sterkt vektlagt, men området for antocyan (500-600nm (Merzlyak & Chivkunova 2000)) hadde òg ein innverknad på modellen. Det er difor sannsynleg at modellane for dekkfarge baserar seg på endringa i klorofyllinnhald i tillegg til endringa i antocyaninnhald.

Det er ikkje alltid opplagt kva som er ein bra nok modell. Ein må vurdere bruksområde, statistiske parameterar og eventuelle mogelegheiter for indirekte samanhengar. Ein modell som skal sortere eple i to klassar treng til dømes ikkje vere like nøyaktig som ein modell som skal følgje kontinuerleg utvikling av ein komponent. RPD er ein statistisk metode vert brukt til å samanlikne forskjellige modellar, men det finst mange meiningar om kva som er ein bra nok RPD-verdi. For å følgje modningsutviklinga nøyaktig nok for fastsetjing av haustetidspunkt, bør nok RPD vere rundt 5 (Cozzolino et al. 2011). Det var ingen av modellane for modningsutvikling i epla som var gode nok i følgje dette kriteriet. Modellane for sukkerinnhald var nærast dette og kan nok brukast til å følgje modningsutviklinga grovt sett.

Fleire av modellane (stive, fastleik, dekkfarge) viste teikn på å vere indirekte modellar. Indirekte modellar er mindre pålitelege sidan forholdet mellom dei to aktuelle komponentar i epla kan vere variabelt. Prediksjonsfeilen for modellane i dette forsøket er for eitt enkelt eple, ei enkelt side på eitt enkelt eple eller eit gjennomsnitt for 5 eple. I praksis vil modningsgrada i eit fruktfelt verta vurdert som eit gjennomsnitt av eit utval eple (ofte 10-20 stk.). Då vil mest sannsynleg feilmarginen verta mindre og modellane dermed prestera betre. Dette forsøket er i tillegg basert på ein sesong og eitt fruktfelt av kvar sort. For gode modellar med praktisk nytteverdi må det inkluderast fleire sesongar og felt.

I eit stort eple vil strålinga nå relativt kortare inn i eplet i forhold til eit mindre eple (Figur 52). Dette kan føre til at absorpsjonsspekter frå store og små eple kan innehalde ulik informasjon. Det vart laga PLSR-modellar for å undersøke om storleik på epla hadde ein effekt på analysane med VIS/NIR-

instrumentet. Modellane for storleik vart generelt svært dårlege med  $R^2_{CV}$  frå 0.04 til 0.07, noko som tyder på liten innverknad av storleik på modellane.



Figur 52. Kor langt inn i eplet NIR-strålinga vil gå er avhengig av storleik på eplet. Det stipla området illustrerer området NIR-spektrometeret måler. Dette området er konstant, men storleiken på epla er variabel, noko som fører til at det vert målt ulik relativ lengd inn i epla.. Foto: Ingvill Hauso

Det vart undersøkt om VIS/NIR-instrumentet klarar i måle det same som Multiplex-3® og DA-Meteret. Dersom VIS/NIR-instrumentet kan måle desse indeksane, i tillegg til andre kvalitetsparameter, er dette ein stor fordel. Forsøka på å estimere Multiplex-indeksane (klorofyllindeks, antocyanindeks, flavonolindeks) med PLSR-modellar ut i frå absorpsjonsspektera i synleg lys var generelt lite vellukka. På det beste kunne modellane skilja høge frå låge referanseverdier. Flavonolar absorberer lys frå 365 til 430nm, altså UV-stråling (Merzlyak et al. 2005). Dette området er ikkje inkludert i VIS/NIR-instrumentet og forklarar at det ikkje var mogeleg å laga modellar for flavonolindeksen.

Antocyan har absorpsjonsmaksimum nært 550nm (Merzlyak et al. 2003) og burde difor vere mogeleg å måle med VIS-spektroskopi. At det ikkje var mogeleg å lage modellar basert på skuggesida av epla var ikkje overraskande, då skuggesida i denne oppgåva var definert som sida på epla med minst raudfarge. I tillegg vart referansemetoden opplevd som ustabil ved bruk på skuggesida av epla (sjå kapittel 12.2.3.2). Eit forsøk har vist at det er ein lineær samanheng ( $r^2=0.89$ ) mellom antocyan i Aroma målt ved klorofyll fluorescens som  $\log[F_{655nm}/F_{470nm}]$  og refleksjonsindeksen  $R_{800}(1/R_{500}-1/R_{700})$ , sjølv når epla var svært raude (Hagen et al. 2006). Multiplex-3® bruker grønt lys (515nm), som er absorpsjonsmaksimum for antocyan, for analyse. Årsaka til at det vart funne mindre gode samanhengar kan kome av at fluorescensen frå grønt eksiteringslys vert så liten at instrumentet ikkje kan måle det. Det er mogeleg at bruk av blått lys til eksitering av klorofyll fluorescens, for å måle innhald av antocyan, slik som Hagen et al. (2006), er betre når metoden skal nyttast på eple med mykje dekkfarge.

Det vart oppnådd noko betre modellar for klorofyllindeksen enn for antocyanindeksen og flavonolindeksen. Klorofyll absorberer lys ved om lag 670nm (Merzlyak et al. 2003) og bør vere mogeleg å måle med VIS-spektroskopi. Samanhengen mellom klorofyllindeksen og  $I_{AD}$  (VIS-spektroskopi) var derimot eksponentiell, noko som kan ha ført til at PLSR-modellane presterte dårleg, då denne metoden modellerer ein lineær samanheng.

For  $I_{AD}$  var det oppnådd gode regresjonsmodellar med RPD frå 2.10 til 3.00. I tillegg var det god korrelasjon mellom skildane i absorpsjon ved dei same bølgjelengdene som DA-meteret nyttar. Det er tydeleg at VIS/NIR-instrumentet kan måle det same som DA-meteret. Dette er venta sidan DA-meteret og VIS/NIR-instrumentet nyttar same teknikk: Spektroskopi i interaksjon-modus.

### 12.2.2 DA-meter

$I_{AD}$  sank mellom første analyse i veke 1 og hausting i alle sortane.  $I_{AD}$  og haustedato hadde ein korrelasjon på -0.92 i Aroma og Summerred og -0.91 i Discovery. Dette er noko lågare enn i ein svensk studie, der korrelasjonen mellom  $I_{AD}$  i Discovery og Aroma vart funne til -0.97, men då basert på ein kortare periode med målingar rundt hausting (Tahir 2016). Det er klorofyllinnhaldet i epleskalet som gir grunnfargen i eple (Kingston 1992). Gjennom modninga av eple oppstår det eit skifte i balansen mellom klorofyllsyntese og nedbryting av klorofyll, som fører til at klorofyllinnhaldet gradvis vert lågare. Denne nedgangen i klorofyllinnhald kan vera eit alternativ til ein indikator for utviklingsstadium og kvalitet i eple (Merzlyak et al. 1999). I dag vert endringa i klorofyllinnhald følgd ved å samanlikne grunnfargen på eplet med eit fargekart. Denne metoden er billig og ikkje-destruktiv, men ein instrumentell metode i stand til objektive, presise målingar vil vere eit betre alternativ. I tillegg kan  $I_{AD}$  vurdere klorofyllinnhald sjølv når eplet er fullstendig dekkja av raudfarge som følgje av akkumulering av antocyan. Grunnfarge og  $I_{AD}$  hadde ein korrelasjon på -0.61, -0.90 og -0.83 i Aroma, Discovery og Summerred (Tabell 10). Dette samsvarar med korrelasjonar funne i dei same sortane i tidlegare forsøk (Vangdal 2012).

Gjennom modningsutviklinga var det varierende kven av sidene på epla som hadde høgast  $I_{AD}$ . Alle sortane hadde ein høgare  $I_{AD}$  på solsida i starten av modningsperioden, men denne skilnaden forsvann eller vart motsett gjennom modninga. Dei beste korrelasjonane for  $I_{AD}$  og haustetidspunkt eller streifindeks vart oppnådd ved å bruka gjennomsnittet av  $I_{AD}$  per eple, men det var liten skilnad i bruk av snittverdiar eller ei enkelt side (spesielt solside). Toivonen et al. (2012) fann at for minst moglege variasjon i  $I_{AD}$  var det fordelaktig å konsekvent måla på same side av epla, helst midt mellom sol- og skuggeside på eplet. Produksjon av klorofyll er sterkt påverka av lystilgangen og det vil difor vere store variasjonar i klorofyllinnhald etter kvar ein måler på epla. I analysar der klorofyllinnhaldet har vorte vurdert som ein god indikator på modningsgrad har det vorte sett på klorofyllinnhaldet i heile eplet. DA-meteret måler derimot klorofyllinnhaldet på eit svært lite område. Kvar ein måler på epla har difor stor innverknad på indeksen og er noko som må takast omsyn til ved utvikling av modellar.

Vangdal et al. (2014) fann at  $I_{AD}$  hadde ulikt startnivå for ulike sortar, men at utviklinga var svært einsarta og hadde ei klar sigmoid utvikling. Dei fann i tillegg ein tendens til at sortar som modnar tidleg hadde ei brattare utviklingskurve, enn seint modne sortar. Dei same trendane som Vangdal et al. (2014) fann i sine forsøk, vart òg sett i dette forsøket. Discovery, som er ein sort som modnar tidleg, hadde ei brattare utviklingskurve enn Aroma og Summerred, som er seinare sortar. Medan Aroma og Summerred låg om lag likt i verdiar for  $I_{AD}$ , hadde Discovery lågare verdiar for same dato. Dette indikerer at ulike sortar har ulikt startnivå. Denne skilnaden i  $I_{AD}$  mellom ulike sortar kan kome av at det er ulikt

klorofyllinnhald og ulik nedbrytingshastighet av klorofyll mellom sortar (Delgado-Pelayo et al. 2014). Det har i tillegg vorte registrert at ulike sortar med same klorofyllinnhald kan ha ulik  $I_{AD}$  (Betemps et al. 2012). På grunn av desse skilnadane mellom eplesortar, er det svært viktig å gjennomføre forsøk på aktuelle sortar før DA-meteret vert tatt i bruk.

Aroma og Summerred hadde ein «dropp» i DA-målingane mellom 07.09.2015 og 14.09.2015 (Figur 23). Dette skuldast truleg ein feil med instrumentet, då denne endringa var lik for Aroma og Summerred medan ho ikkje oppstod i Discovery. Det var ein viss auke i temperatur i same periode, men truleg ikkje ei stor nok endring til ein slik dropp i målingane med DA-meteret. Det var ikkje registrert den same endringa i dette tidsrommet for andre analysar.

Det vart funne relativt gode korrelasjonar mellom  $I_{AD}$  og oppløyst tørrstoff, stive, fastleik og streifindeks under modning. Dette er analysar som alle er viktige, destruktive analysar for vurdering av haustetidspunkt i eple (Tabell 10). Resultata stemmer godt over eins med resultat frå tidlegare forsøk (Tahir 2016; Vangdal 2012). Ved haustetidspunkt var det derimot ingen, eller ein svært låg, korrelasjon mellom  $I_{AD}$  og andre kvalitetsanalysar. At det ikkje vart funne korrelasjonar mellom tradisjonelle analysar for modningsgrad og  $I_{AD}$  ved haustetidspunkt kan indikere at DA-meteret eignar seg best til å følgje eple over tid under modninga, og at enkeltmålingar har liten verdi.

