

Norges miljø- og  
biovitenskapelige  
universitet

Masteroppgave 2016 30 stp  
Institutt for kjemi, bioteknologi og matvitenskap (IKBM)

# **Fysisk og kjemisk karakterisering av tomatpuré til Idun Tomatketchup**

Physical and chemical characterization of tomato  
paste used in Idun Tomatketchup

Aleksander Lyngved Pedersen

Matvitenskap - produksjon og utvikling av næringsmidler



## Forord

Dette studiet ble utført som et avsluttende arbeid innen masterstudiet Matvitenskap – produksjon og utvikling av næringsmidler - ved Institutt for kjemi, bioteknologi og matvitenskap (IKBM) ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU). Oppgaven tilsvarer 30 studiepoeng og er gjennomført i samarbeid med Orkla Foods Norge.

Jeg vil rette en stor takk til min hovedveileder Professor Elling-Olav Rukke og medveileder Professor Reidar Barford Schüller for god veiledning og oppfølging underveis. Videre vil jeg takke Anne Therese Bragdø Smith i Orkla Foods Norge som har bidratt med planlegging av prøveuttak og tilbakemeldinger underveis, samt Monika Melseth og Birgit Fredriksen ved Idun Rygge som har tilrettelagt for mitt arbeid i fabrikken.

Norges miljø- og biovitenskapelige universitet  
Ås, 28. November 2016

---

Aleksander Lyngved Pedersen



## Sammendrag

Totalt ti batcher med tomatpuré fra tre ulike tomatpuréprodusenter ble undersøkt med formålet å avdekke hvordan variasjoner i tomatpuré påvirker Idun Tomatketchup, og hvordan produksjonsutstyret til Idun håndterer denne problematikken. De ulike batchene med tomatpuré og tilhørende ketchup ble analysert ved hjelp av Iduns kvalitetsparametere (Bostwick, serumviskositet, pH, °Brix og total titrebart syreinnhold). I tillegg ble flow behaviour index, consistency index og det lineære viskoelastiske området bestemt ved hjelp av et roterende reometer. Videre ble det gjennomført teksturanalyser, laserdiffraksjon og fiberanalyser på batchene med tomatpuré.

Tomatpuré utenfor spesifikasjon og uregelmessigheter under pumping påvirket ikke produksjonsanlegget til Idun i tilstrekkelig grad til å stoppe produksjonen, og gav Ketchup som var i henhold til spesifikasjon. Resultatene i dette studiet tilsier at en høy brixverdi (over 33 °Brix) og en serumviskositet over 224 s gir uregelmessigheter i produksjonsanlegget til Idun. En økning i disse variablene øker også tiden inn i fattømmer. Av de totalt ti batchene med tomatpuré ble fem registrert som uregelmessige. Av de ulike kvalitetsparameterne viste serumviskositet i tomatpuré kun signifikant korrelasjon med Bostwick i ketchup, der en økning i serumviskositet i tomatpuré vil gi en reduksjon av Bostwick i ketchup. Imidlertid viste analysene at en serumviskositet utenfor spesifikasjon opptil 267 s ikke er tilstrekkelig for at Bostwick i ketchup havner utenfor spesifikasjon. Det ble funnet signifikante forskjeller i LVE-området til uregelmessige og regelmessige batcher, der førstnevnte tåler signifikant mer skjærspenning før de begynner å flyte, og vil således være vanskeligere å pumpe.



## Abstract

A total of ten batches of tomato paste from three different tomato paste producers were examined with the purpose to identify how variations in tomato paste affects Idun Tomato ketchup, and how the production equipment in Idun's production facilities handles these issues. The different batches of tomato paste and associated ketchup were analysed with Idun quality parameters (Bostwick, serum viscosity, pH, °Brix and total titratable acidity). In addition, the flow behavior index, consistency index and the linear viscoelastic range were determined using a Rotational Rheometer. Furthermore, texture analysis, laser diffraction and fiber analysis were conducted on batches of tomato paste.

Tomato paste outside specification and irregularities during pumping did not affect production at Idun sufficiently to stop the production, and led to production of Ketchup that was according to specification. The results of this study indicate that a high brix value (over 33 °Brix) and a serum viscosity over 224 sec give irregularities under the production of Idun Tomato ketchup. An increase in these variables increases the time the tomato paste used into the production system. Out of the total of ten batches of tomato paste, five were registered irregular. Of the various quality parameters, only serum viscosity in tomato paste had significant correlation with Bostwick in ketchup, where an increase in serum viscosity in tomato paste gave a reduction of Bostwick in ketchup. However, the analyses showed that a serum viscosity outside specification up to 267 sec is not sufficient for Bostwick in ketchup to fall outside the specification. There were significant differences in the LVE-area for irregular and regular batches, where the irregular ones tolerate significantly more shear stress before they become floating, and thus, will be more difficult to pump.





# Innholdsfortegnelse

<b>Forord</b> .....	<b>I</b>
<b>Sammendrag</b> .....	<b>III</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>V</b>
<b>Nomenklatur</b> .....	<b>IX</b>
<b>1. Innledning</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1 Tomaten og dens bestanddeler</b> .....	<b>3</b>
1.1.1 Cellulose.....	5
1.1.2 Hemicellulose.....	5
1.1.3 Pektin.....	6
<b>1.2 Produksjon av tomatpuré</b> .....	<b>6</b>
1.2.1 Pressing.....	8
1.2.2 Ekstrahering.....	8
1.2.3 Homogenisering.....	9
1.2.4 Konsentrering.....	9
1.2.5 Aseptisk prosessering.....	9
<b>1.3 Produksjon av Idun Tomatketchup</b> .....	<b>10</b>
<b>1.4 Kvalitetsparametere i tomatindustrien</b> .....	<b>12</b>
1.4.1 Viskositet og konsistens.....	12
1.4.2 Farge.....	13
1.4.3 pH.....	13
1.4.4 Løselig tørrstoff.....	14
<b>1.5 Reologi</b> .....	<b>14</b>
1.5.1 Skjærspenning og skjærhastighet.....	15
1.5.2 Newtonske fluider.....	16
1.5.3 Ikke-newtonske fluider.....	16
1.5.4 Viskoelastisk oppførsel.....	18
<b>1.6 Reologiske målemetoder</b> .....	<b>20</b>
1.6.1 Roterende reometer.....	20
1.6.2 Herschel-Bulkley model.....	21
1.6.3 Amplitude sweep.....	21
<b>2. Materialer og metoder</b> .....	<b>24</b>
<b>2.1 Prøveuttak, Idun Rygge</b> .....	<b>24</b>
<b>2.2 Analyser</b> .....	<b>25</b>
2.2.1 Bostwick.....	25
2.2.2 Serumviskositet.....	26
2.2.3 °Brix.....	28
2.2.4 Totalt syreinnhold og pH.....	28
2.2.5 Reologiske målinger.....	29
2.2.6 Teksturanalyse.....	30
2.2.7 Laserdiffraksjon.....	31
2.2.8 Fiberanalyse.....	32
<b>2.3 Statistiske analyser</b> .....	<b>32</b>
<b>3. Resultater</b> .....	<b>33</b>
<b>3.1 Observasjoner under produksjon av Idun Tomatketchup</b> .....	<b>33</b>
<b>3.2 Kvalitetsparametere</b> .....	<b>35</b>
3.2.1 Bostwick og serumviskositet.....	36
3.2.2 °Brix.....	38
3.2.3 pH.....	39
3.2.4 Totalt syreinnhold.....	40

<b>3.3 Reologiske målinger og analyser .....</b>	<b>40</b>
3.3.1 Rotasjonstest.....	40
3.3.2 Amplitude sweep.....	44
<b>3.4 Teksturanalyse .....</b>	<b>45</b>
<b>3.5 Laserdiffraksjon .....</b>	<b>46</b>
<b>3.6 Fiberanalyse .....</b>	<b>47</b>
<b>4. Diskusjon .....</b>	<b>49</b>
<b>4.1 Observasjoner under produksjon av Idun Tomatketchup.....</b>	<b>49</b>
<b>4.2 Kvalitetsparametere .....</b>	<b>51</b>
4.2.1 Bostwick og serumviskositet.....	51
4.2.2 °Brix, pH og totalt syreinnhold .....	53
<b>4.3 Reologiske målinger og analyser .....</b>	<b>54</b>
4.3.1 Rotasjonstest – flow behaviour index og consistency index .....	54
4.3.2 Amplitude sweep.....	56
<b>4.4 Teksturanalyse .....</b>	<b>57</b>
<b>4.5 Laserdiffraksjon .....</b>	<b>57</b>
<b>4.6 Fiberanalyse .....</b>	<b>58</b>
<b>5. Konklusjon .....</b>	<b>59</b>
<b>6. Referanser .....</b>	<b>61</b>
<b>Vedlegg A .....</b>	<b>66</b>
<b>Vedlegg B.....</b>	<b>67</b>
<b>Vedlegg C .....</b>	<b>73</b>
<b>Vedlegg D .....</b>	<b>74</b>
<b>Vedlegg E.....</b>	<b>75</b>

## Nomenklatur

Forkortelser/Uttrykk	Forklaring/definisjon
$O_i$	Beskriver seks ulike batcher med tomatpuré fra Olam.
$G_i$	Beskriver tre ulike batcher med tomatpuré fra Guadiana.
$M_i$	Beskriver en batch med tomatpuré fra Morning Star.
Ketchup	Refererer til Idun Tomatketchup.
N	Beskriver antall replikater.
Tid inn i fattømmer	Gir tiden en kasse tomatpuré brukte fra rullebåndet inn i fattømmeren og til sekken med tomatpuré var tømt i fattømmeren.
Tid ut av fattømmer	Gir tiden en kasse med tomatpuré brukte på å bli pumpet ut av fattømmeren og over i buffertank.
Uregelmessige batcher	Beskriver batcher der det oppstod slag og risting i rør og pumpesystemer under pumping av tomatpuré fra fattømmer og over i buffertank.
Regelmessige batcher	Beskriver batcher som ble kjørt uten slag og risting i rør og pumpesystemer under pumping av tomatpuré fra fattømmer og over i buffertank.
TPA	Texture Profile Analysis.
HMWDF	Høymolekylært løselig fiber.
LMWDF	Lavmolekylært løselig fiber.
Pressing	Brukes som erstatning for det engelske ordet breaking.
TTA	Totalt titrerbart syreinnhold.

### Symboler

Navn	Symbol	Enhet
Skjærviskositet	$\eta$	Pa s <sup>-1</sup>
Skjærspenning	$\tau$	Pa
Skjærhastighet	$\dot{\gamma}$	s <sup>-1</sup>
Flytgrense	$\tau_y$	Pa
Flytpunkt	$\tau_f$	Pa
Lagringsmodul	$G'$	Pa
Tapmodul	$G''$	Pa
Consistency index	$K$	Pa s <sup>-1</sup>
Flow behaviour index	$n$	(dimensjonsløs)
Kraft	$F$	N
Areal	$A$	m <sup>2</sup>
Vinkelhastighet	$\omega$	s <sup>-1</sup>



## 1. Innledning

Under produksjon av Idun Tomatketchup er tomatpuré hovedingrediensen. Denne tomatpuréen kjøpes fra ulike produsenter, henholdsvis Guadiana (Spania), Morningstar (USA) og Olam (USA). Dette er store produsenter som leverer råstoff i form av tomatpuré til mange av de internasjonale ketchup-produsentene. Sammenliknet med andre produsenter er Idun en liten aktør på markedet, hvilket tidvis fører til vanskeligheter med å få tak i tomatpuré i henhold til spesifikasjon. Dermed havner råstoffet ofte utenfor det som er ønskelig, spesielt med tanke på serumviskositet.

Utfordringen bunner i at de store internasjonale produsentene av tomatpuré ligger langt unna Iduns spesifikasjon med hensyn på innhold av tomat i ferdig ketchup. De internasjonale produsentene ønsker en tykkest mulig puré med mest mulig fiber, slik at ketchupen oppleves tykk og fin, til tross for et lavt tomatpuréinnhold. Idun på sin side har et produktkrav om bruk av 2 kg tomater til 1 kg ketchup og dette begrenser dermed hvor lavt Idun har mulighet til å senke tomatpuréinnholdet.

Idun har kontrakter med de forannevnte produsentene der spesifikasjonene til tomatpuréen fremgår. På grunn av at serumviskositeten i tomatpuréen til Idun tomatketchup er ulik de mest benyttede tomatpuréene har dette medført at leverandørene har utfordringer med å levere i henhold til Iduns spesifikasjon. Dette har medført problemer under produksjonen av Idun Tomatketchup fordi puréen er for tykk og dermed vanskelig å tømme ut av kasser og pumpe videre under produksjonen. Ergo taper bedriften tid og penger ved driftsstans som følge av dette, i tillegg til svinn. I tillegg oppstår det tilfeller med liknende problemer under produksjon på tross av at spesifikasjonen til tomatpuréen er oppfylt. Med bakgrunn i dette oppleves ofte de ulike tomatpuréene forskjellig uavhengig om de ligger innenfor spesifikasjon, da puré i henhold til spesifikasjon kan være problematisk under tømning og pumping, mens puré utenfor spesifikasjonen kan oppleves uproblematisk å benytte. Dette tilsier at man ikke utelukkende kan vurdere kvalitet og egenskaper til tomatpuréen ut fra spesifikasjon med hensyn til kvalitetsparametere, som serumviskositet, Bostwick, °Brix, pH og syreinnhold.

På bakgrunn av overnevnt problematikk har det oppstått en interesse av å forbedre forståelsen av variasjonene i råstoffet og hvorfor puréene oppleves så forskjellig under produksjon. Formålet med denne oppgaven har vært å gjennomføre en fysisk og kjemisk karakterisering av ulike typer hot break tomatpuré, henholdsvis fra leverandørene Guadiana (Spania), Morning Star (USA) og Olam (USA) for å øke forståelsen av ulikhetene mellom puréene.

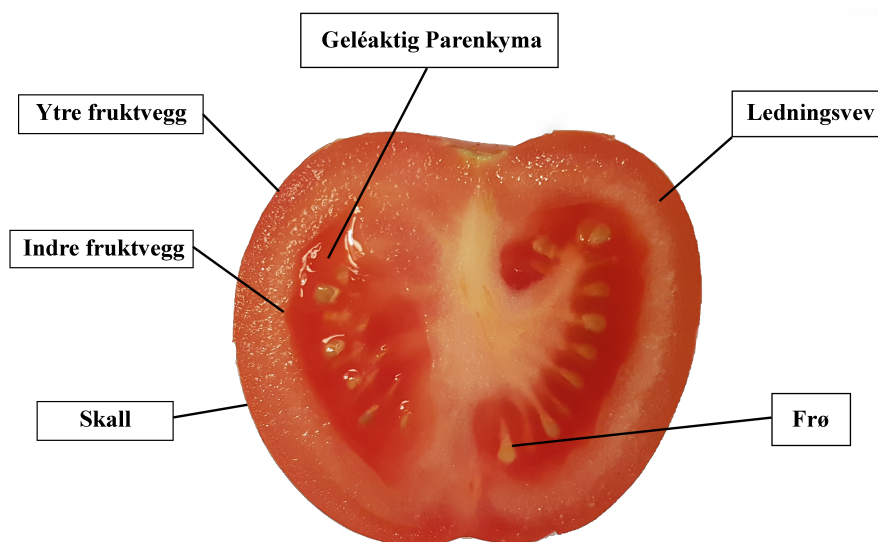
På bakgrunn av dette er følgende problemstilling formulert:

1. Hvordan håndterer produksjonsutstyret til Idun per i dag problematikken vedrørende variasjon i serumviskositet, Bostwick, °Brix og fiberinnhold fra tomatpuré-leverandørene, og hvor ligger grensen for håndtering av denne puréen med det nåværende utstyret?
2. Hvilke produksjonsmessige variasjoner vil oppstå ved benyttelse av puré med serumviskositet på 240 s, kontra 260/280/300 s?
3. Hvordan vil en serumviskositet som befinner seg over Iduns spesifisering på 200-240 s påvirke °Brix og Bostwick i ferdig ketchup?

## 1.1 Tomaten og dens bestanddeler

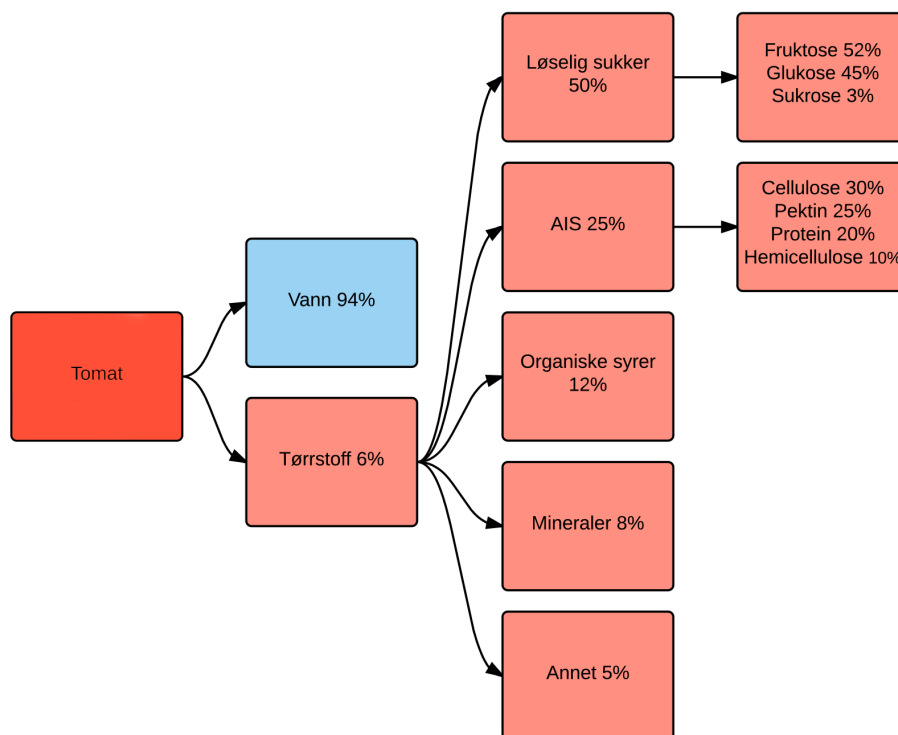
Tomat (*Solanum lycopersicum L.*) er botanisk sett en frukt med et stort og saftig bær. Som illustrert i **figur 1**, består tomaten av et vanntett skall, frø, fruktvegg og geléaktig parenkyma som omgir frøene. Den indre og ytre fruktvegg skilles fra hverandre av ledningsvev (Abson 2012).

Videre beskrives bestandskomponentene i en typisk tomat. Celleveggen utgjør et permeabelt ytterlag til cellen, etterfulgt av en selektiv permeable plasmamembran. Disse to komponentene bidrar sammen til å avskille celleinnholdet fra omgivelsene. Det intercellulære området som omkranser alle plantecellene kalles apoplast. I apoplasten vil fysiologiske prosesser som er relatert til blant annet biosyntese av celleveggen, næringstransport og stressresponser, oppstå. I midten av parenkymcellene befinner vakuolen seg. Denne utgjør som regel mellom 30-80 % av plantecellen, og er separert fra cytoplasma og tonoplast (Abson 2012).



**Figur 1:** Tverrsnitt av tomat der viktige bestanddeler er markert.

Vakuolen har en viktig funksjon i cellen ved at den lagrer celledsaft, samtidig som den bidrar til å vedlikeholde turgortrykket i celleveggen. Dette trykket oppstår som en konsekvens av osmotisk trykk over plasmamembranen, hvilket drives av sukker og salt i vakuolen. Turgor trykket er en av parameterne som påvirker teksturen til hele frukten. Den typiske sammensetning av vann og tørrstoff i modne tomater er oppsummert og illustrert i **figur 2**.

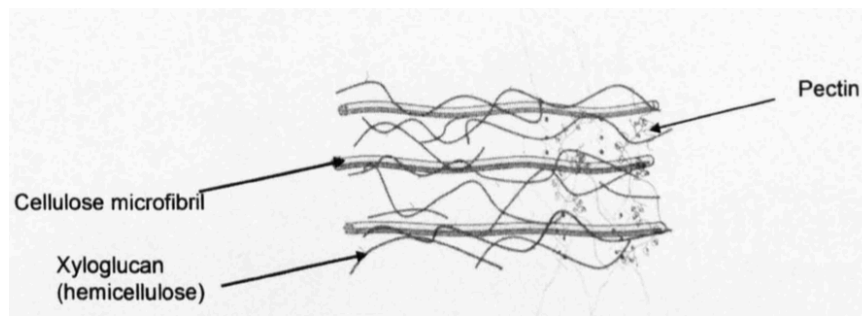


**Figur 2:** Innhold og sammensetning av vann og tørrstoff i moden tomat, oppgitt i prosent (Abson 2012).

Som illustrert i figur 2 utgjør vann den største bestanddelen i tomat, mens tørrstoffet (6 % av total masse) består av både løselige og uløselige komponenter. Av disse 6 % er 50 % løselig sukker som består hovedsakelig av fruktose og glukose, samt mindre mengder med sukrose. I tillegg utgjør organiske syrer 12 % av det løselige tørrstoffet. De organiske syrene bidrar til den karakteristiske smaken til tomat, som kan beskrives som søt og syrlig. Sammensetningen av det uløselige fiberinnholdet avhenger av metoden som benyttes for å definere denne. I figur 2 er det uløselige fiberinnholdet bestemt som AIS ("alcohol insoluble solids"). Tidligere forskning har vist at AIS-innholdet i tomater korrelerer høyt med Brookfield viskositet (Janoria & Rhodes 1974). Det uløselige fiberinnholdet blir beskrevet som celleveggmaterial (Abson 2012). Til tross for sin relativt lave bestanddel i tomaten ble det allerede på 1950-tallet oppdaget at tomatens cellevegg hadde en stor innvirkning på viskositeten til tomatpuré (Whittenberger & Nutting 1958). En cellevegg består av mange komponenter og har en rekke funksjoner i et plantemateriale. Videre beskrives de strukturelle polysakkaridene som del av dette. Som illustrert i **figur 3** er en cellevegg sammensatt av biopolymere strukturer av cellulose, hemicellulose og pektin, i tillegg til andre komponenter som strukturelle proteiner. Disse ulike komponentene bidrar



med ulike egenskaper slik som strukturell styrke, stivhet og fleksibilitet, samtidig som de bidrar til normal cellefunksjon og dannelse av plantevev (Abson 2012).



**Figur 3:** Utsnitt av cellevegg til en blomstrende tomatplante der nettverket med cellulose, hemicellulose og pektin er markert (Carpita & Gibeaut 1993).

I celleveggen vil det være cellulose- og hemicellulosenettverket som sammen danner den bærende delen av celleveggen, disse samhandler med pektinnettverk som tilfører fleksibilitet.

### 1.1.1 Cellulose

Cellulose er et polysakkarid som består av glukose der glukoseenhetene er bundet sammen med  $\beta$ -1-4-bindinger. Disse kjedene med cellulose samles i mikrofibriller eller i bunter i celleveggen, som illustrert i figur 3. En enkel mikrofibrill kan bestå av mellom 40 til 80 kjeder av cellulose og kan være 10-25 nanometer i diameter (Cosgrove 2005). Disse mikrofibrillene vil vri seg rundt hverandre og sammen danne tråder som i en kabel (Raven et al. 1999). På grunn av celluloses  $\beta$ -1-4-bindinger vil molekylene være relativt stive, og dette styrkes ytterligere gjennom dannelse av hydrogenbindinger mellom hydroksylgrupper i tilstøtende cellulosemolekyler. Cellulose er uløselig i vann, og mennesker har heller ikke muligheten til å bryte ned cellulose på grunn av manglende produksjon av cellulase. Cellulose blir derfor klassifisert som en kilde til uløselig fiber i kostholdet (Abson 2012).

### 1.1.2 Hemicellulose

Cellulose-hemicellulosenettverket blir sett på som selve bærebjelken i celleveggen. Hemicellulose består av en gruppe komplekse polysakkarider som er satt sammen av  $\beta$ -D-(1-4)-glukaner. Disse polysakkaridene kan defineres som polymerer som kun er løselige i svake, eller sterke alkaliske løsninger. De består av polymerene xylan, glucuronoxylan, arabinoxylan, mannan, glucomannan og galactoglucomannan. Det totale innholdet av hemicellulose og sammensetningen i tomater varierer mellom

ulike typer tomater, men av det totale fiberinnholdet (AIS) utgjør hemicellulose 10-20 % (Sakurai & Nevins 1993).

### 1.1.3 Pektin

Pektin utgjør omtrent 30 % av den totale sammensetningen i celleveggen (Carpita & Gibeaut 1993). Under modning av tomaten vil pektinets struktur endre seg. Dette blir sett på som en medvirkende faktor til at tomaten blir mykere. Den midterste lamellen i celleveggen har ikke cellulosemikrofibriller og er et område som er svært rikt på pektin. Pektinet bidrar som et klebemiddel mellom tilgrensende celler og bidrar dermed i dannelsen av plantevev (Abson 2012). Den strukturelle oppbygningen til pektin består av en relativt kompleks gruppe polymerer slik som galakturonsyre, rhamnose, arabinose og galaktose, der disse er koblet kovalent sammen (Brett & Waldron 1990). Felles for samtlige av disse polymerene er at de består av homogalakturon.

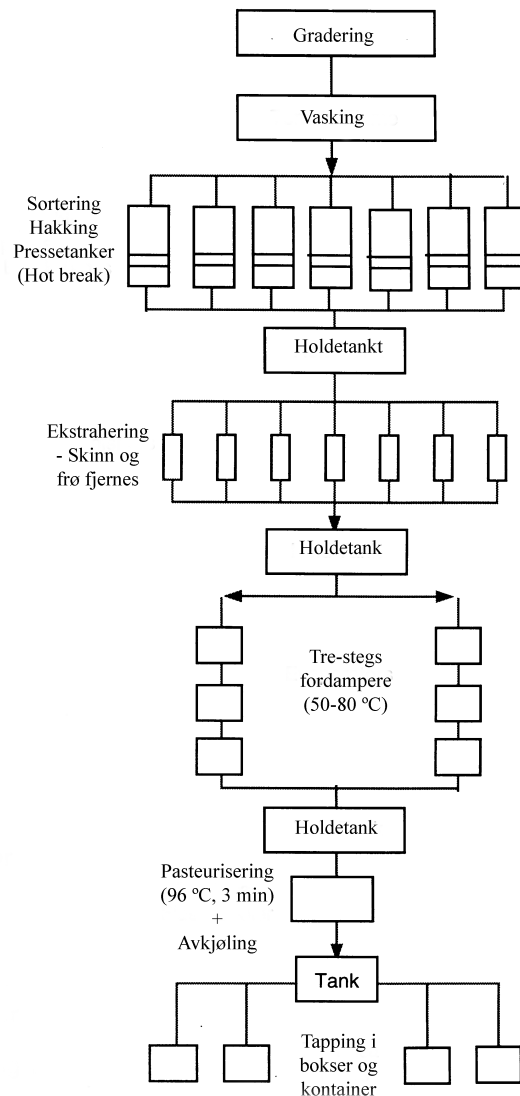
## 1.2 Produksjon av tomatpuré

Tomatpuré kan defineres som en konsentrert tomatbase uten skinn og steiner, som inneholder mer enn 24 % løselig tørrstoff. En typisk sammensetning av tomatpuré er vist i **tabell 1**.

**Tabell 1:** *Næringsinnhold i tomatpuré fra Olam*

Næringsinnhold per 100 g	
<b>Energi (kcal/kJ)</b>	0 kJ/113 cal
<b>Fett</b>	0,284 g
- mettet	0,094
- enumettet	0 g
- flerumettet	0 g
<b>Karbohydrat</b>	22,7 g
- hvorav sukker	14,7 g
<b>Fiber</b>	6,39 g
<b>Protein</b>	5,0 g
<b>Natrium</b>	49,0 mg

Tomatene gjennomgår flere forskjellige prosesser før de går gjennom pressing, og disse prosessene varierer fra produsent til produsent. Prosessene i forkant av pressing blir i denne oppgaven kort omtalt. Eksempel på en produksjonsprosess av tomatpuré er vist i **figur 4**.



**Figur 4:** Flytskjema for produksjonen av tomatpuré (Morningstar) .

Etter innhøsting blir tomatene transportert til et mottaksanlegg. Kvaliteten på tomatene reduseres relativt raskt etter innhøsting, og ideelt sett bør derfor tomatene tas hånd om med en gang etter ankomst. Dersom dette ikke lar seg gjøre oppbevares kassene som oftest i skyggen. Tomatene blir tradisjonelt sett transportert ved hjelp av vannsklier, dette for å unngå unødig skade på tomatene. Tomatene blir først kontrollert og gradert ut fra farge, løselig tørrstoff og modningsgrad (CDFA 2001).

Videre gjennomgår tomatene en grundig vasking ettersom det er ønskelig med minst mulig mikrobiell aktivitet i forkant av videre prosessering (Hui et al. 2004; Zacconi et al. 1999). Etter vasking blir tomatene sortert, og bladverk, stein og andre uønskede komponenter fjernes. Ved hjelp av automatiserte fotoelektriske fargesorterere blir grønne og rosa tomater sortert ut. Som et avsluttende og kvalitetssikrende steg i sorteringsprosessen blir sorteringen kontrollert av manuell arbeidskraft.

### 1.2.1 Pressing

Når tomatene er ferdig sortert vil de bli kjørt gjennom et pressesystem. Der blir tomatene hakket opp før de omdannes til en tomatjuice. Hos enkelte produsenter vil denne prosessen gjennomføres under vakuüm for å minimere oksidasjonsreaksjoner, hvilket blant annet bidrar til å forhindre degradering av askorbinsyre (Trifiro et al. 1998). Tomatjuice produseres i hovedsak ved hjelp av to ulike metoder, henholdsvis hot break og cold break metoden. Ved benyttelse av hot break-metoden vil tomatene bli hakket opp før de gjennomgår en oppvarming til minimum 82 °C. Imidlertid vil den benyttede holdetemperaturen som regel befinne seg mellom 93 °C og 99 °C. Denne oppvarming gjennomføres for å stoppe enzymaktiviteten i tomatene, og bidrar dermed til å opprettholde viskositeten til blandingen. Spesielt er det ønskelig å inaktivere de to pektolytiske enzymene polygalacturonase (PG) og pektin methylesterase (PME) (Abson 2012; Hui et al. 2004). Tomatpuré som skal benyttes som råstoff i ketchup går som regel gjennom denne prosesseringen fordi det gir en høyere viskositet, hvilket er ønskelig i ketchup.

Under en cold break prosess hakkes tomatene, men det blir benyttet en lavere temperatur enn ved hot break prosess. Den lave temperaturen anvendes for å akselerere den enzymatiske aktiviteten og dermed øke utbyttet av prosessen. Pektolytisk enzymaktivitet befinner seg på et maksimum mellom 60 °C og 66 °C. På grunn av en mildere temperaturbehandling vil farge og smak bevares bedre, men til gjengjeld synker viskositeten adskillig mer på grunn av økt enzymaktivitet (Hui et al. 2004).