Trass i relativt gode korrelasjonar med andre modningsparameterar, er det viktig å hugse at  $I_{AD}$  ikkje er direkte knytt til analysar som til dømes stiveinnhald og fastleik. Eventuell korrelasjon mellom desse faktorane vil vere ein sekunder samanheng som følgje av ein synkronisert utvikling. Det er ikkje vist at ulike analysar for modningsgrad i eple er synkronisert og forholdet mellom desse kan variera mellom sesongar. Johnston et al. (2009) undersøkte korleis etylen påverka ulike modningsprosessar i eple. Dei fann at nedgang i fastleik og endring i grunnfarge er prosessar som er sterkt avhengig av etylenkonsentrasjon, men ingen av prosessane er spesielt sensitive for etylen. Med andre ord trengst det høge konsentrasjonar av etylen for å indusera ei endring i desse faktorane. Derimot er nedbrytinga av stive og tap av syre, prosessar som er lite avhengig av etylen, men er svært sensitiv for små konsentrasjonar av hormonet. På grunn av den same responsen på etylen i nedbryting av klorofyll og fastleik har det vorte påstått at desse to faktorane vil ha same utvikling, men dette er endå usikkert.  $I_{AD}$  viser berre skilnaden i absorpsjon ved to bølgjelender og klorofyll absorberer sterkt ved den eine av desse. Klorofyllinnhald, som igjen er relatert til grunnfarge, vil dermed påverke indeksen i stor grad. Det finst likevel andre komponentar som kan absorbere lys ved dei same bølgjelengdene og dermed påverka indeksen, utan at ein kan registrere dette.

Optimalt haustetidspunkt for Discovery, ut i frå tilrådingar om sukker- og stiveinnhald og fastleik, fall saman med  $I_{AD}$  0.40. Det vart lagt mest vekt på stive då det har vist seg å vere den viktigaste faktoren for når haustevindauget startar (Heiberg 2012). Ved å sjå på data på same måte for raud Aroma og Summerred låg  $I_{AD}$  på rundt 1.90 i begge sortane ved optimalt haustetidspunkt. Forsøk i Sverige har

konkludert med at Discovery bør haustast ved  $I_{AD}$  1.11-0.75 og Aroma ved  $I_{AD}$  1.89-1.65 (Tahir 2016), medan Vangdal et al. (2014) fann at vendepunktet for den sigmoide utviklingskurva ofte låg rund  $I_{AD}$  0.8, og at anbefalt haustetidspunkt normalt kom litt etter dette. Foreløpige forsøk gjennomført av Norsk landbruksrådgjeving har peikt mot verdiar frå 0.6 til 0.80 i Discovery, 1.0 til 1.2 i raud Aroma og noko over 0.80 i Summerred (Norsk fruktrådgjeving Hardanger 2015).

Vendepunkta for dei sigmoide kurvene i dette forsøket låg ved  $I_{AD}$  0.95, 1.84 og 1.85 for Discovery, Summerred og raud Aroma (analysedato: 14.09, 21.09-28.09 og 28.09-05.10). I Summerred og raud Aroma stemde vendepunktet godt med optimalt haustetidspunkt i følgje krava sett til sukker- og stiveinnhald og fastleik. Derimot var epla endå for lite modne ved vendepunktet i Discovery. Sukkerinnhaldet var bra, men stiveinnhaldet og fastleiken var noko høg. Optimalt haustetidspunkt kom ikkje før om lag ei veke seinare.

Dette er data frå ein enkelt sesong og eitt enkelt felt for kvar av sortane. For å lage robuste anbefalingar må det inkluderast fleire sesongar og fleire lokalisasjonar. Å auka talet på sesongar er viktig for å undersøka om  $I_{AD}$  er følsam for årsvariasjonar. Å måle på fleir lokalisasjonar er viktig for å inkludere variasjonen som oppstår på grunn av miljø og dyrkingspraksisen sin påverknad på indeksen (DeLong et al. 2014; Hendry et al. 1987).

#### **12.2.2.1 Bruk av DA-meter i felt**

Det var svært lite skilnad i  $I_{AD}$  målt ute i felt og  $I_{AD}$  målt inne på laboratoriet under konstante forhold. DA-meteret har ein gummiring rundt sensoren som skal plasserast heil inntil epla, og dermed hindra at uønskt lys når sensoren. Spekteret til sollys overlappar bølgjelengdene som DA-meteret måler ved og kan forstyrre målingar dersom det når sensoren. At det ikkje vart registrert skilnad mellom analyser gjort på laboratoriet og ute i felt tyder på at varierende lysforhold i omgjevnadane hadde liten eller ingen innverknad på resultatata. Ved analysar i felt under strekt sollys vart det til ei viss grad forsøkt å skugge for sola så godt som mogeleg, difor inneheld ikkje dette forsøket gjort i direkte sollys. Ved NIR-spektroskopi vil ulike temperaturar under måling påverka resultatet, men temperaturskilnadar i felt hadde ingen innverknad på analyseresultat frå DA-meteret. Dette stemmer med tidlegare forsøk som har vist at temperatur ikkje påverkar absorpsjon av lys frå 600-750nm, medan ved lengre bølgjelengder (800-1100 nm) kan ulik temperatur føre til store skilnadar (Zude-Sasse et al. 2002).

#### **12.2.3 Multiplex-3®**

##### **12.2.3.1 Klorofyllindeks**

I alle sortane vart det ein nedgang i klorofyllindeks mellom forsøksstart og hausting (Figur 27). Sidan absorpsjonsspekteret til klorofyll delvis overlappar raud klorofyllfluorescens, vil fluorescensen (680 nm) sendt ut frå klorofyllmolekyla verta delvis absorbert på nytt før det vert registrert av sensoren (Ramos & Lagorio 2006). Mengda av re-absorpsjon er direkte relatert til klorofyllkonsentrasjonen. Mørkeraud fluorescens derimot, vert ikkje påverka av re-absorpsjon. Dermed vil klorofyllindeksen

(FRF\_R/RF\_R) verta lågare etter som konsentrasjonen av klorofyll i eplet minkar gjennom modningsutviklinga. Utviklinga av klorofyllindeksen var difor som venta i dei tre sortane.

Det vart registrert enkelte utstabile målingar med Multiplex-3®. Ved analyse av Discovery i veke 7 vart klorofyllindeksen på skuggesida, i enkelte eple, registrert til å vere fleire gongar høgare enn ved noko anna punkt i modningsutviklinga. Det vart ikkje funne avvikande i målingar i nokre av dei andre analysane eller skadar på epla som kan ha ført til endringar i målingane. Multiplex-3® kan oppnå metting dersom forholdet mellom klorofyll og UV-absorberande komponent vert for lite. Det er difor nødvendig med eit visst nivå av klorofyll. Discovery såg ut til å ha ei større endring i klorofyllinnhald under modning og eit lågare nivå ved hausting, ut i frå målingar gjort med VIS/NIR-spektroskopi, enn både Aroma og Summerred. Det er mogeleg at klorofyllinnhaldet i Discovery ved hausting var på grensa til kva Multiplex-3® klarar å måle.

I Summerred vart det registeret noko lågare klorofyllindeksar enn venta i veke 3. Dette kan kome av at Summerred er ein sort som utviklar ein svært mørk raudfarge som kan forstyrre forholdet mellom klorofyll og pigment og dermed føre til metting av instrumentet. I Summerred var det målingar gjort på solsida som gav avvikande verdiar, medan målingar på skuggesida var som venta. Dette samsvarar med at akkumulasjon av antocyan er ein lysavhengig prosess (Awad et al. 2000; Merzlyak et al. 2002) og det vil dermed vere ein høgare konsentrasjon av antocyan på solsida enn på skuggesida av epla. Dei same avvika for Summerred i veke 3 (solside) vart i tillegg funne i antocyanindeksen og flavonolindeksen. Det er difor truleg at feilen ligg i FRF\_R verdien, sidan den inngår i alle indeksane. Sidan dei unormale målingane berre oppstod på solsida av epla, og berre denne dagen, er det truleg ein målefeil som har ført til denne nedgangen, og ikkje eit reelt lågare innhald av klorofyll.

Klorofyllindeksen var, i dei fleste av analysane gjennom modninga, høgare på solsida enn på skuggesida av epla i Aroma og Summerred. I Discovery var den ingen skilnad i klorofyllindeks på dei to sidene. Den same skilnaden i klorofyllinnhald på ulike sider av epla har vorte funne i eplesortane Jonagold (Kuckenberg et al. 2008) og Zhigulevskoye (Merzlyak et al. 2002) som begge er sortar som utviklar raud dekkfarge. I grøne eplesortar har det vorte funne motsett forhold, der solsida hadde eit lågare klorofyllinnhald enn skuggesida (Kuckenberg et al. 2008; Merzlyak et al. 2002). Skilnaden i fordeling av klorofyll på solsida og skuggesida mellom raude og grøne eplesortar kan forklarast av raskare nedbryting av klorofyll på den sida av eplet som vert eksponert for sollys i grøne eple. I raude eple vernar antocyan klorofyllmolekyla ved å absorbere delar av den overflødige lysinnstrålinga. Klorofyllert vert dermed saktare brote ned (Merzlyak & Chivkunova 2000). Eit høgare klorofyllinnhald på solsida enn på skuggesida av eplet i raude sortar er i tillegg naudsynt for tilstrekkeleg fotosyntese under antocyan som minkar mengda av fotosyntetisk aktiv stråling som når kloroplastane (Merzlyak et al. 2002).



Potensialet for indirekte samanhengar mellom klorofyllindeksen målt av Multiplex-3® og andre kvalitetar i epla under modning, var vurdert ved Pearsons korrelasjonskoeffisient (Tabell 12). Klorofyllindeks i Aroma hadde ein relativt god korrelasjon med fastleik (0.82) og streif-indeks (0.81), og i Discovery med oppløyst tørrstoff (-0.80). Dei beste korrelasjonane for klorofyllindeksen og andre parameter for modningsutvikling vart oppnådd ved å bruke gjennomsnittet av målingar frå dei to sidene per eple. Det var likevel liten skilnad i korrelasjonane om det vart brukt gjennomsnittsmålingane eller måling frå solside og solsida gav betydeleg betre korrelasjonar enn skuggesida. Om ein berre skal bruka ei side til analysar er det difor ut i frå desse resultatane best å bruke solsida av epla. Desse skilnadane i kva side analysane vert gjennomført er viktig å ta omsyn til i modellar for modningsutvikling basert på pigmentendringar.

Eit viktig poeng er at eventuelle samanhengar mellom klorofyllindeks og andre analysar berre er indirekte samanhengar. Grunnfarge er den einaste av analysane som har ein direkte samanheng med klorofyllindeksen.

$I_{AD}$  og klorofyllindeksen måler begge klorofyll, men ved bruk av ulike teknikkar. Det vart funne ein eksponentiell samanheng mellom klorofyllindeks og  $I_{AD}$  (Figur 28). Betemps et al. (2012) undersøkte både DA-meteret og Multiplex-3 si evne til å måle klorofyllinnhaldet i eplesortane Fuji, Granny Smith og Golden Delicious. Dei konkludert med at klorofyllindeksen såg ut til å vere meir nøyaktig for estimering av klorofyllinnhald i eple enn  $I_{AD}$ . I tillegg såg  $I_{AD}$  ut til å bli metta ved ein klorofyllkonsentrasjon på  $6\mu\text{g cm}^{-2}$ . Dei fann ein eksponentiell samanheng mellom klorofyllinnhald ( $\mu\text{g cm}^{-2}$ ) og  $I_{AD}$ , medan det var ein lineær samanheng mellom klorofyllinnhald ( $\mu\text{g cm}^{-2}$ ) og klorofyllindeksen. Dette kan forklare den eksponentielle samanhengen som vart funne mellom  $I_{AD}$  og klorofyllindeksen i dette forsøket. I tillegg kan  $I_{AD}$ , som tidlegare skildra, verta påverka av innhald av andre komponent som absorberer ved dei same bølgjelengdene. Betemps et al. (2012) fann at to eple med same klorofyllinnhald kunne ha ulike  $I_{AD}$ , men fann ikkje den same sortsavhengige skilnaden i klorofyllindeksen.

### **12.2.3.2 Antocyanindeks**

Alle sortane hadde ein auke i antocyanindeksen mellom forsøksstart og hausting, men denne auken kom ikkje før dei to siste vekene for dei respektive sortane. Antocyanproduksjonen i eple har to hovudtoppar: (1) ein første topp under celledelingsfasen i epla; (2) ein andre topp som fell saman med modninga av raude sortar. Desse toppane oppstår som følge av indre faktorar, men det er ytre faktorar som påverkar konsentrasjonen. Til dømes er lystilgang, lyskvalitet og temperatur (spesielt skilnaden mellom dag- og nattemperaturar) viktige faktorar (Saure 1990). Nedgang i antocyanindeksen i Aroma dei to første vekene kan skuldast den første toppen i antocyanproduksjon, følgd av at cellevolumet i epla auka og konsentrasjonen av antocyan dermed vart lågare før produksjonen av antocyan på nytt auke mot den andre toppen. Awad et al. (2001a) fann ein nedgang i antocyan i eplesortane Elstar og Jonagold om lag midt i sesongen før konsentrasjonen auka raskt kort tid før modning.

Med aukande konsentrasjon av antocyan i epleskalet vart ein større del av det grønne lyset absorbert av antocyanpigmenta, medan mengda raudt lys som nådde klorofyllmolekyla ikkje vart endra. Difor, i samsvar med definisjonen, auka antocyanindeksen proporsjonalt med innhaldet av antocyan. Betemps et al. (2012) fann ein samanheng mellom antocyaninnhald, målt destruktivt, og antocyanindeksen målt med Multiplex-3® på  $r^2$  0.73 i eplesorten Fuji. Hagen et al. (2006) fann ein lineær samanheng mellom innhald av antocyan i Aroma (mg/100g fv) og relativ absorpsjon av blått lys ( $\log[F(R)/F(B)]$ ) på  $r^2$  0.89.

Det var ein signifikant skilnad i antocyanindeks på solsida og skuggesida av epla, der solsida alltid hadde ein høgare indeks enn skuggesida. Dette var venta i og med at solsida i dette forsøket var definert som sida med mest raudfarge og skuggesida som sida med minst, eller ingen, raudfarge. Når eple vert utsett for sollys vert det indusert transkripsjon av fleire gen som trengst for syntese av antocyan (Tako et al. 2006). Den lysavhengige akkumulasjonen av antocyan i eple er ein godt dokumentert prosess (Awad et al. 2000; Merzlyak et al. 2002; Saure 1990; Siegelman & Hendricks 1958). Dette viser at Multiplex-3® er sensitiv nok til å måle desse skilnadane i antocyan på solside og skuggeside i epla. Betemps et al. (2012) fann at eple med grønt skal, som ikkje dannar antocyan, hadde antocyanindeksar rundt 0.70-0.75. Det var foreslått at denne verdien representerte eit startpunkt som skuldast skilnaden i lysintensiteten mellom det grønne og det raude eksitasjonslyset og skilnaden i absorpsjon av grønt og raudt lyst i klorofyllmolekyla. I dette forsøket vart det ikkje analysert antocyanfrie sortar, men det vart heller ikkje observert denne nedre grensa. Faktisk, så var det få av analysane som hadde ein antocyanindeks over 0.70 og det vart registrert negative verdiar for antocyanindeksen ved fleire av analysedagane. Desse negative verdiane vart alltid målt på skuggesida av epla, med eitt unntak i veke 3 der det òg vart registrert negative verdiar på solsida av Summerred. Antocyanindeksen vert negativ når FRF\_G vert større enn FRF\_R. Dette kan kome av at det er svært lite antocyan, at det er lite klorofyll eller ein kombinasjon av desse to faktorane. På skuggesida av epla er det som oftast svært låge konsentrasjonar av antocyan og dette kan vere årsaka til dei negative verdiane. Ved eit lågt innhald av antocyan vert lite eller ingenting av det grønne lyset absorbert før det når klorofyll molekyla. Klorofyllfluorescensen vil dermed verta tilsvarande høg.

Hagen et al. (2006) observert ikkje metting av antocyanindeksen (ikkje målt med Multiplex-3®). Det vart foreslått at dette kom av at dei bruke blått lys (470nm) til eksitering av klorofyllmolekyla, i staden for grønt lys (515 nm) som vert brukt i Multiplex-3®. Då blått lys ikkje er absorpsjonsmaksimum for antocyan kan frukta innehalde ein høgare konsentrasjon før metting. Multiplex-3® måler antocyanindeksen ved grønt lyst (515nm) som er absorpsjonsmaksimum for antocyan. Dette kan ha ført til ustabile verdiar på Summerred, som utviklar ein sterk raudfarge.

### **12.2.3.3 Flavonolindeks**

Det var ingen endring i flavonolindeksen gjennom modninga i Aroma og Summerred, medan det i Discovery var ein nedgang (Figur 31). Awad et al. (2001a) undersøkte endringa i flavonolinnhald i skalet på eplesortane Elstart og Jonagold, og fann at raten for akkumulasjon av flavonol var høgast tidleg i

sesongen og deretter flata ut (men stoppa ikkje) etter som epla vaks. Det vart ikkje sett den same utviklinga i dette forsøket. Forholdet mellom raten av akkumulasjonen av flavonol og vekst av fruktene kan ha ført til ein konstant konsentrasjon av flavonol i Summerred og Aroma og ein nedgang i Discovery gjennom modningsutviklinga.

Flavonolindeksen indeksen var signifikant høgare på solsida av epla enn på skuggesida. Dette stemmer med tidlegare forsøk (Merzlyak et al. 2002; Merzlyak et al. 2005). Høgare konsentrasjon av flavonol på solsida enn på skuggesida av eple vert forklart av dei mange funksjonane desse komponentane har for vern mot sollys. I blad er det funne at flavonol ikkje berre beskyttar indre vev ved å delvis sila ut UV-strålinga frå sollys, men òg ved å fungera som ein antioksidant som kan handtera oksidativt stress indusert av sollys (Awad et al. 2000; Awad et al. 2001b).

Merzlyak et al. (2005) foreslo ein ikkje-destruktiv metode for estimering av flavonolinnhald i eple basert på refleksjon-spektroskopi. Denne metoden viste seg å ikkje vera gyldig i eplesortar som dannar antocyan, og Hagen et al. (2006) fann ingen korrelasjon mellom flavonolkonsentrasjon i Aroma og estimert innhald av flavonol med refleksjon-spektroskopi. Refleksjon-spektroskopi i UV-spekteret er komplisert av eit lågt nivå av signal grunna mange absorberande komponent og av signifikant spreing av stråling ved kutikula i eplet (Solovchenko & Schmitz-Eiberger 2003). Difor kan teknikken med eksitasjon av klorofyll fluorescens, brukt i Multiplex-3, vere fordelaktig i vurdering av flavonolinnhald samanlikna med refleksjon-spektroskopi (Betemps et al. 2012). Hagen et al. (2006) viste at flavonol lokalisert i epidermis og ytre celler i epleskal kan delvis dempa UV-stråling før strålinga når kloroplast i parenchyma-cellene, og gjer dermed teknikken med eksitasjon av klorofyll fluorescens ved ulike bølgjelengder gyldig for estimering av flavonoli epidermis i eple. Betemps et al. (2012) fann ein samanheng mellom flavonolinnhald målt destruktivt og flavonolindeksen målt med Multiplex-3® på  $r^2$  0.85 i eplesorten Fuji.

#### **12.2.3.4 Kan Multiplex-3® brukast til å følgje modningsutviklinga?**

For fastsetjing av optimalt haustetidspunkt er det truleg berre klorofyllindeksen av indeksane målt av Multiplex-3® som til praktisk nytte. Det er allereie godt kjend at klorofyllinnhald er eit godt alternativ til å følgje modningsutviklinga i eple. Ved optimalt haustetidspunkt i dette forsøket (basert på tilrådingar for sukker, stive, fastleik og streif, med hovudfokus på stive) låg klorofyllindeksen rundt 0.30 i Discovery, 0.50 i Summerred og 0.55 i Aroma. Trass i at andre forsøk har vist ein betre samanheng mellom klorofyllinnhald og indeks ved bruk av fluorescens enn spektroskopi (Betemps et al. 2012), er klorofyllindeksen i dette forsøket oppfatta som meir ustabil enn  $I_{AD}$ , særleg ved bruk på Summerred som dannar ein mørk raudfarge. Klorofyllindeksen har derimot ikkje vore funne å vera sortsspesifikk i forsøk der det er analysert faktisk klorofyllinnhald mot klorofyllindeksen. Eple med same klorofyllinnhald kan ha ulik  $I_{AD}$ , men klorofyllindeksen er lik (Betemps et al. 2012).

Indeksane for antocyan og flavonol er truleg til liten nytte i fastsetjing av haustetidspunkt. Flavonolindeksen viste ingen endring gjennom modning medan auka i antocyan kom relativt seint. Det kan tenkast at desse indeksane kan vere eit hjelpemiddel i vurdering av kvalitet. Det har til no ikkje vore mogeleg å måle flavonolinnhald med refleksjon-spektroskopi på eple som vert raude, og klorofyll-fluorescens kan vere eit godt alternativ til ein ikkje-destruktiv metode for dette.

## **12.3 LAGRING**

### **12.3.1 VIS/NIR-Spektroskopi**

Målet var å bruke VIS/NIR-instrumentet til å sortere eple etter estimert stiveinnhald. Dette vart gjort for Discovery og Summerred, medan Aroma vart sortert på eit estimert innhald av oppløyst tørrstoff. Årsaka til at dette, var at det såg ut til at modellen for stive i Aroma var ein indirekte modell for sukker. Sukker- og stiveinnhald har ein tett samanheng i eple, då stive vert brote ned til sukkerartar under modning. Når to komponentar endrar seg i takt, slik som sukker og stive, kan begge modellane vere basert på den eine komponenten.