### 1.2.2 Ekstrahering

Etter pressing er det ønskelig å fjerne frø og skinn. Blandingens med knuste tomater blir derfor kjørt gjennom ei presse. Denne har en innebygget sil som fungerer som et filter, der størrelsen på dette vil avgjøre partikkelstørrelsen på ekstraktet og dermed påvirke viskositet og tekstur (Hayes et al. 1998; Hui et al. 2004). Dette kan gjennomføres enten ved hjelp av en skrue- eller årepresse. En skruerpresse fungerer ved at en mateskrue roterer og presser tomatene mot skjermen. Gjennom denne går væske og kontrollerte mengder av fast stoff, mens frø, skinn og eventuelt andre uønskede komponenter (pressrester) slippes ut gjennom en pneumatisk regulerbar ventil. Ved å regulere lufttrykket i denne ventilen kan tørrheten i pressrestene kontrolleres. I motsetning til årepresen blir det her inkorporert svært lite luft, hvilket er gunstig med tanke på oksidasjon av lycopren- og askorbinsyreinnholdet. I ei

årepresse blir tomatene slått mot sila, hvilket bidrar til inkorporering av mer luft (Hui et al. 2004). I etterkant av ekstraheringen vil tomatene gå gjennom en utlufting for å fjerne eventuell inkorporert luft. Som nevnt vil inkorporert oksygen i blandingen kunne forårsake oksidering av næringsinnholdet i tomatene, og da spesielt askorbinsyre. For å unngå dette settes blandingen under vakuum, hvilket også bidrar til mindre skumdannelse under konsentreringen senere i prosesseringen (Hui et al. 2004).

### **1.2.3 Homogenisering**

Tomatjuicen blir så homogenisert. Homogeniseringen bidrar til en økt viskositet i produktet, samtidig som det minimerer serumseparasjonen. Juicen presses gjennom en trang dyse under høyt trykk slik at partiklene i løsningen blir revet fra hverandre (Hui et al. 2004).

### **1.2.4 Konsentrering**

Etter homogeniseringen blir juicen konsentrert ved hjelp av fordampere med tvungen sirkulasjon, som regel bestående av tre-steg (Hui et al. 2004). Her vil altså juicen bli varmet opp gjennom tre fordampere, der hver fordamper holder lavere trykk enn den forrige (Hui et al. 2004). Dampen fra forrige fordamper brukes til å varme opp den neste på grunnlag av at koketemperaturen til vann synker når trykket reduseres. Dette gjør at kun den første fordamperen trenger en ekstern varmekilde. Temperaturen øker fra i underkant av 50 °C og opp mot 80 °C etter hvert som produktet beveger seg gjennom fordamperen (Hui et al. 2004; Ibarz & Barbosa-Cánovas 2003). Kombinasjonen av konsentrat og damp beveger seg inn i konsentratoren og skilles der fra hverandre. Resultatet av dette er dannelsen av tomatpuré. Ved å benytte lavt trykk og vakuum vil vannet fordampe ved en lavere temperatur, hvilket gir energibesparelse. I tillegg vil lav temperatur medføre at en eventuell reduksjon av farge, smak eller næringsinnhold minimeres.

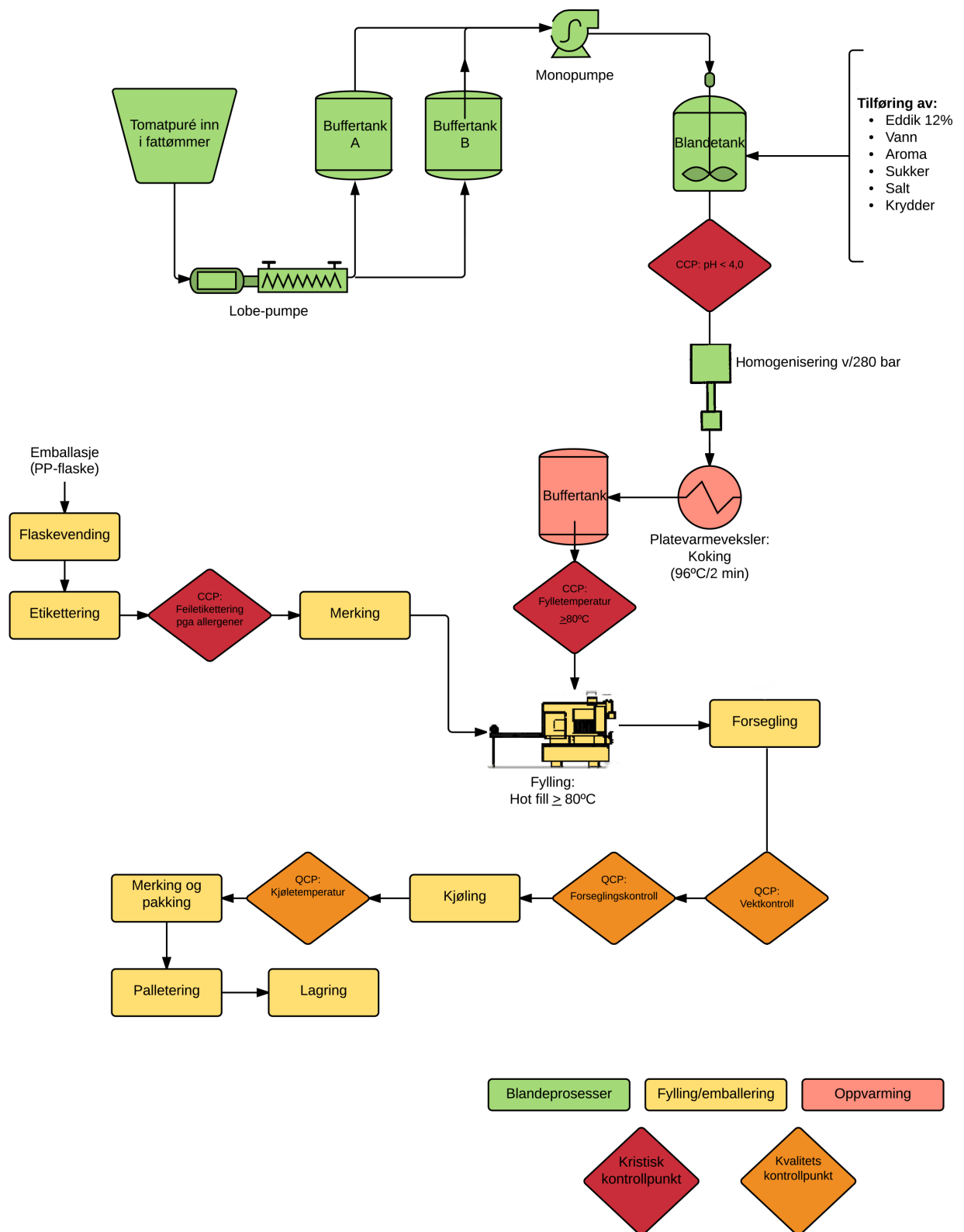
### **1.2.5 Aseptisk prosessering**

Tomatpuréen som nå er produsert av tomatjuicen blir så varmet opp i en platevarmeveksler, før den blir avkjølt og fylt aseptisk. Temperatur og holdetid varierer, men en typisk prosess er å varme opp tomatpuréen til 109 °C i to og et halvt minutt, alternativt 96 °C i tre minutter.

### 1.3 Produksjon av Idun Tomatketchup

Tomatpuré ankommer Iduns produksjonslokaler i store polyetylensekker, beskyttet av tre- eller metallkasser. Under produksjonen blir disse kassene satt på et rullebånd og sendes inn mot fattømmeren. Her veltes kassene, og sekkene beveger seg videre på et nytt rullebånd der sekken presses sammen av et rektangulært presselodd. Sekkene blir så overrislet med vann før de tas tak i av to roterende valser som drar sekkene over roterende knivblader som kutter dem opp. Dette gjør at tomatpuré nå siger ut av sekken og ned i fattømmeren. Her vil en roterende skrue mate tomatpuré inn i lobepumpen som drar tomatpuréen videre inn i en buffertank. I buffertanken blir tomatpuréen nå oppbevart til den er klar til å kjøres videre til blandetanken. Når en tilstrekkelig mengde med tomatpuré er tilført blandetanken blir eddik (12 %), vann, aroma, sukker og salt tilsatt, og blandingen blir mikset ved hjelp av et enkelt røreverk. Etter gjennomført blanding er det essensielt at blandingen har en pH på under 4,0, og det inngår derfor et kritisk kontrollpunkt i denne enhetsoperasjonen. Det blir ikke tilsatt konserveringsmiddel i Idun Tomatketchup, hvilket gjør at den lave pH-verdien forhindrer patogene mikroorganismer. Imidlertid hindrer ikke lav pH vekst av mugg og gjær. Ved hjelp av en monopumpe blir blandingen pumpet inn i en homogenisator med et trykk på 280 bar og ut ved et trykk på 80 bar. Den homogene blandingen blir nå varmebehandlet ved 96 °C i to minutter i en platevarmeveksler. Etter gjennomført varmebehandling går blandingen til en ny buffertank der den lagres frem til at den skal fylles i emballasje. Fylling er et kritisk kontrollpunkt fordi produktet må holde minimum 80 °C. Emballasjen, som er en PP-flaske (polypropylen), blir fylt med produkt og gjennomgår en vektkontroll etter fylling. Flaskene blir så forseglet og kvalitetskontrollert. Ved hjelp av klortilsatt vann blir flaskene med ferdig produkt avkjølt til maksimum 40 °C. Flaskene blir så merket, pakket og palletert før de kjøres på lager for distribuering.

Samlede enhetsprosesser fra tomatpuréen tilføres produksjonsanlegget og til ferdig ketchup er produsert, tappet, pakket og palletert vises i **figur 5**.



**Figur 5:** Flytskjema med enhetsprosessene som inngår i produksjon av Idun Tomatketchup. Blandeprosesser, fylling/emballering, oppvarming, samt kritiske kontroll- og kvalitetskontrollpunkter er markert.

## 1.4 Kvalitetsparametere i tomatindustrien

Årlig produseres over 164 millioner tonn med tomater på verdensbasis (Faostat 2013). Over halvparten av disse tomatene blir prosessert og konservert på ulike måter. Kvaliteten på sluttproduktet kan påvirkes betraktelig avhengig av produksjonsprosessen og prosessen fra dyrking til at tomaten er høstet og levert til mottak (Ścibisz et al. 2011). Dette gjør at kvalitetskontroll under prosesseringen er essensielt for å oppnå de ønskede kvalitetsparametere (Barret 1998). For tomat vil noen av de viktigste kvalitetskontrollerende faktorer være farge, konsistens og kjemisk sammensetning (Hayes et al. 1998). Forbrukers aksept setter også krav til opplevelsen av et ferdig produkt, og deres valg påvirkes av flere faktorer slik som næringsinnhold, sensorisk karakteristik (smak, sterk rødfarge, aroma), konsistens og syrlighet, samtidig som det er ønskelig at serumseparasjonen er lav (Thakur 1996). Under næringsmiddelproduksjon og prosessering av tomat benyttes ofte parametere som viskositet, konsistens og farge, samt innhold av syrer, løselig tørrstoff og sukker som kvalitetsparametere (De Nardo et al. 2009; Perona 2005; Ścibisz et al. 2011; Tehrani & Ghandi 2007; Wilkerson et al. 2013).

### 1.4.1 Viskositet og konsistens

Viskositeten til tomatprodukter avhenger blant annet av tørrstoffinnhold, serumviskositet og fysiske karakteristikk/egenskaper til celleveggmaterialet i tomatene. Som tidligere beskrevet er viskositet en viktig kvalitetsparameter i tomatprodukter slik som ketchup, både for forbrukeren, men også under prosessering. Det er ønskelig å ha kontroll på viskositeten under prosessering slik at ønsket produkt kan oppnås ved å gjennomføre nødvendige justeringer underveis, i tillegg til å gjøre produksjonen mer kostnadseffektiv (Valencia et al. 2003).

Viskositet blir bestemt av analytiske reometere, mens konsistens karakteriseres som en empirisk måling. For å måle konsistens benyttes ofte et Bostwick consistometer, hvor man får en Bostwickverdi ut fra hvor langt prøvematerialet flyter langs et plan over 30 sekunder ved 20 °C (Hui et al. 2004).

Et av de viktigste innholdsstoffene i tomat, når det kommer til viskositet, er pektin. Avhengig av hvilken type pektin og mengde med pektin som befinner seg i produktet, vil man kunne oppnå ulik grad av viskositet. Pektinet vil bli påvirket av pektolytiske enzymer, som igjen vil påvirke den endelige viskositeten. Ved å varmebehandle tomatene under prosessering unngår man dette (nærmere beskrevet i kap. 1.2.1)



(Lau et al. 1985). Høyere temperatur gir en større dekativering og dermed høyere viskositet (Thakur 1996). Imidlertid kan holdetemperaturen til denne oppvarmingen påvirke viskositeten. I tilfeller der pektin eksponeres for høye temperaturer over lengre tid kan det forårsake denaturering og dermed en reduksjon i viskositet (Fonseca & Luh 1976). Imidlertid kan høye temperaturer også stoppe cellestrukturer i å frigjøre pektin fra celleveggene, hvilket fører til en økning i viskositet (Fonseca & Luh 1976).

#### **1.4.2 Farge**

Farge utgjør en viktig kvalitetsparameter for tomater, og generelt vil forbrukere forbinde en sterk rødfarge med et produkt av god kvalitet (Hui et al. 2004). Den røde fargen til tomaten har sin opprinnelse fra karotenoidet lykopen. Som resultat av at tomaten modnes vil innholdet av lykopen øke, og sluttinnholdet vil variere avhengig av vekstvilkår og tomatsort (Hayes et al. 1998). Under prosessering vil faktorer som fuktighet, eksponering for oksygen, temperatur og tilstedeværelse av antioksidanter alle påvirke det endelige karoteninnholdet (Hui et al. 2004). Videre kan det også oppstå brune pigmenter i tomaten som en konsekvens av maillardreaksjoner. Dette vil avhenge av mengden sukker og aminosyrer, pH, samt tid-temperaturforhold under prosessering (Hui et al. 2004). Det finnes en rekke metoder for å måle fargen til tomatprodukter. Av disse kan nevnes ”Munsell spinning disk colorimeter”, ”Tristimus color meter” og ”Reflectance spectrophotometer” (Hayes et al. 1998).

#### **1.4.3 pH**

En annen viktig kvalitetsparameter er pH som i tomat vil gi en indikasjon på innholdet av organiske syrer. I tomater er det sitronsyre som utgjør den største bestanddelen og som dermed har størst påvirkning på pH (Wilkerson et al. 2013). Imidlertid vil både tomatsort og grad av modenhet påvirke pH (Anthon et al. 2011). Videre vil også produksjon av puré påvirke pH, da hot break tomatpuré har et lavere titrerbart syreinnhold og høyere pH enn det cold break tomatpuré har. Bakgrunnen for dette er at oppvarmingen under cold break-produksjon ikke er tilstrekkelig for å deaktivere de pektolytiske enzymene og man får dermed en nedbrytning av pektin som øker mengden tilgjengelige syremolekyler (Stadtman et al. 1977). Konsistensen blir også påvirket av pH, på grunn av at syreinnholdet påvirker det totale pektininnholdet og dens egenskaper. En pH under 2,5 ved prosessering (pressing og oppvarming) resulterer i en større mengde med pektin, og en større form av den

esterifiserte formen siden pektolytiske enzymer er inaktivert (Paulson & Stevens 1974). Imidlertid er syre og pH en viktig faktor når man skal definere tid og temperatur i prosesseringen, siden høyere pH-verdier gir økt varmebehandling, som dermed vil påvirke andre kvalitetsparametere negativt (Thakur 1996).

Tomater har et naturlig innhold av syre, hvilket gjør at det kreves få tiltak for at produktet skal anses som mikrobielt trygt. Generelt sier man at ved en pH på 4.4 anses produktet som trygt (Anthon et al. 2011).