Kalibreringsmodellane vart generelt betre når målingane var basert på solsida i forhold til skuggesida. Dette var spesielt tydeleg i modellane for oppløyst tørrstoff (Tabell 15). Grunnen til denne skilnaden kan ligge i korleis komponenten som vert analysert er fordelt i epla. I tilfellet med oppløyst tørrstoff kan det ha vore ein større variasjon i sukkerinnhald på solsida enn skuggesida av epla, og dermed ein større variasjon i spektra frå denne sida. Referansemålingane for sukker vart gjort ved å blande ein dråpe saft frå solsida og ein dråpe frå skuggesida, det kan då hende at spektra frå solsida av epla viste den totale variasjonen betre enn spektra frå skuggesida. Ein meir nøyaktig metode hadde vore å analysert innhald av oppløyst tørrstoff på dei to sidene separat. Modellane for oppløyst tørrstoff (solside) hadde alle RPD over 2 (Summerred: 1.98) som i utgangspunktet bør vere bra nok til å sortere epla etter høgt og lågt sukkerinnhald.

#### ***12.3.1.1 Lagringskvalitet av ulike modningsgrader***

##### *12.3.1.1.1 Vekttap*

Det var få skilnadar i vekttap mellom sorteringsgruppene etter lagring. I Summerred og Aroma var det ingen skilnadar, medan det i Discovery var eit høgare vekttap i epla med lågast stivetal etter lagring ved 1°C. Det er godt kjent at tidleg hausta eple tapar vatn raskare og er meir utsett for skrumping enn eple hausta ved optimalt haustetidspunkt (Fidler et al. 1973; Tromp et al. 2005).

##### *12.3.1.1.2 Lagringsskadar*

###### *12.3.1.1.2.1 Røte*

Det var ingen signifikante skilnadar i utvikling av røte mellom sorteringsgruppene i nokon av sortane. I Aroma hadde epla med det høgaste sukkerinnhaldet i gjennomsnitt mest røte, men i Discovery og Summerred var det ikkje mogeleg å sjå nokon trendar. Det er kjent at godt modna eple utviklar meir røte

på lager enn mindre modna eple (Fidler et al. 1973; Tromp et al. 2005), sidan mindre mogne eple har eit fastare fruktkjøtt som er mindre utsett for røte (Ahmadi-Afzadi et al. 2013). Forsøk på lagring av ulike modningsgrader av eple har vist både ingen skilnad og den venta skilnaden i utviklinga av røte mellom modningsgradene (Gualanduzzi et al. 2004; Neri et al. 2004). Modellane som vart brukt til sortering av Discovery og Summerred var ikkje så gode som ønska. Dette kan ha ført til stor overlapping av modningsgrad i sorteringsgruppene, som igjen vil føra til lite skilnadar der det elles er venta ulikheiter. I tillegg var det lite utvikling av røte totalt. Små mengder kan føre til at dei eventuelle skilnadane ikkje kjem fram.

#### **12.3.1.1.2.2 Fysiologisk skade**

Aroma var den einaste av eplesortane der det var signifikant skilnad i utvikling av fysiologisk skade under lagring. Epla med høgast sukkerinnhald utvikla mest fysiologisk skade, der blaut kjøleskade var hovudårsaka til skaden. Tidleg hausta eple utviklar ofte meir skåld enn eple hausta seinare, medan eple hausta seint oftare utviklar skadar som indre samanbrot eller alderssamanbrot (Drake et al. 2002; Gualanduzzi et al. 2004; Neri et al. 2004). Aroma med høgt sukkerinnhald var i tillegg signifikant større (tyngre) enn Aroma med lågt sukkerinnhald. Større eple har vist seg å vere meir utsett for fysiologisk skade enn mindre eple og kan difor ha bidrege til den observerte skilnaden (Lee et al. 2013). I tillegg er det er mange faktorar som har innverknad på fysiologisk skade i eple, forutan modningsgrad. Posisjonen til eplet på treet og temperaturhistorien til eplet er to av dei viktigaste faktorane (Ferguson et al. 1999).

#### **12.3.1.1.3 Kvalitetsanalysar**

Gjennom heile lagringsperioden var det eit ulikt innhald av oppløyst tørrstoff i sorteringsgruppene for alle sortane. At det var signifikant skilnad mellom sorteringsgruppene i Aroma tyder på at modellen var god og at sorteringa var vellukka. I Discovery og Summerred var det høgast sukkerinnhald etter lagring i epla estimert til lågast stivetal. Dette kan kome av omdanninga av stive til sukker under lagring. Epla med mest stive ved lagringsstart har eit større potensial for danning av meir sukkerartar under lagring enn eple med minst stive.

Det var ingen av analysane for klorofyllinnhald (grunnfarge, klorofyllindeks og  $I_{AD}$ ) som viste skilnadar mellom sorteringsgruppene i Summerred og Discovery etter lagring. At det var generelt lite skilnadar mellom sorteringsgruppene av Summerred og Discovery kan indikera at modellane som vart brukt til sortering ikkje var gode nok til å sortere epla i to grupper. Dette gjaldt nok spesielt Discovery, som etter hausting vart lagra i nesten 3 veker før epla vart sortert. På lager endrar den kjemiske samansetjinga i epla seg og modellen var truleg mindre god enn ved hausting. Dette kom i tillegg fram i det motsette forholdet mellom stive og  $I_{AD}$  enn venta i startprøvane for Discovery (*Tabell 17*). Eple med høge stivetal er mest modne og er venta å ha ein lågare  $I_{AD}$  enn eple med lågare stivetal, men dette forholdet var omvendt i sorteringsgruppene av Discovery.

Sorteringsgruppene av Aroma var derimot ulike i både klorofyllindeks og  $I_{AD}$  ved lagringsstart (høgast indeks i epla med mest sukker), men viste ingen skilnad i grunnfarge. Skilnaden i dei ikkje-destruktive målemetodane varte gjennom heile lagringsperioden. Dette kan kome av at modellen for sukkerinnhald i Aroma var betre enn modellane for stiveinnhald i Summerred og Discovery. Dermed kan skiljet i modningsgrad mellom sorteringsgruppene ha vore tydelegare i Aroma enn i dei to andre eplesortane.

Ved lagringsstart var det eit høgare stivetal i Aroma som var estimert til lågast sukkerinnhald. Under modning vert stive omdanna til sukker, og dermed skal det vera eit høgt sukkerinnhald i eple med eit høgt stivetal. Dette treng ikkje skuldast ein dårleg sortering av instrumentet då det i kalibreringssettet for Aroma vart funne ein negativ samanheng mellom sukkerinnhald og stivetal. Årsaka til dette «omvendte» forholdet mellom sukker- og stiveinnhald kan kome av at Aroma var hausta noko seint i forhold til tilrådingane. Dersom epla heng på trea for lenge kan epla bruke sukkerartane som substrat i respirasjonen.

## **12.3.2 VIS-spektroskopi**

### **12.3.2.1 Vekttap**

I Discovery og Aroma hadde dei mest modne epla (lågast  $I_{AD}$ ) eit høgare vekttap etter lagring enn dei minst modne epla (høgast  $I_{AD}$ ). Denne skilnaden i vekttap var berre synleg etter lagring ved 4°C. Lagring ved 1°C gav ingen skilnadar i vekttap mellom dei to modningsgradene. I teorien vil eple hausta for tidleg ha eit raskare tap i vassinnhald, og vera meir utsett for skrumping, enn eple hausta ved optimalt haustetidspunkt (Fidler et al. 1973; Kader 1997). Årsaka til den omvendte skilnaden i vekttap mellom modningsgraden som vart observert her, kan kome av respirasjonsraten ved lagringsstart. Dersom dei minst modne epla var rett før klimakteriet i utviklinga vil dei mest modna epla ha hatt ein høgare respirasjonsrate ved lagringsstart og dermed ha eit større vekttap under lagring (Figur 4). Spennet i dei hausta epla vil vere med på å bestemme om det er dei mest eller minst modna epla som har den høgaste respirasjonen, og dermed høgast vekttap. Dette er likevel berre gjetting då det ikkje vart gjennomført analysar som kan sei noko om frukta var i klimakteriet.

I Summerred var det ingen skilnad i vekttap mellom sorteringsgruppene etter lagring uansett lagringstemperatur. Dette kan kome av lite spenn i dei hausta epla, slik at skilnaden mellom sorteringsgruppene var liten. Det kan òg vere ein eigenskap ved sorten, då ulike sortar har ikkje alltid same metabolske aktivitet ved same temperatur (Tromp et al. 2005).

Temperatur er hovudfaktoren som påverkar respirasjon og vekttapet ved 1°C kan dermed ha vore for lite til å sjå skilnadar mellom modningsgradene. Vekttap kjem av transpirasjon og respirasjon under lagring. Ved låge temperaturar vert respirerer epla mindre. I tillegg vil skilnaden i luftfukt vere større ved høge enn ved låge temperaturar, slik at transpirasjon vert mindre ved lågare temperaturar. Det var generelt eit lite vekttap frå epla i dette forsøket, då det først ved 6% vekttap at eple er synleg skrumpa (Tromp et al. 2005).

### **12.3.2.2 Lagringsskadar**

#### 12.3.2.2.1 Røte

Det var generelt svært små skilnadar i utvikling av lagringsskadar mellom dei ulike modningsgradene. I Summerred var det ein tendens til at epla med lågast  $I_{AD}$  utvikla meir røte, men i Aroma og Discovery var det ingen skilnad i røte mellom ulike modningsgradene. Vangdal et al. (2014) fann det same resultatet (ingen skilnad) etter lagring av tre ulike modningsgrader av Aroma ved 3°C. Andre forsøk har derimot funne at Aroma og Discovery med ein låg  $I_{AD}$  utvikla meir røte skade enn med høg  $I_{AD}$ , (Knutsen et al. 2013; Tahir 2016). Meir modne eple er meir utsett for røte på lager då celleveggen vert brote ned under modning og eit fastare fruktkjøt er mindre utsett for røte (Ahmadi-Afzadi et al. 2013). Grunnen til at denne skilnaden ikkje oppstod i Aroma og Discovery kan kome av at det var utvikla for lite røte i fruktene til at det var mogeleg å sjå skilnadar. I tillegg har ulike sortar ulik motstandsevne mot utvikling av røtesopp (Ahmadi-Afzadi et al. 2013).

#### 12.3.2.2.2 Fysiologisk skade

I Discovery og Aroma var det ein trend i at epla med lågast  $I_{AD}$  utvikla mest fysiologisk skade. Tidlegare forsøk har vist at eple som har ein låg  $I_{AD}$  ved hausting, er meir utsette for skadar som oppstår i epleskalet (td. skåld) på grunn av eit meir modent skal (DeLong et al. 2014; Toivonen et al. 2012). I Discovery kom hovuddelen av fysiologisk skade av alderssamanbrot og blaut kjøleskade, medan i Aroma var det blaut kjøleskade åleine som utgjorde størstedelen i den fysiologiske skaden. Det er tidelegare vist at mindre moden Aroma (høg  $I_{AD}$ ) ofte utviklar meir blaut kjøleskade enn meir moden Aroma (Vangdal et al. 2014). Både eple som vert hausta for tidleg og eple som vert hausta for seint i sesongen er meir utsett for fysiologiske skadar etter hausting enn eple som vert hausta ved optimal modningsgrad (Kader 1997).

I Summerred var det ingen signifikant skilnad i fysiologisk skade mellom modningsgradene, men det var mogeleg å sjå den same trenden som i Discovery og Aroma. Grunnen til mindre skilnadar kan vere mindre fysiologisk skade totalt, slik at det ikkje var mogeleg å sjå skilnadar. Enkelte sortar er i tillegg meir utsette for fysiologiske skadar enn andre sortar (Ferguson et al. 1999).

### **12.3.2.3 Kvalitetsanalysar**

Etter sortering med DA-meteret var sorteringsgruppene for alle sortane ulike i alle analysar som seier noko om klorofyllinnhald i epleskalet ( $I_{AD}$ , klorofyllindeks, grunnfarge). Denne skilnaden haldt seg gjennom heile lagringsperioden. Ved tilsvarande studiar der eple har vorte sortert i ulike modningsgrader basert på  $I_{AD}$ , har den same skilnaden i analyser for klorofyllinnhald vorte registrert etter kjølelagring (Knutsen et al. 2013; Vangdal et al. 2014). Dette indikerer at sorteringa med DA-meteret som måler klorofyllinnhaldet er god nok til at andre analysemetodar for det same klarar å registrere skilnaden i gruppene.

Dekkfarge og antocyanindeks er begge analysar som seier noko om raudefarge på epla. Analysane viste ulike resultat for dei tre eplesortane: I Discovery hadde gruppene med lågast  $I_{AD}$ , mest dekkfarge og

høgast antocyanindeks ved lagringsstart og gjennom lagringsperioden. I Summerred var det ingen skilnad i dekkfarge mellom sorteringsgruppene ved lagringsstart. Gjennom lagringsperioden var det epla med lågast  $I_{AD}$  som hadde minst dekkfarge, men høgast antocyanindeks. I Aroma var det ingen skilnad i dekkfarge mellom sorteringsgruppene, verken ved lagringsstart eller etter lagring. I tilsvarande forsøk der eple har vorte sortert i ulike modningsgrader med DA-meteret før lagring, har det vorte funne skilnadar i dekkfarge mellom sorteringsgruppene i Aroma (Knutsen et al. 2013; Vangdal et al. 2014). Ein låg  $I_{AD}$  indikerer eit meir modent eple og er venta å ha meir dekkfarge enn mindre modne eple. Likevel er det mange faktorar, utanom modningsgrad, som påverkar danning av raudfarge i eple. Lystilgang, lyskvalitet og temperatur (spesielt skilnaden mellom dag- og nattemperaturar) er viktige faktorar i danning av antocyan og dermed raudfarge i epleskalet. I tillegg kan tal på blad per frukt og tilgang på sukker og næringsstoff så vel som dyrkingspraksis påverka pigmentinnhaldet i epleskalet (Saure 1990). Dette kan forklara at Summerred og Discovery har motsett samanheng mellom dekkfarge og  $I_{AD}$ . Derimot var antocyanindeksen målt med Multiplex-3® ulik i sorteringsgruppene ved lagringsstart i alle sortane, der antocyanindeksen var høgare i epla med lågast  $I_{AD}$ . Denne trenden var tydeleg gjennom lagringsperioden. Alle sortane viste det same forholdet mellom  $I_{AD}$  og Anth-indeks, der lågare  $I_{AD}$  gav høgare Anth-indeks. Altså vart det ikkje funne det same omvendte forholdet mellom Discovery og Summerred, slik som i analysane av dekkfarge. Dekkfarge og antocyanindeks er begge mål på raudfarge på eple, men har nokre ulikheiter: Dekkfarge seier noko om kor stor del av overflata på epla som er dekkja av raudfarge, medan antocyanindeksen er eit gjennomsnitt av to målingar per eple i eit avgrensa område (solside og skuggeside) som seier noko om mengda antocyan i skalet.

Det var berre Aroma som hadde ulik fastleik i sorteringsgruppene ved lagringsstart. Epla med lågast  $I_{AD}$  hadde òg lågast fastleik. Dette samsvarar med at ein låg  $I_{AD}$  indikerer eit meir modent eple og dermed ein lågare fastleik. Etter lagring var det derimot ingen skilnad i fastleik mellom sorteringsgruppene. Kor lenge epla hadde vorte lagra var ein viktigare faktor for fastleik i Aroma, enn modningsgrad ved lagringsstart. Ved uttak av Summerred frå kjølelager hadde epla med høgast  $I_{AD}$  ein høgare fastleik ved dei første uttaka. Ved lengre lagring vart skilnaden i fastleik mellom sorteringsgruppene i Summerred vekke. I Discovery var det ingen skilnad i fastleik mellom sorteringsgruppene verken ved lagringsstart eller etter lagring. Fastleik i ein eplesort er ein eigenskap som ikkje berre er avhengig av modningsgrad, men som varierer med fleire faktorar, som temperatur, jordfukt, næring og eksponering til sollys, og er difor ikkje eit særleg godt mål på modningsgrad (Sams 1999). Dette kan vere grunnen til det varierende forholdet mellom  $I_{AD}$  og fastleik. Likevel er fastleik eitt av dei viktigaste krava for kunden når epla er i butikk og det er difor ein viktig eigenskap. Dette tyder på at sortering med DA-meter før lagring til eit viss grad kan gi fordelar i form av høgare fastleik etter lagring.

Det var skilnad i vekt mellom sorteringsgruppene av Aroma i tillegg til fastleik, der dei små epla ( $I_{AD} > 1.35$ ) hadde høgast fastleik. Det er generelt akseptert at store frukter er mindre faste enn små frukter, sidan små frukter generelt har meir cellevegg-material per volum. Studiar på dette området er ikkje sikre



på om denne skilnaden kjem av at eple av ulik storleik hadde ulikt celletal og cellestorleik, eller om skilnaden kom av fysiologiske skilnadar som følgje av ulik modningsgrad (Johnston et al. 2002).

I alle sortane var det ein signifikant skilnad i oppløyst tørrstoff mellom sorteringsgruppene ved lagringsstart, der epla med lågast  $I_{AD}$  hadde høgast innhald av oppløyst tørrstoff. Denne skilnaden mellom sorteringsgruppene var lik etter lagring for alle sortane. Ved lagring ved 1°C forsvann denne skilnaden i Discovery etter 12 veker og i Summerred etter 8 veker. Knutsen et al. (2013) fann derimot ingen skilnad i oppløyst tørrstoff mellom ulike grupper av Aroma sortert med DA-meteret.

## 13 KONKLUSJON

---

I dette forsøket vart det undersøkt mogelegheita for å følgje modningsutvikling, fastsetje haustetidspunkt og sortere eple i ulike modningsgrader ved hjelp av ikkje-destruktive målemetodar.

$I_{AD}$  ( $A_{670}$ - $A_{720}$ ) kan brukast til å følgje endring klorofyllinnhald gjennom modningsutvikling. Indeksen viste ei sigmoid utvikling i modning, og i to av tre sortar fall vendepunktet saman med optimalt haustetidspunkt. Dersom denne utviklinga er einsarta over sesongar og regionar, kan  $I_{AD}$  og vendepunkt brukast til å estimere haustetidspunkt. Om det er mogeleg å estimere korrekt vendepunktet ut i frå målingar tideleg i sesongen, vil DA-meteret vere eit nyttig hjelpemiddel i praksis. Dette er ikkje undersøkt her, og bør arbeidast vidare med.

Multiplex-3® kan brukast til å følgje endring i klorofyllinnhald gjennom modning, samt måle indeksar for antocyan- og flavonolinnhald. Klorofyllindeksen målt med Multiplex-3® viste ei lineær utvikling i modning. Dersom klorofyllinnhaldet er det same ved optimalt haustetidspunkt over sesongar, kan Multiplex-3 brukast til å estimere haustetidspunkt. Klorofyllindeksen viste ustabile verdiar ved lågt klorofyllinnhald og er difor ikkje eit godt alternativ i sortar der klorofyllinnhaldet vert svært lågt gjennom modninga. Indeksar for antocyan- og flavonolinnhald har ikkje vist seg å vere til praktisk nytte i måling av modningsgrad, men kan vere eit supplement for vurdering av kvalitet.

NIR-spektroskopi kan brukast til å følgje utviklinga av oppløyst tørrstoff, samt måle  $I_{AD}$  gjennom modningsutviklinga. Det var ikkje mogeleg å følgje modningsutvikling gjennom stiveinnhald, fastleik og grunnfarge ved bruk av VIS/NIR-spektroskopi.

Både  $I_{AD}$  og NIR-spektroskopi kan brukast til sortering av haustemodne eple i ulike modningsgrader. Sortering på estimert innhald av oppløyst tørrstoff og  $I_{AD}$  gav signifikante skilnadar i utviklinga av røte og fysiologisk skade under lagring. Epla målt til å vere minst modne utvikla mindre skade enn epla målt til å vere mest modne. Sortering på estimert stiveinnhald var ikkje mogeleg på grunn av eit lågt stiveinnhald i epla.