#### **1.4.4 Løselig tørrstoff**

Løselig tørrstoff utgjør også en viktig kvalitetsparameter i tomatpuré og uttrykkes ofte med °Brix. Som tidligere beskrevet utgjør glukose og fruktose de største konsentrasjonene av løselig tørrstoff i tomater. Innholdet av det løselige tørrstoffet hos tomater avhenger blant annet av tomat-sort og modningsgrad. Tomater med tidlig innhøsting har normalt et høyere innhold av løselig tørrstoff enn tomater som blir høstet inn sent i sesongen. Dette skyldes at mengden glukose og fruktose avtar over tid (Anthon et al. 2011).

Det løselige tørrstoffet kan også benyttes som en indikator på utbyttet fra produksjonen. En høy °Brix fører til at man kan benytte en lavere mengde tomat for å oppnå en gitt mengde av sluttproduktet, samtidig som det også vil føre til en hurtigere fordampningsprosess av vann under konsentrasjonen til tomatpuré (Wilkerson et al. 2013).

#### **1.5 Reologi**

Reologi defineres som læren om flyt og deformasjon av materialer, og gir innsikt i ulike materielle fenomener gjennom å studere reaksjonen til et material når det utsettes for en kraft (Barnes 2000). Altså omhandler reologi forholdet mellom kraft, tid og deformasjon i ulike materialer. Med materialer menes fast stoff, væsker og gasser. Både i industrielle og dagligdagse sammenhenger er reologi meget viktig (Barnes 2000). Under produksjonsprosesser vil parametere som hvordan et råstoff beveger seg gjennom rør, hvordan det lar seg pumpe og blande, være svært viktig.

I forbrukerens hverdag vil også reologiske parametere spille en viktig rolle, som for eksempel om påført maling forblir på husveggen eller om ketchup flyter av produktet det blir påført. I slike sammenhenger snakker vi ofte om viskositeten til et material.

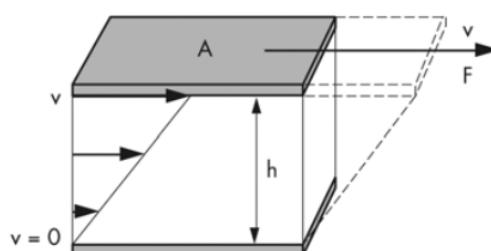
I samtlige flytende fluider (væske og gass), vil molekylene vise en relativ bevegelse mellom hverandre. Disse bevegelsene vil alltid være kombinert med interne friksjonskrefter som bidrar til at det hos samtlige fluider i bevegelse vil oppstå en spesifikk indre flytmotstand, nærmere bestemt en viskositet (Mezger 2011).

Viskositet har sin opprinnelse fra det latinske uttrykket *viscosus* som betyr klebrig, og kan altså beskrives som et fluids indre motstand mot flyt, ved at ulike lag i fluidet beveger seg med ulik hastighet (Mezger 2011). Matematisk kan skjærviskositet ( $\eta$ ) beskrives som forholdet mellom motstanden mot skjærspenning ( $\tau$ ) og skjærhastighet ( $\dot{\gamma}$ ) og uttrykkes på følgende måte i **likning 1** (Mezger 2011):

$$\eta = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} \quad \text{likning 1}$$

### 1.5.1 Skjærspenning og skjærhastighet

Spenning er kraften som virker på en overflate per flate-enhet (F/A). Dette illustreres i **figur 6** som viser en kraft (F) som blir påført tangentielt til området A. Området A tilsvarer mellomrommet mellom den øverste platen og væsken under, hvor påføringen av F vil føre til at væskelaget flyter. Denne flythastigheten (v) som potensielt sett kan bli vedlikeholdt av den påførte kraften, blir kontrollert av den indre motstanden til væsken, altså dens viskositet.



**Figur 6:** *To-platemodellen for skjærtester; hastighetsfordelingen til et strømmende fluid (Mezger 2011).*

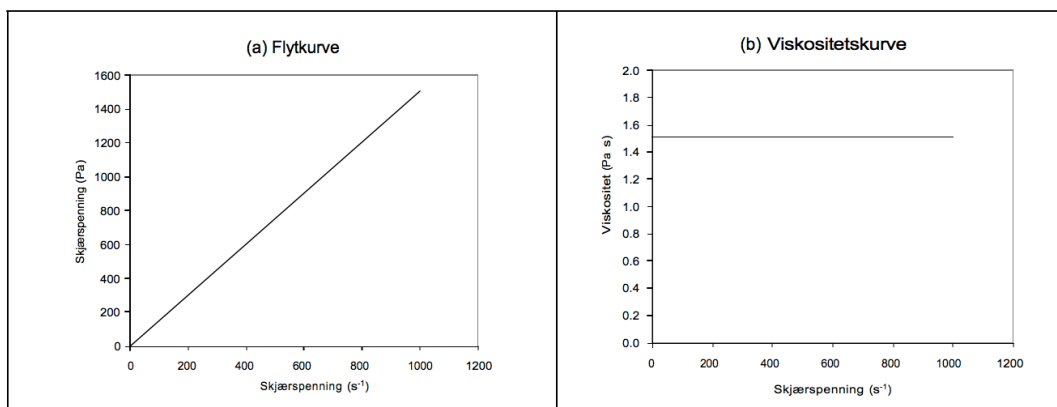
En væske kan bli modellert som et material som består av en rekke ulike lag når den beveger seg over/på en overflate. Her vil det øverste laget bevege seg hurtigst og dermed dra med seg laget under med en noe lavere hastighet. Dette pågår gjennom de ulike lagene frem til at laget nærmest overflaten blir stasjonært. Denne kraften som beveger væsken er altså skjærspenning (**likning 2**), mens hastighetsgradienten for denne bevegelsen beskrives som skjærhastighet (**likning 3**) (Schramm 2000).

$$\tau = \frac{F \text{ (kraft)}}{A \text{ (område)}} = \frac{N \text{ (Newton)}}{m^2} = Pa \text{ (Pascal)} \quad \text{likning 2}$$

$$\dot{\gamma} = \frac{dv}{dh} = \frac{m/s}{m} = \frac{1}{s} = s^{-1} \quad \text{likning 3}$$

### 1.5.2 Newtonske fluider

Begrepet ideelt viskøs og newtonsk flytoppførsel er synonyme. I newtonske fluider vil en mikroskopisk liten skjærspenning initiere flyt av fluidet, hvor skjærspenningen vil være direkte proporsjonal med skjærhastigheten (Vicente 2012). Dette medfører at en flytkurve ved en gitt temperatur og trykk dermed vil være lineær og gå gjennom origo, som illustrert i **figur 7**. Som flytkurven i **figur 7a** viser er viskositeten konstant. Ved en omgjøring av flytkurven til en viskositetskurve, som vist i **figur 7b**, illustreres den konstante viskositeten i forhold til skjærhastigheten.



**Figur 7:** Flytkurve (a) og viskositetskurve (b) for fluider med Newtonsk oppførsel. Alle avvik fra den Newtonske oppførselen karakteriseres som Ikke-newtonsk (Vicente 2012).

Viskositeten til rene newtonske fluider er uavhengig av kreftene som virker på fluidet og er kun avhengig av temperatur og trykk (figur 7b). Imidlertid vil sammensetningen av fluidet kunne påvirke dette. Dette gjør at den kjemiske sammensetningen dermed vil kunne påvirke viskositeten (Vicente 2012). Det eksisterer en rekke ulike newtonske fluider, slik som ulike typer mineraloljer, silikonoljer og løsemidler slik som aceton (Mezger 2015).

### 1.5.3 Ikke-newtonske fluider

I motsetning til newtonske fluider viser ikke ikke-newtonske fluider et lineært forhold mellom skjærspenning og skjærhastighet. Viskositeten til ikke-newtonske fluider beskrives vanligvis som tilsynelatende viskositet, nettopp fordi viskositeten avhenger

av skjærhastigheten den måles ved (Kimball 1999). Ikke-newtonske fluider kan deles opp i to grupper (Ibarz & Barbosa-Cánovas 2003):

1. Tidsuavhengig oppførsel

- Pseudoplastiske fluider (skjærtynnende)
- Dilatante fluider (skjærtykkende)
- Plastiske fluider (omtales ikke ytterligere i denne oppgaven)

2. Tidsavhengig oppførsel

- Tiksotropiske fluider
- Reopektiske fluider (omtales ikke ytterligere i denne oppgaven)

1. Tidsuavhengig oppførsel:

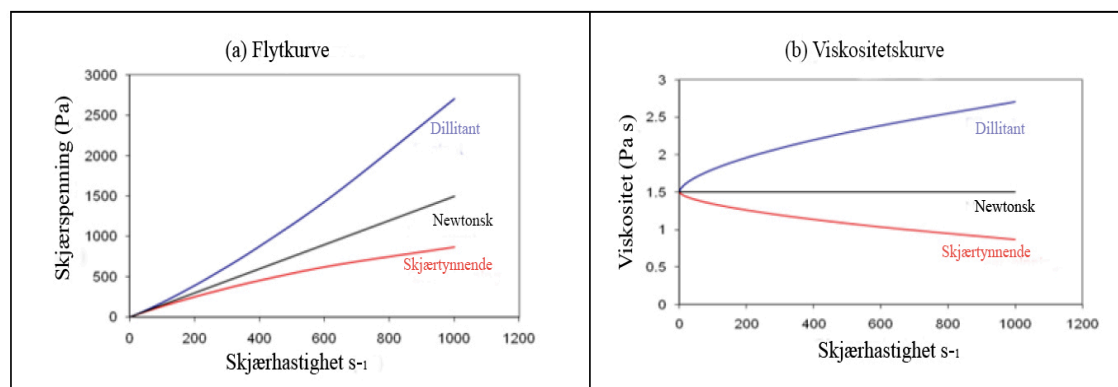
**Pseudoplastiske fluider** er tidsuavhengige og viskositeten vil dermed ikke bli påvirket av tidsrommet som påført skjærspenning strekker seg over. Pseudoplastiske fluider blir tynnere når skjærhastigheten øker, frem til at viskositeten når maksimal viskositet og dermed er skjærtynnende. Denne oppførselen oppstår ved økende skjærhastighet og dermed vil partiklene som befinner seg suspendert i fluidet starte å følge retningen med strømmen. Det vil oppstå en deformering av strukturen til fluidet som fører til brudd av aggregater ved en viss skjærhastighet, hvilket fører til en begrensning av viskositeten (Björn et al. 2012). Materialer slik som lim og shampo er pseudoplastiske fluider (Mezger 2015). Når en slik oppførsel blir plottet i et diagram med skjærhastighet og skjærspenning, vil flytkurven bevege seg gjennom origo, som vist i **figur 8** (Vicente 2012).

En annen type tidsuavhengig fluider er **dilatante**. Slike fluider får en økning i viskositet når de for eksempel blir rørt eller ristet, altså vil viskositeten øke proporsjonalt med økningen av skjærhastighet (figur 8). Som for pseudoplastiske væsker vil varigheten av denne påvirkningen ikke ha noen effekt. Altså vil ikke strukturen til materialet gå tilbake til sin opprinnelige stand når den først er deformert. Materialer slik som honning, sement og keramiske suspensjoner er alle dilatante fluider (Björn et al. 2012).

Tidsavhengig oppførsel

Generelt sett er **tiksotropiske** fluider dispersjoner som vil oppføre seg som et fast stoff når de er i ro. Bakgrunnen for dette er et intermolekylært system av krefter som bidrar til å øke viskositeten (Björn et al. 2012). For å få denne typen fluid til å flyte

må det tilføres nok energi til å bryte disse intermolekylære kreftene. Når strukturen er brutt vil viskositeten reduseres inntil den laveste mulige konstante skjærhastighet er oppnådd (Schramm 2000). Viskositeten til tiksotropiske fluider er tidsavhengig, hvilket vil si at når tilføringen av krefter er avsluttet og væsken er i ro, vil konstruksjonen bygge seg gradvis opp igjen (Björn et al. 2012). Typiske tiksotropiske fluider er spraymaling og ketchup (Mezger 2015).



**Figur 8:** Flytkurve (a) og viskositetskurve (b) for skjærtynnende fluider (pseudoplastisk), dillitante fluider (skjærtykkende) og Newtonsk fluider (Vicente 2012).

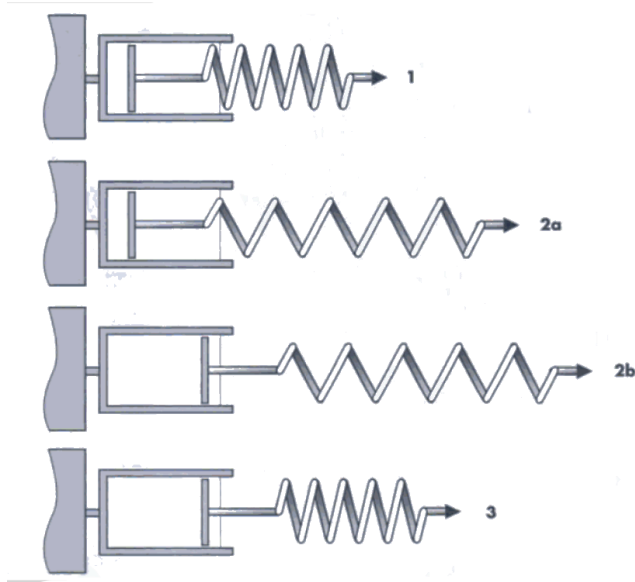
#### 1.5.4 Viskoelastisk oppførsel

Et viskoelastisk fluid kan beskrives som et fluid som både har væskeliknende (viskøs) og fast stoff-liknende (elastisk) oppførsel. Den viskøse delen av fluidet oppfører seg i henhold til Newtons lov (**likning 4**), mens den elastiske delen oppfører seg i henhold til Hookes lov (**likning 5**) (Mezger 2011).

$$\text{Newtons lov:} \quad \eta = \frac{\tau_v}{\dot{\gamma}} \quad \text{eller} \quad \dot{\gamma} = \frac{\tau_v}{\eta} \quad \text{likning 4}$$

$$\text{Hookes lov:} \quad G = \frac{\tau_e}{\gamma_e} \quad \text{eller} \quad \gamma_e = \frac{\tau_e}{G} \quad \text{likning 5}$$

En velkjent metode for å illustrere viskoelastisk oppførsel er Maxwell modellen, vist i **figur 9**, som benytter en fjær og en støtdemper som er seriekoblet (Mezger 2011).



**Figur 9:** Et viskoelastisk fluid under deformasjon etter Maxwell modellen (Mezger 2011).

**Fase 1)** Før komponentene blir påført belastning er de ikke deformert.

**Fase 2)** Belastningsfasen. **2a)** Når kraften påføres er det kun fjæren som viser en umiddelbar respons på den påførte kraften, ved at den deformeres. Dette skjer frem til at den når en konstant nedbøyningsverdi som er proporsjonal med den konstante verdien til den påvirkende kraften. Dette gjør altså at det kun er fjæren som blir deformert med en gang kraften er påført. **2b)** Etter hvert vil også stempelen i støtdemperen begynne å bevege seg, hvor denne bevegelsen opprettholdes så lenge kraften påføres. Ved at den påførte kraften opprettholdes vil man etter en periode nå se at begge komponentene har blitt deformert tilsvarende den påførte kraften.

**Fase 3)** Når den påførte kraften fjernes vil det resultere i at fjæren responderer elastisk ved at den trekker seg umiddelbart tilbake igjen, mens dashpotten forblir uendret.

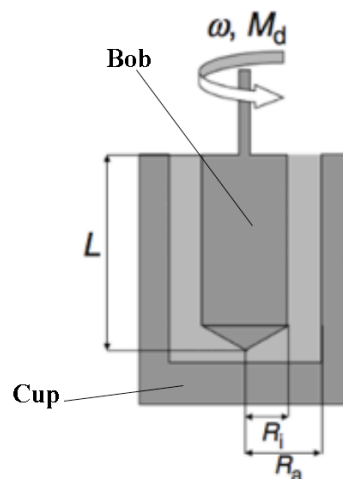
Etter en slik påføring av kraft vil en prøve forbli delvis deformert. Graden av re-formasjon vil være representert av den elastiske delen, mens omfanget av permanent deformasjon korresponderer til den viskøse delen. Når re-formasjonen ikke er komplett vil deformasjonen være irreversibel på grunn av at prøven har endret form på slutten av prosessen. Dermed oppfører materialet seg som en væske og vil i dette tilfellet bli referert til som en viskoelastisk væske (Mezger 2011).

## 1.6 Reologiske målemetoder

### 1.6.1 Roterende reometer

Roterende reometer er mye benyttet til forskning på grunn av dens mange muligheter for reologiske målinger av newtonske og ikke-newtonske fluider. Prinsippet bak et roterende reometer baserer seg på viskøse drag som en funksjon av hastigheten til det roterende legemet som er i kontakt med fluidet. Valg av målesystem (geometri) avhenger av karakteristikene til fluidet. Eksempler på slike geometrier er kjegle og plate, plate og plate og konsentrisk sylinder, for å nevne noen. Imidlertid vil kun konsentrisk sylinder bli beskrevet nærmere, da denne typen geometri ble benyttet i denne oppgaven.

Et konsentrisk målesystem vil bestå av en indre sylinder (bob) og en ytre sylinder (cup), som vist i **figur 10**. Det finnes to ulike versjoner av denne typen målesystem, avhengig av om det er bob eller cup som roterer rundt. Vi skiller derfor mellom Searle systemet og Couette systemet, hvor førstnevnte har en roterende bob og en stasjonær cup, mens sistnevnte har en roterende cup og en stasjonær bob (Bröckel et al. 2013; Steffe 1996). I denne oppgaven er det et Searle system som er benyttet og som derfor beskrives nærmere.



**Figur 10:** Konsentrisk målesystem der bob (indre sylinder) og cup (ytre sylinder) er markert (Mezger 2015).

Rotasjonen som utøves av boben gjør at fluidet blir presset til å strømme mellom sylindrene. På grunn av dette dannes det et dreiemoment som utøves på den indre sylindren og motvirker dermed dreiemomentet som skapes av motoren. Dette dreiemomentet overvåkes av en sensor, som ofte er ei fjær som er plassert mellom motoren og akselen til den indre sylindren. Vridningen av denne fjæren som oppstår vil være en direkte måling av motstanden som fluidet yter mot strømning, altså dens



viskositet (Bröckel et al. 2013).

Skjærhastigheten og skjærspenningen bestemmes ut fra rotasjonshastighet, geometrien til sylindrene og dreiemomentet i systemet. Når en bob roterer rundt ved en vinkelhastighet ( $\omega$ ) kan skjærhastigheten bestemmes ved hjelp av **likning 6** der  $R_i$  og  $R_a$  er radiusen til henholdsvis bob og cup (Bröckel et al. 2013):

$$\dot{\gamma} = 2\omega \frac{R_a^2}{R_a^2 - R_i^2} \quad \text{likning 6}$$

Hvis det målte dreiemomentet i boben er  $M_d$ , og  $L$  er høyden til boben, kan skjærspenning uttrykkes ved hjelp av følgende likning:

$$\tau = \frac{M_d}{2\pi L R_i^2} \quad \text{likning 7}$$

Ved at man nå har både skjærhastighet ( $\dot{\gamma}$ ) og skjærspenning ( $\tau$ ), kan skjærviskositeten ( $\eta$ ) nå kalkuleres ved å benytte likning 1 (Bröckel et al. 2013).

### 1.6.2 Herschel-Bulkley model

For å beskrive den reologiske oppførselen til tomatkonsentrater blir ofte Herschel-Bulkley modellen benyttet sammen med roterende reometere. Modellen knytter skjærspenningen ( $\tau$ ) opp mot skjærhastigheten ( $\dot{\gamma}$ ) ved hjelp av likningen:

$$\tau = \tau_y + K \cdot \dot{\gamma}^n \quad \text{likning 8}$$

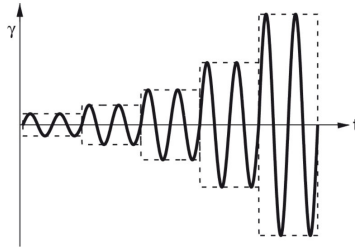
Der  $\tau_y$  er flytgrensen for materialet,  $K$  er consistency index ( $\text{Pa s}^n$ ) og  $n$  (dimensjonsløs) er flow behaviour index ( $n < 1$ ; skjærtykkende,  $n = 1$ ; Newtonsk,  $n > 1$ ; skjærtykkende). Consistency index gir en beskrivelse av viskositeten til fluidet. Avhengig av verdien til  $n$  kan materialet karakteriseres som skjærtynnende, newtonsk eller skjærtykkende (Björn et al. 2012; Mezger 2015).

### 1.6.3 Amplitude sweep

Ved å benytte amplitude sweep ønsker man å beskrive deformasjonsoppførselen til prøver i det ikke-destruktive deformasjonsområdet ved å bestemme den øvre grensen til dette området. I tillegg er det ofte interessant å karakterisere oppførselen til materialet hvis denne øvre grensen blir overskredet med økende deformasjon. Med dette menes å se nærmere på hvordan materialet oppfører seg når den indre strukturen

blir mykere og begynner å flyte, eller brytes ned (Mezger 2015).

I en amplitude sweep vil avbøyningen i målesystemet økes trinnvis fra ett målepunkt til det neste, samtidig som frekvensen holdes konstant. Dette er illustrert i **figur 11**.

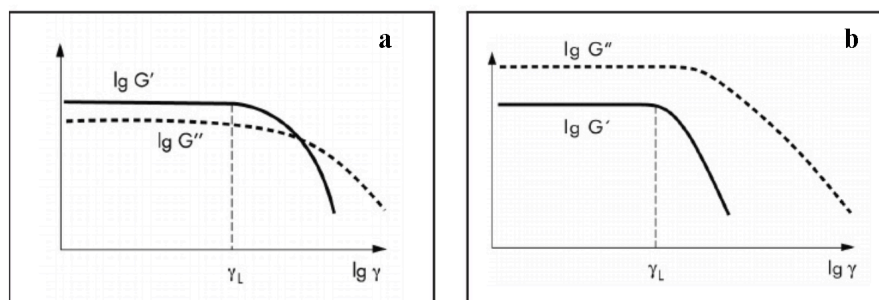


**Figur 11:** *Trinnvis bevegelse (amplitude sweep), med en økning av amplituden over fem trinn, der frekvensen holdes konstant gjennom alle målepunktene (Mezger 2015).*

Det finnes to metoder for gjennomføring av amplitude sweep (Mezger 2015):

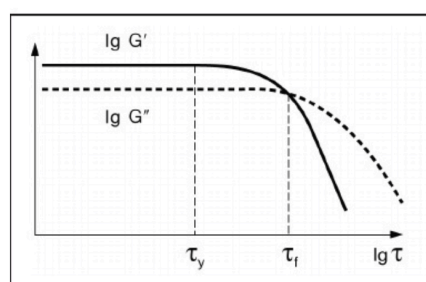
1. **Strain sweep** (Shear-strain-amplitude sweep, med kontrollert skjærdeformasjon, CSD)
2. **Stress sweep** (Shear-stress-amplitude sweep, med kontrollert skjærspenning CSS)

For å illustrere måleresultatene fra en amplitude sweep benyttes tradisjonelt sett et diagram der skjærspenning er plottet på x-aksen, mens lagringsmodul ( $G'$ ) og tapsmodul ( $G''$ ) er plottet på y-aksen, hvor begge aksene er på en logaritmisk skala. To slike diagrammer er presentert i **figur 12 a** og **b**.  $G'$  beskriver de elastiske egenskapene,  $G''$  beskriver de viskøse egenskapene, og begge måles i Pascal (Pa) (Mezger 2015; Steffe 1996). Som regel vil det være det lineære viskoelastiske området (LVE-området) som blir bestemt først. LVE-området beskriver området der den aktuelle prøven kan testes uten at strukturen til prøven blir ødelagt. Dette området befinner seg i figur 12, der slutten er markert  $\gamma_L$  (Mezger 2015).



**Figur 12:** *Resultatdiagram fra to ulike amplitude sweeps. I figur a kan man se at  $G' > G''$ , dermed har prøven en mer gel/fast stoff struktur, mens i figur b er  $G'' > G'$  og prøven er en væske. I begge figurene representerer  $\gamma_L$  slutten på LVE-området.*

Videre blir ofte verdiene til  $G'$  og  $G''$  i LVE-området også vurdert. Bakgrunnen for dette er at disse verdiene beskriver den viskoelastiske karakteren til prøven. I tilfeller der  $G' > G''$  tilsier dette at prøven har en gel-liknende og fast struktur, og kan dermed bli betegnet som et viskoelastisk fast materiale. Derimot vil en  $G'' > G'$  tilsa at prøven har en fluid-liknende struktur og kan betegnes som en viskoelastisk væske. Ved å gjennomføre amplitude sweeps får man også muligheten til å bestemme både flytgrense og flytpunkt til den aktuelle prøven. Ved slutten av LVE-området vil man kunne finne flytgrensen, uttrykt som skjærspenning. Flytpunktet, uttrykt som  $\tau_f$  vist i **figur 13**, er verdien til skjærspenningen når  $G'$  og  $G''$  krysser hverandre, altså når  $G' = G''$ . Når skjærhastighet økes fra denne verdien vil den viskøse delen av prøven dominere og prøven vil dermed begynne å flyte (Mezger 2015).



**Figur 13:** Amplitude sweep av et ukjent material, der flytgrensen  $\tau_y$  betegner slutten av LVE-området, og flytpunktet  $\tau_f$  når  $G' = G''$  (Mezger 2015).

## 2. Materialer og metoder

### 2.1 Prøveuttak, Idun Rygge

Det ble tatt prøver av totalt ti batcher med tomatpuré fra henholdsvis Guadiana (Spania), Morning Star (USA) og Olam (USA). En komplett liste med batch og lot-nr finnes i **vedlegg A**. Kassene med tomatpurésekker ble satt på rullebånd og deretter transportert til fattømmeren. Under denne prosessen ble benyttet tid inn og ut av fattømmer registrert. I tillegg til dette ble også temperaturen i tomatpuréen målt i fattømmeren. Uttak av prøver ble gjort manuelt i fattømmeren, før tomatpuréen ble pumpet inn i buffertanken. Frem til aktuelle analyser ble gjennomført ble prøvene lagret ved 4 °C. Uregelmessigheter under produksjonen ble også registrert. Med uregelmessigheter regnes observasjoner av slag og risting i rør og pumper som svar på at pumpesystemet har vanskelig for å overføre tomatpuréen fra fattømmer til buffertank. **Figur 14** viser bilder tatt av produksjonsanlegget til Idun Rygge, der transportbåndet for kasser med tomatpuré inn til fattømmer og selve fattømmeren er vist.



**Figur 14:** *Produksjonsanlegget til Idun, der transportbåndet for kasser med tomatpuré inn til fattømmer er illustrert til venstre og fattømmer med tomatpuré vises til høyre.*

Av analysene som ble gjennomført i denne oppgaven er henholdsvis serumviskositet, Bostwick, °Brix, pH og totalt syreinnhold en del av kvalitetskontrollen hos Idun. For å øke reproduksjonsbarheten av prøvene hos Idun, ble deres prosedyrer for disse analysene valgt. Prosedyre for måling av kvalitetsparametere hos Idun Rygge ligger som **vedlegg B**.

## 2.2 Analyser

### 2.2.1 Bostwick

Konsistens og strømningshastighet ble bestemt ved hjelp av et Bostwick consistometer (CSC Scientific Company Inc., VA, USA) med gradering i cm som vist i **figur 15**. Et Bostwick consistometer kan beskrives som et relativt enkelt apparat som benyttes til å evaluere flyteegenskapene til ulike matvarer.



**Figur 15:** *Bostwick consistometer (CSC Scientific Company Inc., VA, USA).*

Prøvematerialet ble klargjort ved at 100 g tomatpuré ble fortynnet med destillert (ionisert) vann til 12,5 °Brix. Dette ble så blandet til en homogen løsning ved hjelp av en stomacher (Interscience-Bag mixer 400P, St nom, Frankrike) i 90 sekunder. For å oppnå ønsket °Brix ble nødvendig mengde tilsatt destillert vann beregnet ved hjelp av **likning 9** og **10**: (Eksempel med 30 °Brix)

$$\text{mengde dest. vann} = \frac{(\text{målt } ^\circ\text{Brix} \times 100)}{12,5 \text{ } ^\circ\text{Brix}} \quad \text{likning 9}$$

$$\text{mengde dest. vann} - 100 = \text{mengde dest. vann for 12 } ^\circ\text{Brix} \quad \text{likning 10}$$

Før og etter fortynning ble temperaturen i prøvematerialet målt ved hjelp av et digitalt termometer (Ebro TFX 410, Xylem Inc, Ingolstadt, Tyskland). Dette for å kontrollere at den aktuelle prøven holdt romtemperatur (20 °C). Etter gjennomført fortynning og blanding ble samtlige prøver satt i ro i 30 minutter slik at behandlingen i stomacheren ikke skulle påvirke prøvematerialets viskositet. Deretter ble consistometeret satt i vater, fylt med prøvemateriale og kammeret åpnet. Etter 30 sekunder ble lengden som prøvematerialet hadde beveget seg registrert ved hjelp av centimeterskalaen i consistometeret. Kammeret er gradert i 0,5 cm intervaller. På grunn av at temperatur

kan påvirke flyteegenskapene til materialet, er det viktig at prøvematerialet holder 20 °C. En stoppeklokke startes når porten åpnes, og etter 30 sekunder måles det hvor langt prøven har beveget seg nedover kammeret. Resultatet måles som sigelengde i cm (Steffe 1996).

### 2.2.2 Serumviskositet

For å måle serumviskositeten til tomatpuréen ble Ostwald-metoden sammen med et Cannon-fenske kapillærviskosimeter (Cannon-Fenske Routine Viscometer 971, Cannon Instrument, PA, USA) benyttet. Før oppstart med analysene ble korrigeringsfaktoren til kapillærviskosimeteret funnet. Dette ble gjort ved å kjøre 7,0 ml destillert vann gjennom kapillæret og måle tiden det benyttet gjennom. Ett gjennomsnitt av fire målinger ble så delt på 60 for å finne korrigeringsfaktoren.

Metoden krever at prøvematerialet har en °Brix på 6,0° +/- 0,1. Dette medførte at prøvematerialet måtte fortynnes. For å bestemme mengden med tomatpuré som skulle benyttes ble **likning 11** benyttet.

$$\frac{6,0}{^{\circ}\text{Brix} \times 200} = \text{total mengde tomatpuré} \quad \text{likning 11}$$

Den utregnede mengden med puré ble så tilført en stomacherpose (Seward Stomacher bag 400, London, England) i et begerglass. Det ble så tilsatt destillert vann til den totale vekten på innholdet var 200 g. Deretter ble eventuelle luftbobler i posen fjernet ved å dra stomacherposen over kanten på stomacheren og den ble deretter kjørt i 90 sekunder i maskinen (Interscience-Bag mixer 400P, St nom, Frankrike). Denne blandingen ble etterfulgt av en kontrollmåling av °Brix, ved hjelp av et digitalt refraktometer vist i **figur 16** (RFM-91, Bellingham-Stanley, Kent, England). I tilfeller der °Brix-verdien var for høy eller for lav ble prøven tilsatt mer vann eller mer prøvemateriale frem til at tre kontrollmålinger viste en °Brix-verdi på 6,0 +/- 0,1.

For å danne et serum ble prøven fordelt i to sentrifugerør med 12 ml prøvemateriale i hvert av dem ved hjelp av en pipette med en pelesballong (10-ml seriological pipet, cat. no. 356551. BD Falcon). Sentrefugerørene ble videre sentrifugert på 3600 runder per minutt i 10 minutter (Labofuge 200, Thermo scientific, Schwerte, Tyskland).