## 14 LITTERATURLISTE

---

- Abbott, J. A. (1999). Quality measurement of fruits and vegetables. *Postharvest Biology and Technology*, 15 (3): 207-225.
- Agati, G., Pinelli, P., Cortés Ebner, S., Romani, A., Cartelat, A. & Cerovic, Z. G. (2005). Nondestructive evaluation of anthocyanins in olive (*Olea europaea*) fruits by in situ chlorophyll fluorescence spectroscopy. *Journal of agricultural and food chemistry*, 53 (5): 1354-1363.
- Agati, G., Meyer, S., Matteini, P. & Cerovic, Z. G. (2007). Assessment of anthocyanins in grape (*Vitis vinifera* L.) berries using a noninvasive chlorophyll fluorescence method. *Journal of agricultural and food chemistry*, 55 (4): 1053-1061.
- Ahmadi-Afzadi, M., Tahir, I. & Nybom, H. (2013). Impact of harvesting time and fruit firmness on the tolerance to fungal storage diseases in an apple germplasm collection. *Postharvest Biology and Technology*, 82: 51-58.
- Awad, M. A., de Jager, A. & van Westing, L. M. (2000). Flavonoid and chlorogenic acid levels in apple fruit: characterisation of variation. *Scientia Horticulturae*, 83 (3): 249-263.
- Awad, M. A., de Jager, A., van der Plas, L. H. & van der Krol, A. R. (2001a). Flavonoid and chlorogenic acid changes in skin of 'Elstar' and 'Jonagold' apples during development and ripening. *Scientia Horticulturae*, 90 (1): 69-83.
- Awad, M. A., Wagenmakers, P. S. & de Jager, A. (2001b). Effects of light on flavonoid and chlorogenic acid levels in the skin of 'Jonagold' apples. *Scientia Horticulturae*, 88 (4): 289-298.
- Bengtsson, G. B., Schöner, R., Lombardo, E., Schöner, J., Borge, G. I. A. & Bilger, W. (2006). Chlorophyll fluorescence for non-destructive measurement of flavonoids in broccoli. *Postharvest biology and technology*, 39 (3): 291-298.
- Bertone, E., Gerace, T., Calderara, M., Giuggioli, N., Venturello, A. & Geobaldo, F. (2011). Monitoring harvesting degree of red Scarlet apples using DR-UV-Vis and NIR spectroscopy.
- Bertone, E., Venturello, A., Leardi, R. & Geobaldo, F. (2012). Prediction of the optimum harvest time of 'Scarlet' apples using DR-UV-Vis and NIR spectroscopy. *Postharvest Biology and Technology*, 69: 15-23.
- Betemps, D. L., Fachinello, J. C., Galarça, S. P., Portela, N. M., Remorini, D., Massai, R. & Agati, G. (2012). Non-destructive evaluation of ripening and quality traits in apples using a multiparametric fluorescence sensor. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 92 (9): 1855-1864.
- Bilger, W., Veit, M., Schreiber, L. & Schreiber, U. (1997). Measurement of leaf epidermal transmittance of UV radiation by chlorophyll fluorescence. *Physiologia plantarum*, 101 (4): 754-763.
- Birth, G. S. (1976). How light interacts with foods.
- Blankenship, S. & Unrath, C. (1987). Use of ethylene production for harvest-date prediction of apples for immediate fresh market. *HortScience (USA)*.
- Blanpied, G. & Silsby, K. J. (1992). Predicting harvest date windows for apples: Cornell Cooperative Extension.
- Bobelyn, E., Serban, A.-S., Nicu, M., Lammertyn, J., Nicolai, B. M. & Saeys, W. (2010). Postharvest quality of apple predicted by NIR-spectroscopy: study of the effect of biological variability on spectra and model performance. *Postharvest biology and technology*, 55 (3): 133-143.
- Boyer, J. & Liu, R. (2004). Apple phytochemicals and their health benefits. *Nutrition journal*, 3 (1): 1.
- Brookfield, P., Murphy, P., Harker, R. & MacRae, E. (1997). Starch degradation and starch pattern indices; interpretation and relationship to maturity. *Postharvest Biology and Technology*, 11 (1): 23-30.
- Carroll, K. (2010). *The electromagnetic spectrum*.
- Cho, Y. J. & Gil, B. (2004). *A quantified index for rapid evaluation of starch content in apples*. Key Engineering Materials: Trans Tech Publ. 1032-1037 s.
- Choi, C. (1998). *Development of apple sorter by soluble solid content using photodiodes*. Proceeding of Winter Conference of KSAM. 362-367 s.
- Clark, C., McGlone, V. & Jordan, R. (2003). Detection of Brownheart in 'Braeburn' apple by transmission NIR spectroscopy. *Postharvest Biology and Technology*, 28 (1): 87-96.

- Costa, G., Noferini, M., Fiori, G. & Torrigiani, P. (2009). Use of Vis/NIR spectroscopy to assess fruit ripening stage and improve management in post-harvest chain. *Fresh Produce*, 1: 35-41.
- Cozzolino, D., Cynkar, W., Shah, N. & Smith, P. (2011). Multivariate data analysis applied to spectroscopy: Potential application to juice and fruit quality. *Food Research International*, 44 (7): 1888-1896.
- Dardenne, P. (2010). Some considerations about NIR spectroscopy: Closing speech at NIR-2009. *NIR news*, 21 (1): 8-14.
- Davies, A. M. C. (2000). *An introduction to near infrared (NIR) spectroscopy*. Tilgjengelig fra: <https://www.impublications.com/content/introduction-near-infrared-nir-spectroscopy>.
- Delgado-Pelayo, R., Gallardo-Guerrero, L. & Hornero-Méndez, D. (2014). Chlorophyll and carotenoid pigments in the peel and flesh of commercial apple fruit varieties. *Food Research International*, 65: 272-281.
- DeLong, J., Prange, R., Harrison, P., Nichols, D. & Wright, H. (2014). Determination of optimal harvest boundaries for Honeycrisp™ fruit using a new chlorophyll meter. *Canadian Journal of Plant Science*, 94 (2): 361-369.
- DeLong, J. M., Prange, R. K., Harrison, P. A., Schofield, R. A. & DeEll, J. R. (1999). Using the Streif Index as a final harvest window for controlled-atmosphere storage of apples. *HortScience*, 34 (7): 1251-1255.
- Dickinson, J. P. & White, A. G. (1986). Red colour distribution in the skin of Gala apple and some of its sports. *New Zealand journal of agricultural research*, 29 (4): 695-698.
- Doerflinger, F. C., Miller, W. B., Nock, J. F. & Watkins, C. B. (2015). Relationships between starch pattern indices and starch concentrations in four apple cultivars. *Postharvest Biology and Technology*, 110: 86-95.
- Drake, S., Elfving, D. & Eisele, T. (2002). Harvest Maturity and Storage Affect Quality of Cripps Pink (Pink Lady®) Apples. *HortTechnology*, 12 (3): 388-391.
- Eidhammer, B. (2015). Fruktlagerinspektøren - Fruktoppgåve for 2015. Grøntprodusentenes samarbeidsråd.
- Ernst, M. K., Matitschka, G., Chatterton, N. J. & Harrison, P. A. (1999). A quantitative histochemical procedure for measurement of starch in apple fruits. *The Histochemical Journal*, 31 (11): 705-710.
- Fearn, T. (2002). Assessing calibrations: Sep, Rpd, Rer and R2. *NIR news*, 13 (6): 12-14.
- Fearn, T. (2005). Chemometrics: an enabling tool for NIR. *NIR news*, 16 (7): 17-19.
- Ferguson, I., Volz, R. & Woolf, A. (1999). Preharvest factors affecting physiological disorders of fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 15 (3): 255-262.
- Fidler, J. C., Wilkinson, B., Edney, K. & Sharples, R. (1973). The biology of apple and pear storage. *Research Review of the Commonwealth Bureau of Horticulture and Plantation Crops* (3).
- Folkestad, A., Wold, J. P., Rørvik, K.-A., Tschudi, J., Haugholt, K. H., Kolstad, K. & Mørkøre, T. (2008). Rapid and non-invasive measurements of fat and pigment concentrations in live and slaughtered Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquaculture*, 280 (1): 129-135.
- Gartnerhallen. (2014). *Årsrapport 2014*. Tilgjengelig fra: [http://gartner.no/menystyring/meny/Info/Gartnerhallen\\_%C3%85rsrap.2014.pdf.pdf](http://gartner.no/menystyring/meny/Info/Gartnerhallen_%C3%85rsrap.2014.pdf.pdf) (lest 15. April).
- Ghozlen, N. B., Cerovic, Z. G., Germain, C., Toutain, S. & Latouche, G. (2010). Non-destructive optical monitoring of grape maturation by proximal sensing. *Sensors*, 10 (11): 10040-10068.
- Golic, M., Walsh, K. & Lawson, P. (2003). Short-wavelength near-infrared spectra of sucrose, glucose, and fructose with respect to sugar concentration and temperature. *Applied spectroscopy*, 57 (2): 139-145.
- Gualanduzzi, S., Neri, F., Brigati, S. & Folchi, A. (2004). *STORAGE OF 'PINK LADY®' APPLES: QUALITY AND BIO-PATHOLOGICAL ASPECTS*. V International Postharvest Symposium 682. 2077-2084 s.
- Hagen, S. F., Solhaug, K. A., Bengtsson, G. B., Borge, G. I. A. & Bilger, W. (2006). Chlorophyll fluorescence as a tool for non-destructive estimation of anthocyanins and total flavonoids in apples. *Postharvest Biology and Technology*, 41 (2): 156-163.
- Haller, M. H. & Smith, E. (1950). *Evaluation of indexes of maturity for apples*, b. 1001: US Dept. of Agriculture.

- Harker, F. R., Kupferman, E. M., Marin, A. B., Gunson, F. A. & Triggs, C. M. (2008). Eating quality standards for apples based on consumer preferences. *Postharvest Biology and Technology*, 50 (1): 70-78.
- Harker, F. R., Redgwell, R. J., Hallett, I. C., Murray, S. H. & Carter, G. (2010). Texture of fresh fruit. *Horticultural Reviews, Volume 20*: 121-224.
- Harris, S. A., Robinson, J. P. & Juniper, B. E. (2002). Genetic clues to the origin of the apple. *TRENDS in Genetics*, 18 (8): 426-430.
- Heiberg, N. (2012). *Sluttrapport - øke omsetning og etterspørsel av norske epler*. Upublisert manuskript.
- Hendry, G. A., Houghton, J. D. & Brown, S. B. (1987). The degradation of chlorophyll—a biological enigma. *New Phytologist*, 107 (2): 255-302.
- Hertog, M. G., Kromhout, D., Aravanis, C., Blackburn, H., Buzina, R., Fidanza, F., Giampaoli, S., Jansen, A., Menotti, A. & Nedeljkovic, S. (1995). Flavonoid intake and long-term risk of coronary heart disease and cancer in the seven countries study. *Archives of Internal Medicine*, 155 (4): 381-386.
- Huang, H., Yu, H., Xu, H. & Ying, Y. (2008). Near infrared spectroscopy for on/in-line monitoring of quality in foods and beverages: A review. *Journal of Food Engineering*, 87 (3): 303-313.
- Husabø, P. (1962). Skildring og vurdering av nokre nyare eplesortar. *Serpent av "Frukt og Bær"*: 23-41.
- Il'iasov, S. & Krasnikov, V. V. (1991). *Physical principles of infrared irradiation of foodstuffs*: Hemisphere Pub. Corp.
- Joffe, M. & Robertson, A. (2001). The potential contribution of increased vegetable and fruit consumption to health gain in the European Union. *Public Health Nutrition*, 4 (04): 893-901.
- Johnston, J. W., Hewett, E. W. & Hertog, M. L. (2002). Postharvest softening of apple (*Malus domestica*) fruit: a review. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 30 (3): 145-160.
- Johnston, J. W., Gunaseelan, K., Pidakala, P., Wang, M. & Schaffer, R. J. (2009). Co-ordination of early and late ripening events in apples is regulated through differential sensitivities to ethylene. *Journal of experimental botany*: erp122.
- Juniper, B., Watkins, R. & Harris, S. (1996). *The origin of the apple*. Eucarpia Symposium on Fruit Breeding and Genetics 484. 27-34 s.
- Kader, A. A. (1997). *Fruit maturity, ripening, and quality relationships*. International Symposium Effect of Pre- & Postharvest factors in Fruit Storage 485. 203-208 s.
- Kidd, F. & West, C. (1925). The course of respiratory activity throughout the life of an apple. *Report of the Food Investigation Board, London, UK, for, 1924*: 27-33.
- Kingston, C. (1992). Maturity indices for apple and pear. *Horticultural Reviews*, 13: 407-432.
- Knee, M. (1972). Anthocyanin, carotenoid, and chlorophyll changes in the peel of Cox's Orange Pippin apples during ripening on and off the tree. *Journal of experimental botany*: 184-196.
- Knutsen, I., Vangdal, E. & Børve, J. (2013). *Effect of Different Maturity (Measured as IAD Index) on Storability of Apples in CA-Bags*. XI International Controlled and Modified Atmosphere Research Conference 1071. 647-650 s.
- Kuckenberg, J., Tartachnyk, I. & Noga, G. (2008). Evaluation of fluorescence and remission techniques for monitoring changes in peel chlorophyll and internal fruit characteristics in sunlit and shaded sides of apple fruit during shelf-life. *Postharvest Biology and Technology*, 48 (2): 231-241.
- Kvåle, A. (1990). *Fruktsortar for yrkesdyrking og småhagedyrking*: Landbruksforlaget.
- Lammertyn, J., Peirs, A., De Baerdemaeker, J. & Nicolai, B. (2000). Light penetration properties of NIR radiation in fruit with respect to non-destructive quality assessment. *Postharvest Biology and Technology*, 18 (2): 121-132.
- Lee, J., Mattheis, J. P. & Rudell, D. R. (2013). Fruit Size Affects Physiological Attributes and Storage Disorders in Cold-stored 'Royal Gala' Apples. *HortScience*, 48 (12): 1518-1524.
- Lin, H. & Ying, Y. (2009). Theory and application of near infrared spectroscopy in assessment of fruit quality: a review. *Sensing and instrumentation for food quality and safety*, 3 (2): 130-141.
- Lu, R., Guyer, D. E. & Beaudry, R. M. (2000). DETERMINATION OF FIRMNESS AND SUGAR CONTENT OF APPLES USING NEAR-INFRARED DIFFUSE REFLECTANCE1. *Journal of Texture Studies*, 31 (6): 615-630.
- Martens, H. & Naes, T. (1992). *Multivariate calibration*: John Wiley & Sons.

- Maxwell, K. & Johnson, G. N. (2000). Chlorophyll fluorescence—a practical guide. *Journal of experimental botany*, 51 (345): 659-668.
- McGlone, V., Abe, H. & Kawano, S. (1997). Kiwifruit firmness by near infrared light scattering. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, 5: 83-90.
- McGlone, V. A. & Kawano, S. (1998). Firmness, dry-matter and soluble-solids assessment of postharvest kiwifruit by NIR spectroscopy. *Postharvest Biology and Technology*, 13 (2): 131-141.
- McGlone, V. A., Jordan, R. B. & Martinsen, P. J. (2002). Vis/NIR estimation at harvest of pre-and post-storage quality indices for 'Royal Gala' apple. *Postharvest Biology and Technology*, 25 (2): 135-144.
- McGlone, V. A. & Martinsen, P. J. (2003). Transmission measurements on intact apples moving at high speed. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, 12 (1): 37-44.
- McGlone, V. A., Martinsen, P. J., Clark, C. J. & Jordan, R. B. (2005). On-line detection of Brownheart in Braeburn apples using near infrared transmission measurements. *Postharvest Biology and Technology*, 37 (2): 142-151.
- Merzlyak, M. N., Gitelson, A. A., Chivkunova, O. B. & Rakitin, V. Y. (1999). Non-destructive optical detection of pigment changes during leaf senescence and fruit ripening. *Physiologia plantarum*, 106 (1): 135-141.
- Merzlyak, M. N. & Chivkunova, O. B. (2000). Light-stress-induced pigment changes and evidence for anthocyanin photoprotection in apples. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 55 (2): 155-163.
- Merzlyak, M. N., Solovchenko, A. E. & Chivkunova, O. B. (2002). Patterns of pigment changes in apple fruits during adaptation to high sunlight and sunscald development. *Plant Physiology and Biochemistry*, 40 (6): 679-684.
- Merzlyak, M. N., Solovchenko, A. E. & Gitelson, A. A. (2003). Reflectance spectral features and non-destructive estimation of chlorophyll, carotenoid and anthocyanin content in apple fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 27 (2): 197-211.
- Merzlyak, M. N., Solovchenko, A. E., Smagin, A. I. & Gitelson, A. A. (2005). Apple flavonols during fruit adaptation to solar radiation: spectral features and technique for non-destructive assessment. *Journal of plant physiology*, 162 (2): 151-160.
- Mir, N., Wendorf, M., Perez, R. & Beaudry, R. M. (1998). Chlorophyll fluorescence in relation to superficial scald development in apple. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 123 (5): 887-892.
- Myren, G. (2010). *Finn rett haustetid for eple*: Norsk Landbruksrådgiving. Tilgjengelig fra: <http://www.nlr.no/fagartikler/7023/> (lest 02.02.2016).
- Naes, T., Isaksson, T., Fearn, T. & Davies, T. (2002). *A user friendly guide to multivariate calibration and classification*: NIR publications.
- Neri, F., Gualanduzzi, S. & Brigati, S. (2004). *EFFECTS OF HARVEST MATURITY ON QUALITY, PHYSIOLOGICAL AND PATHOLOGICAL DISORDERS DURING STORAGE OF ' GALA ' APPLES*. V International Postharvest Symposium 682. 2069-2076 s.
- Nicolai, B. M., Beullens, K., Bobelyn, E., Peirs, A., Saeys, W., Theron, K. I. & Lammertyn, J. (2007). Nondestructive measurement of fruit and vegetable quality by means of NIR spectroscopy: A review. *Postharvest Biology and Technology*, 46 (2): 99-118.
- Norris, K. H. (1964). Design and development of a new moisture meter. *Agric. Eng*, 45 (7): 370-372.
- Norsk fruktrådgjeving Hardanger. (2013). *Etablering av ei fruktplanting, økologiske og konvensjonelle metoder*. Upublisert manuskript.
- Norsk fruktrådgjeving Hardanger. (2015). *Fruktmelding*. Upublisert manuskript.
- Norsk Landbruksrådgiving. *Om oss*. Tilgjengelig fra: <http://www.nlr.no/om-oss/>.
- Nyasordzi, J., Friedman, H., Schmilovitch, Z., Ignat, T., Weksler, A., Rot, I. & Lurie, S. (2013). Utilizing the I AD index to determine internal quality attributes of apples at harvest and after storage. *Postharvest Biology and Technology*, 77: 80-86.
- Peirs, A., Lammertyn, J., Nicolai, B. & De Baerdemaeker, J. (1998). *Non-destructive quality measurements of apples by means of NIR-spectroscopy*. XXV International Horticultural Congress, Part 7: Quality of Horticultural Products 517. 435-440 s.

- Peirs, A., Lammertyn, J., Ooms, K. & Nicolai, B. M. (2001). Prediction of the optimal picking date of different apple cultivars by means of VIS/NIR-spectroscopy. *Postharvest Biology and Technology*, 21 (2): 189-199.
- Peirs, A., Scheerlinck, N., Perez, A. B., Jancsó, P. & Nicolai, B. M. (2002). Uncertainty analysis and modelling of the starch index during apple fruit maturation. *Postharvest biology and technology*, 26 (2): 199-207.
- Peirs, A., Schenk, A. & Nicolai, B. M. (2005). Effect of natural variability among apples on the accuracy of VIS-NIR calibration models for optimal harvest date predictions. *Postharvest Biology and Technology*, 35 (1): 1-13.
- Plant Protection Chemistry New Zealand. (2009). *Chlorophyll Fluorescence*.
- Ramos, M. E. & Lagorio, M. G. (2006). A model considering light reabsorption processes to correct in vivo chlorophyll fluorescence spectra in apples. *Photochemical & Photobiological Sciences*, 5 (5): 508-512.
- Røen, D., Brandsæter, L., Birkenes, S., Jaastad, G., Nes, A., Trandem, N. & Stensvand, A. (2008). *Plantevern og plantehelse i økologisk landbruk*. Bind 4 - Frukt og bær.
- Saltveit, M. E. (2004). Respiratory metabolism. *The commercial storage of fruits, vegetables, and florist and nursery stocks*. *Agriculture Handbook*, 66.
- Sams, C. E. (1999). Preharvest factors affecting postharvest texture. *Postharvest Biology and Technology*, 15 (3): 249-254.
- Saure, M. C. (1990). External control of anthocyanin formation in apple. *Scientia horticulturae*, 42 (3): 181-218.
- Schaare, P. & Fraser, D. (2000). Comparison of reflectance, interactance and transmission modes of visible-near infrared spectroscopy for measuring internal properties of kiwifruit (*Actinidia chinensis*). *Postharvest Biology and Technology*, 20 (2): 175-184.
- Schenk, A., Bobelyn, E., Peirs, A. & Nicolai, B. (2003). Prediction of optimal picking dates of different apple and pear cultivars based on NIR reflectance measurements.
- Shmulevich, I., Galili, N. & Howarth, M. (2003). Nondestructive dynamic testing of apples for firmness evaluation. *Postharvest Biology and Technology*, 29 (3): 287-299.
- Siegelman, H. & Hendricks, S. (1958). Photocontrol of Anthocyanin Synthesis in Apple Skin. *Plant Physiology*, 33 (3): 185.
- Skjolden, T. (2015). *Endring av plantehelseforskriften – import av planter og formeringsmateriale av eple og pære*. Mattilsynet: Mattilsynet. Tilgjengelig fra: [http://www.mattilsynet.no/planter\\_og\\_dyrking/import\\_av\\_planter\\_mm/Privat\\_import\\_av\\_planter\\_og\\_fro/endring\\_av\\_plantehelseforskriften\\_import\\_av\\_planter\\_og\\_formeringsmateriale\\_av\\_eple\\_og\\_paere.16146](http://www.mattilsynet.no/planter_og_dyrking/import_av_planter_mm/Privat_import_av_planter_og_fro/endring_av_plantehelseforskriften_import_av_planter_og_formeringsmateriale_av_eple_og_paere.16146) (lest 22.02.2016).
- Smock, R. (1948). *A study of maturity indices for McIntosh apples*. Proceedings of the American Society for Horticultural Science: AMER SOC HORTICULTURAL SCIENCE 701 NORTH SAINT ASAPH STREET, ALEXANDRIA, VA 22314-1998. 176-182 s.
- Snowden, A. L. (2008). *Post-Harvest Diseases and Disorders of Fruits and Vegetables: Volume 1: General Introduction and Fruits*, b. 1: CRC Press.
- Solovchenko, A. & Schmitz-Eiberger, M. (2003). Significance of skin flavonoids for UV-B-protection in apple fruits. *Journal of Experimental Botany*, 54 (389): 1977-1984.
- Solovchenko, A. E., Chivkunova, O. B., Merzlyak, M. N. & Gudkovsky, V. A. (2005). Relationships between chlorophyll and carotenoid pigments during on-and off-tree ripening of apple fruit as revealed non-destructively with reflectance spectroscopy. *Postharvest biology and technology*, 38 (1): 9-17.
- Solovchenko, A. E., Avertcheva, O. V. & Merzlyak, M. N. (2006). Elevated sunlight promotes ripening-associated pigment changes in apple fruit. *Postharvest biology and technology*, 40 (2): 183-189.
- Song, J., Deng, W., Beaudry, R. M. & Armstrong, P. R. (1997). Changes in chlorophyll fluorescence of apple fruit during maturation, ripening, and senescence. *HortScience*, 32 (5): 891-896.
- Statistisk sentralbyrå. (2010). *Areal med frukt, etter fruktsortar (dekar)*. Tilgjengelig fra: <https://www.ssb.no/statistikkbanken/SelectVarVal/Define.asp?MainTable=JordFrukt&KortNavnWeb=landt&PLanguage=0&checked=true> (lest 15.04.2016).
- Statistisk sentralbyrå. (2014). *Hagebruksavlingar*. Tilgjengelig fra: <https://www.ssb.no/statistikkbanken/SelectVarVal/saveselections.asp> (lest 15.04.2016).