**Figur 16:** Måling av °Brix i tomatpuré ved hjelp av ett Bellingham/Stanley refraktometer (RFM-91, Bellingham-Stanley, Kent, England).

Serumet ble så filtrert gjennom ett VWR kvalitativt filterpapir nr 417 (>40 µm), etterfulgt av en pipettering (10-ml seriological pipet, cat. no. 356551. BD Falcon) av 7,0 ml av det filtrerte serumet til den store åpningen i viskometeret. Serumet ble så varmet opp i vannbad (ME-16G Visco Bath, Julabo GmbH, Seelbach, Tyskland) som vist i **figur 17** ved 30 °C i 10 minutter, før serumet ble sugd over M<sub>2</sub> i viskometeret ved hjelp av en pipette (Pipette Pump, 10ml, VWR scientific, PA, USA). Deretter ble pipetten fjernet og tiden fra serumet krysser M<sub>2</sub> og frem til det krysset M<sub>1</sub> ble registrert. Den registrerte tiden ble så benyttet til å beregne serumviskositeten ved hjelp av **likning 12**.

$$\text{serumviskositet} = \frac{(\text{Minutter} \times 60) + \text{sekunder}}{\text{Korrigeringsfaktor for kappillærrør}} \quad \text{likning 12}$$



**Figur 17:** ME-16G Visco Bath (Julabo GmbH, Seelbach, Tyskland) med kappilærviskometeret til venstre og Cannon-Fenske Routine Viscometer 971 (Cannon Instrument, PA, USA) til høyre.

### 2.2.3 °Brix

For å måle mengde løselig tørrstoff i de ulike tomatpuréene ble det benyttet et Bellingham-Stanley refraktometer (RFM-91, Bellingham-Stanley, Kent, England). Refraktometeret ble kalibrert før bruk ved hjelp av destillert vann slik at apparatet viste 0 °Brix. Etter gjennomført kalibrering ble prøvematerialet tilført prismet til refraktometeret og resultatet ble avlest som °Brix. Det ble gjennomført tre målinger per uttak, der resultatet er en snittmåling av disse tre.

### 2.2.4 Totalt syreinnhold og pH

Ved hjelp av et begerglass og digital vekt (Mettler PM4600, Mettler Instrument AG, Tyskland) ble 10 g tomatpuré veid opp, før 100 ml destillert vann ble tilsatt. For å løse opp prøvematerialet fullstendig ble det benyttet en rørestav. Når prøvematerialet var tilstrekkelig oppløst (alle store klumper var løst opp) ble begerglasset med magnet plassert på en magnetrører (Magnetic stirrer – lab disc, VWR scientific, PA, USA). Dette ble etterfulgt av en titrering med 0,1 M NaOH (Natriumhydroksid) ved hjelp av en automatpipette (Bürette digital III, Brand GMBH, Wertheim, Tyskland) og et pH-meter (Orion model 420A, Orion Research Inc, MA, USA) frem til pH var 8,2, som vist i **figur 18**. Før titreringen ble prøvematerialets utgangs-pH registrert. Antall milliliter forbrukt NaOH ble registrert og satt inn i **likning 13** for å beregne totalt syreinnhold.

$$\text{Totalt syreinnhold} = \frac{\text{antall ml brukt } 0,1 \text{ M NaOH} \times 0,64}{100 \text{ ml}}$$

**likning 13**



**Figur 18:** Titrering av tomatpuréløsning med 0,1 M NaOH for beregning av totalt syreinnhold.



### 2.2.5 Reologiske målinger

For å måle de reologiske egenskapene til tomatpuréen ble det benyttet et roterende reometer (MCR 301, Anton Paar GmbH, Graz, Østerrike). Reometeret ble utstyrt med en konsentrisk sylinder geometri CC27 (Anton Paar GmbH, Graz, Østerrike) med en bobradius på 13,33 mm og en cupradius på 14,46 mm. For å registrere og behandle innsamlet data var reometeret koblet opp mot et dataprogram, Rheoplus v3.40 (Anton-Paar, Graz, Østerrike).

Før hver analyse ble 4 ml med prøvemateriale fylt i cupen. Hver gjennomkjøring tok cirka 30 minutter og faktorene fordamping og oksidering blir derfor sett på som ubetydelige for resultatet (Moelants et al. 2012b). Det ble gjennomført for-forsøk for å bestemme best egnet geometri til tomatpuré, samt målemetoder og innstillinger. Disse forsøkene ble utført på to ulike tomatpuréer fra henholdsvis Landlord og Stavland, i tillegg til tre ulike batcher fra Morning Star.

De reologiske egenskapene til tomatpuréen ble undersøkt ved hjelp av flytkurver og Herschel-Bulkley metoden (bestemme viskositet, newtonsk/ikke-newtonsk og skjærspenningen) og oscillasjonstest (viskoelastisk oppførsel). Førstnevnte undersøkelse ble utført ved henholdsvis 10 °C og 25 °C, mens oscillasjonstesten kun er utført ved 10 °C. Dette for å unngå påvirkning av forrige gjennomkjøring. Imidlertid ble det samme prøvematerialet benyttet gjennom de to ulike testene ved en temperaturspesifikasjon. Analysene ble utført i en rekkefølge der den minst destruktive analysen ble gjennomført først; Flytkurve og Oscillasjon.

**Flytkurven** (skjærspenning mot skjærshastighet  $\tau = f(\dot{\gamma})$ ) og viskositetskurven (viskositet mot skjærshastighet:  $\eta=f(\dot{\gamma})$ ) ble målt ved å holde skjærshastigheten ved  $5 \text{ s}^{-1}$  i 30 sekunder, før en økning i skjærshastigheten fra  $0,001 \text{ s}^{-1}$  til  $100 \text{ s}^{-1}$  ble gjennomført over en tidsperiode på 5 sekunder. I tillegg ble dette benyttet som en verifisering på hvorvidt prøvematerialet var newtonsk eller ikke-newtonsk.

**Oscillasjon** ble gjennomført ved en konstant angulær frekvens ( $\omega$ ) på 10 rad/s og en kontrollert tøyningen hvor denne startet ved 0,01 % og gikk opp til 100 %. Dette for å bestemme omfanget av lineær viskoelastisk oppførsel, samt frekvensavhengigheten til lagrinsmodulen ( $G'$ ) og tapsmodulen ( $G''$ ) til tomatpuréen.

### 2.2.6 Teksturanalyse

For å gjennomføre teksturanalyser (Texture Profile Analysis - TPA) på tomatpuréen ble det i oppgaven benyttet en teksturanalysator (TA.HD Plus, Stable Micro Systems, Surrey, England), som vist i **figur 19**. Dette er et apparat som utfører objektive, direkte målinger ved å benytte kompresjons- og gjennomtrengningsanalyser, og kalkulerer TPA-parameterne ved hjelp av makroer i Exponent (Stable Micro Systems, Surrey, England, v6.14.0). En forklaring av de målte parameterne i denne oppgaven er gitt i **tabell 2**.



**Figur 19:** Til venstre; Teksturanalysator (TA.HD Plus, Stable Micro Systems, Surrey, England) og til høyre tilhørende probe på vei ned i PP-beger med tomatpuré.

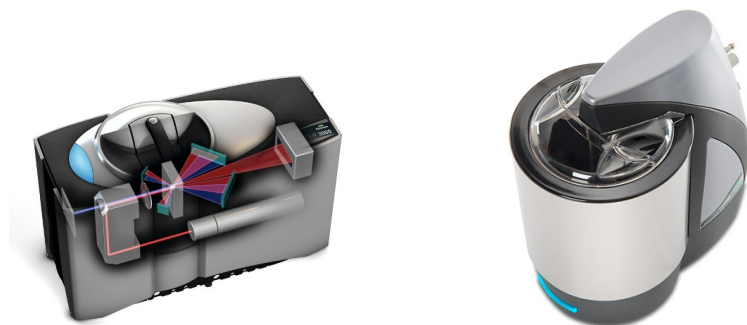
Til TPA-analysene ble det benyttet en 10 mm sylindreformet probe. Ett fullt PP-beger (180 ml) med tomatpuré ble plassert under proben i teksturanalysatoren. Før analysesekvensen ble startet ble proben senket ned til den befant seg rett over prøvematerialet. Ved initiering av analysen beveger proben seg ned mot prøvematerialet i 1.0 mm/s. Når den utløsende kraften på 0.049N er registrert på overflaten av prøven, vil proben trenge 10.0 mm videre inn i prøvematerialet, da ved en hastighet på 5.0 mm/s. Etter 10.0 mm inntrenging vil proben trekke seg tilbake igjen med en hastighet på 5.0 mm/s, før den gjentar den samme prosedyren en gang til. Begeret med prøvemateriale ble så vridd rundt, og den samme prosedyren ble gjentatt på tre plane områder i begeret for hver prøve.

**Tabell 2:** De benyttede parameterne i TPA-analysene med tilhørende forklaring.

Parameter	Forklaring
<b>Hardness</b>	Hardhetsverdien er toppkraften som oppstår under den første komprimeringen. Denne verdien beskriver i hvor stor grad materialet viser motstand mot deformasjon, uttrykt i gram.
<b>Gumminess</b>	Beskriver energien som trengs for å bryte ned et semi-fast material til en tilstand klar for svelging.
<b>Chewiness</b>	Beskriver energien som trengs for å bryte ned et fast material til en tilstand som gjør det mulig å svelge, som et produkt av Gumminess* Springiness
<b>Adhesiveness</b>	Beskriver den kraften som kreves for å trekke proben ut av prøven, uttrykt i gram/sekund. Kan beskrives som et mål på klebrighet.

### 2.2.7 Laserdiffraksjon

For å analysere partikkeldistribusjonen i tomatpuréen ble det benyttet en laserdiffraksjonsanalysator (Malvern Mastersizer 3000) fra Malvern Instruments (Worcestershire, England), som vist i **figur 20**. Ved hjelp av en rød og blå laser, henholdsvis 633 og 470 nm, måler apparatet partikkeldistribusjonen i prøven mellom 10 nm og 3,5 mm. Den innsamlede dataen blir så analysert ved hjelp av tilhørende dataprogram (Mastersizer 3000, v3.10) der man får kalkulert størrelsen til de ulike partiklene i prøven som forårsaket spredningen av lyset (laseren). For å overføre prøvematerialet til analysatoren ble det benyttet en pumpe (Malvern Hydro LV, Worcestershire, England)



**Figur 20:** Malvern Mastersizer 3000 til venstre, med tilhørende pumpe Malvern Hydro LV til høyre (Malvern Instruments, Worcestershire, England).

Til disse analysene ble det benyttet fortynnede løsninger med tomatpuré på 6 °Brix,  $\pm$  0,1. Det ble tilsatt ca. 5 ml med tomatpuré i omrøringstanken som var fylt med destillert vann. Det fortynnede prøvematerialet ble pumpet inn i målecellen ved hjelp av pumpesystemet. Den volumetriske partikkelstørrelsesfordelingen ble kalkulert ut fra intensitetsprofilen til det spredte lyset ved hjelp av instrumentets programvare.

Under analysene ble det benyttet en refraktiv indeks (RI) på 1,461, en absorpsjonsindeks på 0,003 og en sfærisk modell for partiklene. Mellom hver av analysene gikk maskinen gjennom en vaskesekvens og nytt destillert vann ble tilført maskinen. Parameterne  $D[v,0.1]$ ,  $D[v,0.5]$  og  $D[v,0.9]$  ( $\mu\text{m}$ ) indikerer den partikkeldiameteren hvor henholdsvis 10, 50 og 90 vol % av partiklene har en mindre diameter.

### 2.2.8 Fiberanalyse

På grunn av et stort prøvemateriale og en rekke omfattende analyser, ble fiberanalysene gjennomført av Eurofins AS i henhold til AOAC 2011.25. Dette er en metode som bestemmer løselig og uløselig-, høymolekylært og lavmolekylært-, samt totalt fiberinnhold i både flytende og fast føde.

### 2.3 Statistiske analyser

Statistiske analyser ble utført i R-commander (versjon 2.3.1). Reologiske målinger og tidsregistreringer ble analysert ved hjelp av toveis variansanalyse (ANOVA). I tilfeller der det ble funnet signifikante forskjeller ble datamaterialet analysert videre ved hjelp av post-hoc Tukeys HSD test (honest significant difference), for å kartlegge mellom hvilke variabler de signifikante forskjellene befant seg. For å beskrive styrken på en eventuell sammenheng mellom de målte parameterne ble det benyttet en korrelasjonsmatrise, Pearsons product-moment, etterfulgt av en toveis korrelasjonstest for å avgjøre om korrelasjonen var signifikant. De grafiske fremstillingene av lineær regresjon ble laget i Microsoft Excel 2010 (versjon 14.1.0). I samtlige statistiske analyser ble  $p \leq 0,05$  ansett som statistisk signifikant.

### 3. Resultater

#### 3.1 Observasjoner under produksjon av Idun Tomatketchup

I **tabell 3** presenteres gjennomsnittsmålinger for temperatur og benyttet tid ved overføring av tomatpuré inn og ut av fattømmer for samtlige batcher.

**Tabell 3:** Gjennomsnittsmålinger av serumviskositet, tid inn og ut av fattømmer, samt temperatur for samtlige batcher med tomatpuré (med standardavvik, SD). Batcher med observert uregelmessighet under pumping er merket med \*.

Batch	N	Serumviskositet [s]	Temperatur i batch [°C]	Tid inn i fattømmer [s]	Tid ut av fattømmer [s]
O1*	6	267,8	14,9	315	330
O2*	4	262,8	14,5	481	363
O3	3	201,3	14,8	188	324
O4	3	243,3	11,4	312	289
O5*	3	247,7	11,7	404	267
O6*	3	224	-1,6	331	436
G1	5	216,8	15,5	255	310
G2	3	205,3	7,5	240	332
G3	3	208,3	16,3	184	264
M1*	3	264,8	14,8	577	312
<b>Snitt</b>		<b>238</b>	<b>12,00</b>	<b>328</b>	<b>322</b>
<b>SD</b>		<b>24,8</b>	<b>5,12</b>	<b>120</b>	<b>47</b>

Uregelmessigheter ved overføring av tomatpuré ut av fattømmer ble registrert i fem av de totalt ti batchene og er vist i tabell 3. Målt gjennomsnittlig temperatur varierte fra -1,6 °C i batch O6 til 16,3 °C i batch G3. Gjennomsnittlig tidsforbruk for overføring av tomatpuré inn i fattømmer var 328 sekunder (SD 120 s) og 322 sekunder ut av fattømmer (SD 47 s).

Tidsforbruk for overføring av tomatpuré inn og ut av fattømmer med hensyn til serumviskositet ble analysert ved hjelp av en korrelasjonsmatrise. Resultatet er vist i **tabell 4**.

**Tabell 4:** Korrelasjonsmatrise med gjennomsnittsmålinger av serumviskositet, tid inn og ut av fettømmer, samt temperatur for samtlige batcher med tomatpuré.

	Serumviskositet	Tid inn i fettømmer	Tid ut av fettømmer	Temperatur i batch
Serumviskositet	1,00	0,81 <sup>X</sup>	0,036	0,20
Tid inn i fettømmer	0,81 <sup>X</sup>	1,00	0,20	0,03
Tid ut av fettømmer	0,036	0,20	1,00	-0,67 <sup>X</sup>
Temperatur i batch	0,20	0,03	-0,67 <sup>X</sup>	1,00

<sup>X</sup>: markerer signifikant korrelasjon (ANOVA,  $p \leq 0,05$ )

Signifikant positiv korrelasjon ble påvist mellom serumviskositet til tomatpuré og tid inn i fettømmer ( $p=0,0041$ ) (tabell 4). Ingen signifikant korrelasjon ble påvist mellom serumviskositet og tid ut av fettømmer. En negativ signifikant korrelasjon mellom temperaturen i tomatpuréen og tid ut av fettømmer vises i tabell 4. Det ble funnet signifikante forskjeller mellom batchene for tid inn og ut av fettømmeren ( $p < 0,05$ ). Tid inn og ut av fettømmeren ble derfor analysert ved hjelp av Tukey-test. Grupperingene av de ulike batchene er vist i **tabell 5** og **6**.