- Streif, J. (1996). *Optimum harvest date for different apple cultivars in the 'Bodensee' area*. *Cost*, 15-20 s.
- Sørum, O. (1985). Jodtest ved vurdering av haustetid. *Gartneryrket*, 75: 568-570.
- Tahir, I. (2016). *New storage and packing technologies for extended marketing season and maintaining high quality of Norwegian fruit*: The Swedish University of Agricultural Sciences. Upublisert manuskript.
- Takos, M. A., Robinson, P. S. & Walker, R. A. (2006). Transcriptional regulation of the flavonoid pathway in the skin of dark-grown 'Cripps' Red' apples in response to sunlight. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 81 (4): 735-744.
- Tiller, L. (1934). The iodine-starch reaction as a test for measuring maturity of apples. *NZJ Sci. Technol*, 16: 88-101.
- Toivonen, P. M. A., Mostofi, Y., Wiersma, P. & Hampson, C. (2012). Evaluation of Non-Destructive Instruments for Assessing Apple Maturity and Quality: 2011 Results. I: *Agriculture and Agriculture Food Canada* Tilgjengelig fra: <http://www.summerlandvarieties.com/sites/default/files/Progress%20Report%20on%20Instruments%202011.pdf> (lest 19. april).
- Travers, I., Jacquet, A., Brisset, A. & Maite, C. (2002). Relationship between the enzymatic determination of starch and the starch iodine index in two varieties of cider apple. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 82 (9): 983-989.
- Tromp, J. (1977). Fysiologie en vruchtkwaliteit. *Mededeling*.
- Tromp, J., Webster, A. D. & Wertheim, S. J. (2005). *Fundamentals of Temperate Zone Tree Fruit Production*: Backhuys Publ.
- Vangdal, E. (2012). *Utstyr for å måla mogningsgrad i eple*. Norske Frukt dagar, Ulvik.
- Vangdal, E., Børve, J., Kvamm-Lichtenfeld, K., Knutsen, I., Remberg, S., Vidrih, R., Leufven, A. & Wold, A. (2014). Lagring av eple - kvalitetseffektar av bladgjødsling, mogningsgrad og ulike lagringsforhold. *Bioforsk Fokus*, 9 (9): 13.
- Veraverbeke, E. A., Verboven, P., Van Oostveldt, P. & Nicolai, B. M. (2003). Prediction of moisture loss across the cuticle of apple (*Malus sylvestris* subsp. *Mitis* (Wallr.)) during storage: part 1. Model development and determination of diffusion coefficients. *Postharvest Biology and Technology*, 30 (1): 75-88.
- Vik, U. & Bratberg, E. (2015). *Eple*. Store Norske Leksikon. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/eple>.
- Watkins, C. (2009). Postharvest physiological disorders and mineral nutrients. *New York Fruit Qrtly*, 17: 17-20.
- Williams, P. C. (2001). Implementation of near-infrared technology. *Near-infrared technology in the agricultural and food industries*, 2: 143-167.
- Wold, S., Sjöström, M. & Eriksson, L. (2001). PLS-regression: a basic tool of chemometrics. *Chemometrics and intelligent laboratory systems*, 58 (2): 109-130.
- Ziosi, V., Noferini, M., Fiori, G., Tadiello, A., Trainotti, L., Casadoro, G. & Costa, G. (2008). A new index based on vis spectroscopy to characterize the progression of ripening in peach fruit. *Postharvest biology and technology*, 49 (3): 319-329.
- Zude-Sasse, M., Truppel, I. & Herold, B. (2002). An approach to non-destructive apple fruit chlorophyll determination. *Postharvest Biology and Technology*, 25 (2): 123-133.
- Zude, M. & Herold, B. (2002). Optimum Harvest Date Determination for Apples Using Spectral Analysis/Bestimmung des optimalen Erntetermins bei Äpfeln mittels Spektralanalyse. *Gartenbauwissenschaft*: 199-204.
- Zude, M., Herold, B., Roger, J.-M., Bellon-Maurel, V. & Landahl, S. (2006). Non-destructive tests on the prediction of apple fruit flesh firmness and soluble solids content on tree and in shelf life. *Journal of Food Engineering*, 77 (2): 254-260.



VEDLEGG - SPRØYTING

Raud Aroma, Alsåker

Dato	Behandling	Namn	Middel	Merknad
27.03.2015	GJØDSLING STRIPE	Vårgjødsling trær som vokser dårlig	Marihøne 4,5	bare gjødsla trær som vokser dårlig, 200-300 g pr tre
08.04.2015	GJØDSLING STRIPE	Vårgjødsling kunstgjødtsel	Fullg 12-4-18	
10.04.2015	SPRØYTING	Koppersprøyting	NORDOX	
21.04.2015	SPRØYTING	Skurv + bladgjødsling	DELAN WG, MULTI MAP, UREA, BORTRAC, MANTRAC OPTIFLO 500, ZINTRAC 700	
29.04.2015	SPRØYTING	eple	DELAN WG, MULTI MAP, BORTRAC, UREA, ZINTRAC 700	
09.05.2015	SPRØYTING	sopp + blad gjødsling aroma og Discovery	DELAN WG, MULTI MAP, BORTRAC, UREA, ZINTRAC 700, SCALA, KALIUM PLUSS	etter kraftig infeksjon
18.05.2015	SPRØYTING	Sopp m,m Har vori sporekasting	SCALA, DELAN WG, WUXAL AMINOCAL, UREA, MULTI MAP, ZINTRAC 700, BORTRAC	
21.05.2015	SPRØYTING	Dimelin Aroma + discovery	Dimilin, MULTI MAP, UREA, WUXAL MICROPLANT, DELAN WG	Discovery er i tidlig blomst
09.06.2015	SPRØYTING	sopp Aroma og Discovery	TELDOR, MULTI MAP, UREA, BORTRAC, DELAN WG	
19.06.2015	SPRØYTING	bladgjødsling nyplantinger fra i fjord	MAGNESIUMSULFAT BITT, MULTI MAP, UREA, ZINTRAC 700	
26.06.2015	SPRØYTING	Aroma + Discovery midd. mm	THIOVIT, WUXAL MICROPLANT, UREA	
11.07.2015	SPRØYTING	Cerone + bladgjødsling	CERONE, MAGNESIUMSULFAT BITT, MULTI MAP, WUXAL MICROPLANT	For å fremme blomsterknoppdanning, 17-19 grader utpå dagen
25.07.2015	SPRØYTING	midd, bladgjødsling skurv	THIOVIT, CALCINIT, DELAN WG	Skurv på enkelte eple, funnet midd på enkelte trær
26.08.2015	SPRØYTING	Calsium + skurv	DELAN WG, VEGSALT/KLORKALSIIUM , AMINOSOL, MANTRAC OPTIFLO 500, ZINTRAC 700	
22.09.2015	SPRØYTING	Calsium + skurv	MULTI MKP GJØDSEL, VEGSALT/KLORKALSIIUM , AMINOSOL, MANTRAC OPTIFLO 500, ZINTRAC 700	
02.10.2015	SPRØYTING	farge + storleik aroma	MULTI MKP GJØDSEL	
20.10.2015	SPRØYTING	Gjødselsp	UREA, ZINTRAC 700, MAGNESIUMSULFAT BITT, BORTRAC, NORDOX	
04.11.2015	SPRØYTING	Urea + nordox	NORDOX, UREA	

**Raud Aroma, Lofthus**

<b>Dato</b>	<b>Behandling</b>	<b>Namn</b>	<b>Middel</b>
<b>01.07.2015</b>	Ugras i rad/S	Berre 1 dyse	Roundup Eco, Optica mekoprop
<b>09.05.2015</b>	Ugras i rad/S	Ugras under trea	Roundup Eco, MCPA 750
<b>22.04.2015</b>	Sprøyting	Førebyggjande skurv	Multi map, Urea, Nordox, Zintrac 700, Delan WG
<b>12.08.2015</b>	Sprøyting	Ca-sprøyting Home-C	Urea, Mantrac optiflo 500, Zintrac 700, Vegsalt/K
<b>24.08.2015</b>	Sprøyting	Ca-sprøyting Home-C	Urea, Mantrac optiflo 500, Zintrac 700, Vegsalt/K
<b>08.04.2015</b>	Gjødsling	Grunngjødsling	Fullgjødsel 18-3-15

**Discovery, Lofthus (Modningsutvikling)**

<b>Dato</b>	<b>Behandling</b>	<b>Namn</b>	<b>Middel</b>
<b>01.07.2015</b>	Ugras i rad/S	Berre 1 dyse	Rounduo eco, optical mekoprop
<b>09.05.2015</b>	Ugras i rad/S	Ugras under trea	Roundup eco, MCPA 750
<b>05.06.2015</b>	Sprøyting	Skurv	Multi map, Urea, Magnesiumsulfat bitt, Bortrac, D
<b>22.04.2015</b>	Sprøyting	Førebyggjande skurv	Multi map, Urea, Nordox, Zintrac 700, Delan WG
<b>24.08.2015</b>	Sprøyting	MKP+Skurv	Multi map, Urea, monokaliumsulfat MKP, Zintrac
<b>06.07.2015</b>	Gjødsling str	Overgjødsling	Kalksalt peter m/bor 1
<b>18.05.2015</b>	Gjødsling str	Overgjødsling	Kalksalt peter m/bor 1
<b>08.04.2015</b>	Gjødsling str	Grunngjødsling	Fullgjødsel 18-3-15

## VEDLEGG - SPRØYTING

**Discovery, Lofthus (Lagring)**

<b>Dato</b>	<b>Behandling</b>	<b>Namn</b>	<b>Middel</b>
09.05.2015	Ugras i rad/striper	Ugras under trea	Roundup eco, MCPA 750
01.07.2015	Ugras i rad/striper	Berre 1 dyse	Roundup eco, optica mekoprop
27.04.2015	Sprøyting	Bladmidd+ KaliumPlus 150ml	Multi map, urea, thiovit, bortrac, zin
09.04.2015	Sprøyting	Førebyggjande skurv	Multi map, Urea, Nordox, Zintrac 700
08.04.2015	Gjødsling, stripe	Grunngjødsling	Fullgjødsel 18-3-15
06.07.2015	Gjødsling, stripe	Grunngjødsling	Kalksalpeter m/bor 1

**Summerred, Lofthus**

<b>Dato</b>	<b>Middel og mengd/daa</b>
10.04.2015	200g Nordox, 400g urea
22.04.2015	300g Thiovit, 100g Delan
05.05.2015	300g Thiovit, 100g Delan, 100g MAP, 300g Urea, 200ml Bortrac, 50g Mantrac
13.05.2015	112.5g Scala, 50g Delan
26.05.2015	112.5g Scala, 50g Delan
09.06.2015	37.5ml Topas, 50g Delan
30.07.2015	100g Delan, 500g vegsalt
13.08.2015	500g Vegsalt
08.10.2015	1500g Urea, 1000g Mag.sulf., 100ml Bortrac, 100g Nordox
23.10.2015	1500g Urea, 1000g Mag.sulf., 100ml Bortrac, 100g Nordox



Norges miljø- og biovitenskapelig universitet  
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet  
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003  
NO-1432 Ås  
Norway