**Tabell 5:** Tukey-test for målinger av tid inn i fettømmer [s] for samtlige batcher med tomatpuré. Batcher med observert uregelmessighet under pumping er merket med \*. Ulike bokstaver i grupperingene markerer  $p \leq 0,05$ .

Batch	Serumviskositet [s]	Gjennomsnitt [s]	Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3
M1*	226	577	A		
O2*	262,75	481	A	B	
O5*	205	404	A	B	C
O6*	265	331	A	B	C
O1*	217	315	A	B	C
O4	201,33	312		B	C
G1	267,67	255		B	C
G2	243,33	240		B	C
O3	208	188			C
G3	247,66	184			C

Tukey-testen i tabell 5 viser signifikant forskjell mellom batchene med hensyn til tid inn i fettømmer. De uregelmessige batchene er representert i alle tre grupperinger. Batch M1 er registrert med høyest gjennomsnittstid inn i fettømmer og er signifikant ulik samtlige uregelmessige batcher.

**Tabell 6:** Tukey-test for målinger av tid ut av fattømmer [s] for samtlige batcher med tomatpuré. Batcher med observert uregelmessighet under pumping er merket med \*. Ulike bokstaver i grupperingene markerer  $p \leq 0,05$ .

Batch	Serumviskositet [s]	Gjennomsnitt [s]	Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3	Gruppe 4
O6*	226	436	A			
O2*	262,75	363		B		
G2	205	332			C	
O1*	265	330			C	
O3	217	324			C	
M1*	201,33	312			C	
G1	267,67	310			C	
O4	243,33	289				D
O5*	208	267				D
G3	247,66	264				D

Tukey-testen i tabell 6 viser signifikant forskjell mellom batchene med hensyn til tid ut av fattømmer. De uregelmessige batchene er representert i alle fire grupperinger. Batch O6 er registrert med høyest gjennomsnittstid ut av fattømmer og er signifikant ulik samtlige andre batcher.

### 3.2 Kvalitetsparametere

Tabell 7 presenterer korrelasjonsmatrise av gjennomsnittsverdier for målte kvalitetsparametere hos Idun, hhv Bostwick, serumviskositet, °Brix, syre og pH.

**Tabell 7:** Korrelasjonsmatrise med gjennomsnittsmålinger av samtlige kvalitetsparametere hos Idun for samtlige batcher med tomatpuré og ketchup.

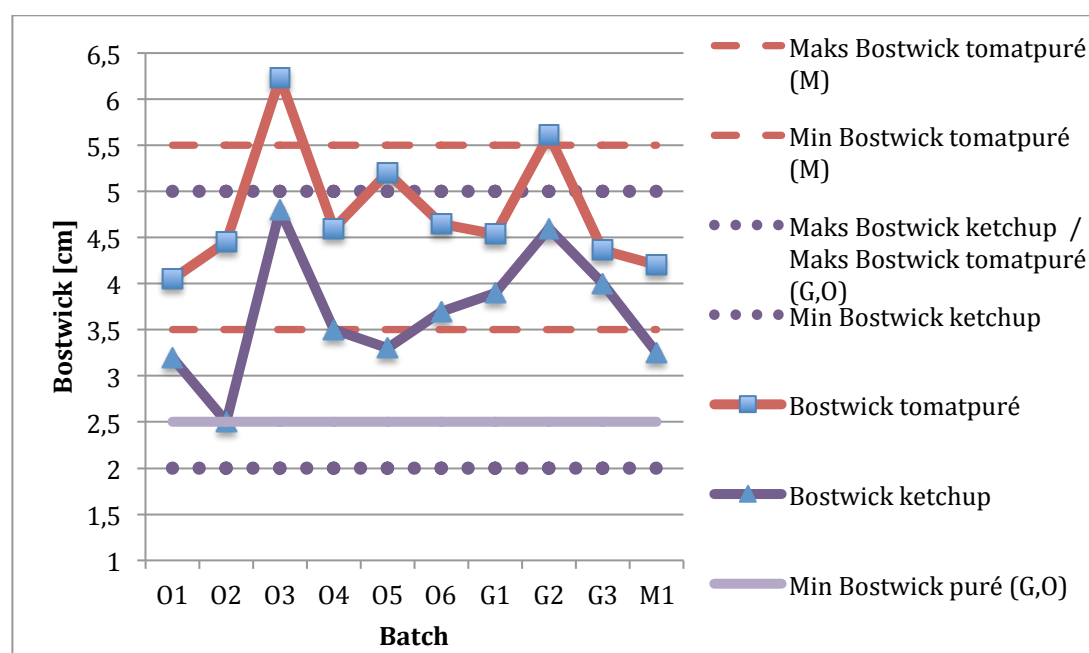
	Bostwick ketchup	Bostwick tomatpuré	°Brix ketchup	°Brix tomatpuré	Serumviskositet	Syre ketchup	Syre tomatpuré	pH ketchup	pH tomatpuré
Bostwick ketchup	1,00	0,55	-0,52	-0,68 <sup>X</sup>	-0,90 <sup>X</sup>	-0,47	-0,36	0,18	0,16
Bostwick tomatpuré	0,55	1,00	-0,05	-0,01	-0,50	0,07	0,45	-0,23	-0,55
°Brix ketchup	-0,52	-0,05	1,00	0,62	0,47	0,73 <sup>X</sup>	0,52	-0,67 <sup>X</sup>	-0,46
°Brix tomatpuré	-0,68 <sup>X</sup>	-0,01	0,62	1,00	0,77 <sup>X</sup>	0,52	0,69 <sup>X</sup>	-0,51	-0,48
Serumviskositet	-0,90 <sup>X</sup>	-0,50	0,47	0,77 <sup>X</sup>	1,00	0,33	0,33	-0,25	-0,16
Syre ketchup	-0,47	-0,07	0,73 <sup>X</sup>	0,52	0,33	1,0	0,61	-0,61	-0,44
Syre tomatpuré	-0,36	0,45	0,52	0,69 <sup>X</sup>	0,33	0,61	1,00	-0,74 <sup>X</sup>	-0,92 <sup>X</sup>
pH ketchup	0,18	-0,23	-0,67 <sup>X</sup>	-0,51	-0,25	-0,61	-0,74 <sup>X</sup>	1,00	0,74 <sup>X</sup>
pH tomatpuré	0,16	-0,55	-0,47	-0,48	-0,16	-0,44	-0,92 <sup>X</sup>	0,74 <sup>X</sup>	1,00

<sup>X</sup>: markerer signifikant korrelasjon ( $p \leq 0,05$ )

Det ble registrert signifikante korrelasjoner mellom flere av kvalitetsparameterne i tomatpuré og ketchup (tabell 7). °Brix i tomatpuré hadde en negativ korrelasjon med Bostwick i ferdig ketchup ( $p=0,028$ ) og en positiv korrelasjon med serumviskositet i tomatpuré ( $p=0,009$ ). Ingen signifikant korrelasjon ble påvist mellom °Brix i tomatpuré og °Brix i ketchup. Bostwick i ketchup viste en signifikant negativ korrelasjon til målt serumviskositet i tomatpuré ( $p<0,001$ ). For syreinnhold i tomatpuré ble en signifikant negativ korrelasjon observert med pH i tomatpuré ( $p<0,001$ ) og pH i ketchup ( $p=0,014$ ). En signifikant positiv korrelasjon ble observert mellom syreinnhold i tomatpuré og °Brix i tomatpuré ( $p=0,024$ ).

### 3.2.1 Bostwick og serumviskositet

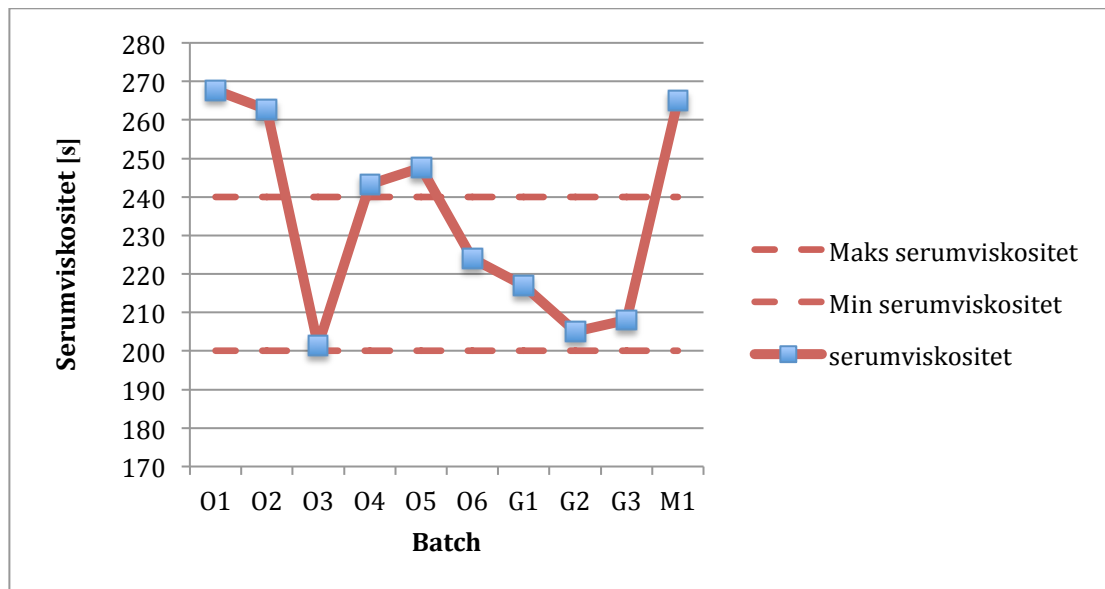
Bostwick til tomatpuré og tilhørende ketchup ble målt og resultatene presenteres i **figur 21**.



**Figur 21:** Gjennomsnittsmålinger av Bostwick (sigelende i cm) for samtlige batcher med tomatpuré og tilhørende ketchup. Spesifikasjon for Bostwick i tomatpuré er angitt ved stiplet linje, spesifikasjon for Bostwick i ketchup er angitt ved prikket linje, gjennomsnittlig Bostwick i tomatpuré er angitt ved kvadrat og gjennomsnittlig Bostwick i ketchup er angitt ved trekant. (M) = Morning Star, (G,O) = Guadiana og Olam.

Av de totalt ti batchene med tomatpuré var to batcher utenfor spesifikasjon med hensyn til Bostwick ( $4,5 \pm 1,0$  cm), henholdsvis batch O3 og G2 (figur 21). I ferdig ketchup var samtlige batcher med ketchup innenfor spesifikasjonen til Bostwick. Gjennomsnittsmålinger av serumviskositet til hver batch er illustrert i **figur 22**.

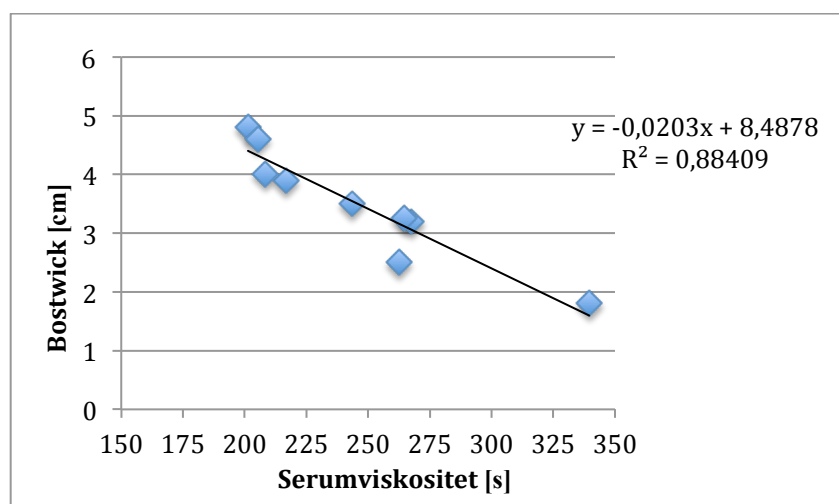




**Figur 22:** Gjennomsnittsmålinger av serumviskositet ved 6 °Brix i samtlige batcher med tomatpuré angitt ved punktkvadrater. Spesifikasjon for serumviskositet i tomatpuré er angitt ved stiplet linje.

Av de totalt ti batchene med tomatpuré befant fem av disse seg utenfor spesifikasjon med hensyn til serumviskositet (200-240 s), henholdsvis batch O1, O2, O4, O5 og M1 (figur 22).

En lineær regresjonsanalyse for serumviskositet i tomatpuré og Bostwick i ketchup viser sammenhengen mellom disse to parameterne i **figur 23**.

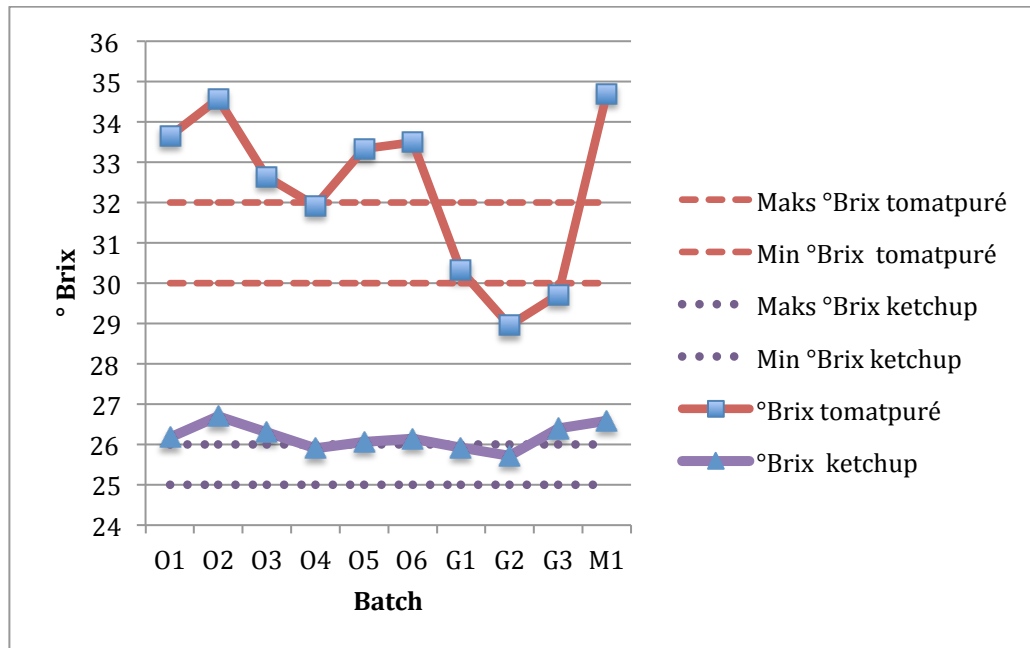


**Figur 23:** Lineær regresjonsanalyse for serumviskositet [s] i tomatpuré og Bostwick [cm] i tilhørende ketchup.

Regresjonsanalysen for sammenhengen mellom serumviskositet i tomatpuré og Bostwick i tilhørende ketchup gav en  $R^2$  – verdi på 0,884. Tilsvarende regresjonsanalyse for sammenhengen mellom serumviskositet i tomatpuré og °Brix i ketchup viste ingen signifikant sammenheng ( $p > 0,05$ ) ( $R^2 = 0,1241$ ).

### 3.2.2 °Brix

**Figur 24** viser gjennomsnittsmålinger av °Brix i samtlige batcher med tomatpuré og tilhørende ketchup.

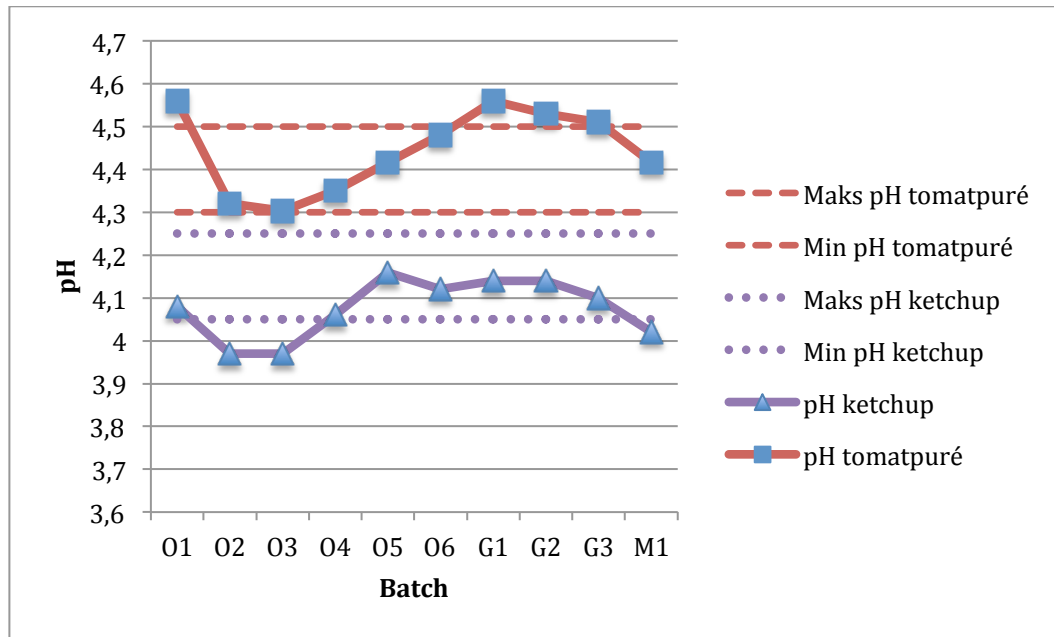


**Figur 24:** Gjennomsnittsmålinger av °Brix for samtlige batcher med tomatpuré og tilhørende ketchup. Spesifikasjon for °Brix i tomatpuré er angitt ved stiplet linje, spesifikasjon for °Brix i ketchup er angitt ved prikket linje, gjennomsnittlig °Brix i tomatpuré er angitt ved kvadrat og gjennomsnittlig °Brix i ketchup er angitt ved trekant.

Gjennomsnittlig Brixverdi for de totalt ti batchene med tomatpuré, vist i figur 24, varierte fra 28,95 til 35,23 °Brix. Av disse ti var åtte av batchene med tomatpuré utenfor spesifikasjon (30-32 °Brix). For tilsvarende batcher med ketchup var totalt sju batcher utenfor spesifikasjon (25-26 °Brix) og gjennomsnittsmålingene varierte fra 25,72 til 26,7 °Brix.

### 3.2.3 pH

Figur 25 presenterer målinger av pH i tomatpuré og ketchup med hensyn til spesifisering.

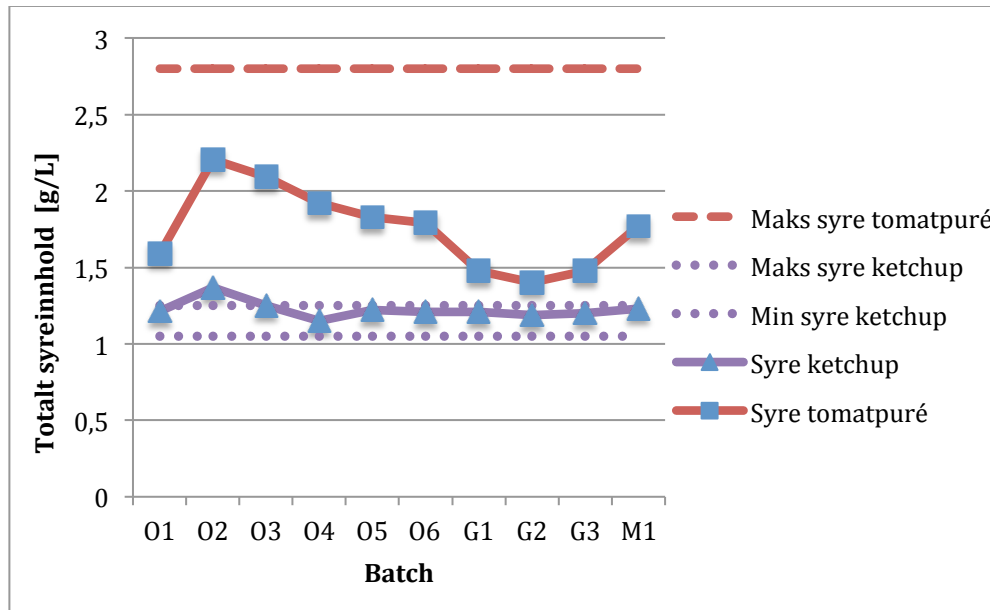


Figur 25: Gjennomsnittsmålinger av pH for samtlige batcher med tomatpuré og tilhørende ketchup. Spesifisering for pH i tomatpuré er angitt ved stiplet linje, spesifisering for pH i ketchup er angitt ved prikket linje, gjennomsnittlig pH i tomatpuré er angitt ved kvadrat og gjennomsnittlig pH i ketchup er angitt ved trekant.

Målt gjennomsnittlig pH i de ti ulike batchene med tomatpuré varierte, som vist i figur 25, fra pH 4,30 til 4,56. Batchene O1, G1, G2 og G3 med tomatpuré hadde alle en pH-verdi utenfor spesifisering. I de tilhørende ketchupbatchene varierte gjennomsnittlig pH fra 3,97 til 4,16. Av disse var batch O2, O3 og M1 utenfor spesifisering med hensyn til gjennomsnittlig pH.

### 3.2.4 Totalt syreinnhold

**Figur 26** presenterer målinger av totalt syreinnhold i ketchup og tomatpuré med hensyn til spesifikasjon.



**Figur 26:** Gjennomsnittsmålinger av totalt syreinnhold for samtlige batcher med tomatpuré og tilhørende ketchup. Spesifikasjon for syreinnhold i tomatpuré er angitt ved stiplet linje, spesifikasjon for syreinnhold i ketchup er angitt ved prikket linje, gjennomsnittlig syreinnhold i tomatpuré er angitt ved kvadrat og gjennomsnittlig syreinnhold i ketchup er angitt ved trekant.

Målt gjennomsnittlig syreinnhold i de ti ulike batchene med tomatpuré varierte fra 1,4 til 2,21, som vist i figur 26. I de tilhørende ketchupbatchene varierte gjennomsnittlig syreinnhold fra 1,15 til 1,37. Av disse var batch O2 utenfor spesifikasjon med hensyn til gjennomsnittlig syreinnhold.

## 3.3 Reologiske målinger og analyser

### 3.3.1 Rotasjonstest

Korrelasjonsmatrise av samtlige målte parametere i tomatpuré (**vedlegg C**) viste en signifikant korrelasjon mellom consistency index og °Brix ( $r=0,83$ ,  $p<0,001$ ), serumviskositet ( $r=0,92$ ,  $p<0,001$ ), og lagringsmodul ( $r=0,83$ ,  $p<0,001$ ). Variansanalyse av consistency index og fluid behavior index gav  $p<0,05$  for begge datasett. Tukey-test av de to variablene vises i **tabell 8** og **9**.

**Tabell 8:** Tukey-test med gjennomsnittsmålinger av consistency index for samtlige batcher med tomatpuré ved 10 °C og 25 °C. Batcher med observert uregelmessighet under pumping er merket med \*. Ulike bokstaver i grupperingene markerer  $p \leq 0,05$ .

Batch	N	Gjennomsnitt [Pa s <sup>n</sup> ]	Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3	Gruppe 4	Gruppe 5	Gruppe 6	Gruppe 7
O2_10*	4	758,58	A						
M1_10*	4	700,97	A	B					
O1_10*	6	663,58		B					
O2_25*	4	656,57		B					
M1_25*	4	557,14			C				
O1_25*	6	535,37			C				
O5_10*	3	506,33			C				
O6_10*	2	499,70			C	D			
O5_25*	3	424,34				D	E		
O4_10	3	413,53					E	F	
O6_25*	2	383,62					E	F	
G2_10	3	359,07					E	F	G
G1_10	5	348,93					E	F	G
G3_10	3	348,69					E	F	G
O3_10	3	347,32					E	F	G
O4_25	3	334,19						F	G
G1_25	5	298,89							G
O3_25	3	296,61							G
G2_25	3	296,29							G
G3_25	3	280,71							G

Tukeytest i tabell 8 viser signifikant forskjell i consistency index ved henholdsvis 10 °C og 25 °C for en og samme batch. Dette gjelder batch O1, O2, O5, O6 og M1. Uregelmessige batcher viste høyest consistency index ved både 10 °C og 25 °C. Batch O2, M1 og O1 var signifikant ulik samtlige regelmessige batcher ved 10 °C og 25 °C. Batch O5 og O6 var signifikant ulik de regelmessige batchene ved 10 °C.

**Tabell 9:** Tukey-test med gjennomsnittsmålinger av flow behaviour index [n] for samtlige batcher med tomatpuré ved 10 °C og 25 °C. Batcher med observert uregelmessighet under pumping er merket med \*. Ulike bokstaver i grupperingene markerer  $p \leq 0,05$ .

Batch	N	Gjennomsnitt [n]	Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3	Gruppe 4	Gruppe 5	Gruppe 6	Gruppe 7
O4_25	3	0,2155	A						
O4_10	3	0,2068	A	B					
O5_10*	3	0,1915	A	B	C				
O5_25*	3	0,1904		B	C				
M1_25*	4	0,1866		B	C				
M1_10*	4	0,1698			C	D			
G3_25	3	0,1491				D	E		
G2_25	3	0,1485				D	E		
O6_25*	2	0,1480				D	E		
G3_10	3	0,1477				D	E		
G1_10	5	0,1460				D	E	F	
G1_25	5	0,1433					E	F	
G2_10	3	0,1390					E	F	G
O1_25	6	0,1346					E	F	G
O3_10	3	0,1312					E	F	G
O6_10*	2	0,1258					E	F	G
O3_25	3	0,1247					E	F	G
O2_25*	4	0,1226						F	G
O2_10*	4	0,1171							G
O1_10	6	0,1170							G

Samtlige batcher med tomatpuré hadde en flow behaviour index mindre enn 1 ved 10 °C og 25 °C, som vist i tabell 9. Tabell 9 viser signifikant forskjell mellom flere av batchene med hensyn til flow behaviour index. Ingen signifikant forskjell i flow behaviour index ble registrert i den enkelte batch ved temperaturendring fra 10 °C og 25 °C. Uregelmessige batcher er representert i samtlige sju grupperingene.

Fire batcher med tomatpuré og tilhørende ketchup ble sammenlignet ved hjelp av Tukey-test. Grupperingene av batchene er illustrert i **tabell 10** og **11**.

**Tabell 10:** Tukey-test med gjennomsnittsmålinger av consistency index for batchene M1, O2, O3 og G3 i tomatpuré ved 25 °C. Batcher med observert uregelmessighet under pumping er merket med \*. Ulike bokstaver i grupperingene markerer  $p \leq 0,05$ .

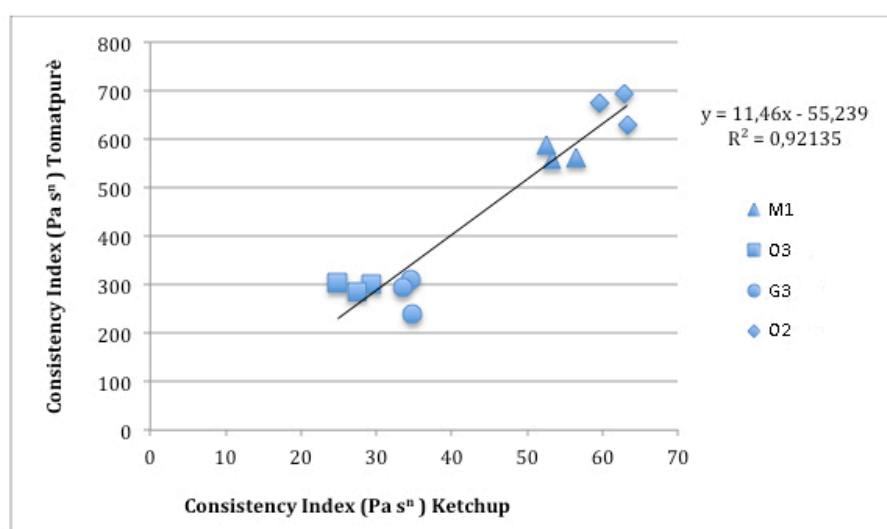
Batch	N	Gjennomsnitt [Pa s <sup>n</sup> ]	Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3
O2*	4	666,26	A		
M1*	4	569,11		B	
O3	3	296,61			C
G3	3	280,71			C

**Tabell 11:** Tukey-test med gjennomsnittsmålinger av consistency index for batchene M1, O2, O3 og G3 i ketchup ved 25 °C. Batcher med observert uregelmessighet under pumping er merket med \*. Ulike bokstaver i grupperingene markerer  $p \leq 0,05$ .

Batch	N	Gjennomsnitt [Pa s <sup>n</sup> ]	Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3	Gruppe 4
O2*	3	61,866	A			
M1*	3	54,103		B		
G3	3	34,298			C	
O3	3	27,190				D

Tabell 10 viser signifikante forskjeller i consistency index mellom batchene av tomatpuré. I tilhørende batcher med ketchup var samtlige batcher signifikant ulik hverandre (tabell 11). De uregelmessige batchene (O2 og M1) hadde høyest målt consistency index i både tomatpuré og ketchup.

Målingene av consistency index i tomatpuré og tilhørende ketchupbatcher ble analysert i en regresjonsanalyse og resultatet vises i **figur 27**.



**Figur 27:** Lineær regresjonsanalyse for consistency index [Pa s<sup>n</sup>] i tomatpuré og tilhørende ketchup for batchene M1, O2, O3 og G3.

Regresjonsanalysen i figur 27 for sammenhengen mellom consistency index i tomatpuré og den tilhørende ketchupen gav en  $R^2$  – verdi på 0,92. Korrelasjonen ble vist signifikant ved hjelp av variansanalyse som gav en p-verdi  $<0,001$ .

### 3.3.2 Amplitude sweep

**Vedlegg D** viser utsnitt fra Rheoplus der flytpunkt, lagringsmodulen og slutten på det lineære viskoelastiske området er presentert for et utvalg av batcher med tomatpuré. Tukey-test for slutten på det lineære viskoelastiske området til samtlige ti batcher med tomatpuré er vist i **tabell 12**. En grafisk fremstilling av målte gjennomsnittsverdier under amplitude sweep av shear stress  $[\tau]$  finnes i **vedlegg E**.

**Tabell 12:** Tukey-test med gjennomsnittsmålinger av LVR Stress limit [Pa] for samtlige batcher med tomatpuré ved 10 °C. Batcher med observert uregelmessighet under pumping er merket med \*. Ulike bokstaver i grupperingene markerer  $p \leq 0,05$ .

Batch	N	Gjennomsnitt [Pa]	Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3
O1*	6	23,07	A		
O2*	4	21,52	A		
O6*	2	16,45		B	
M1*	4	12,42		B	C
G2	3	11,86		B	C
O5*	3	11,03			C
G3	3	9,92			C
G1	5	9,76			C
O4	3	9,33			C
O3	3	7,69			C

Tabell 12 viser tilfeller av signifikant variasjon i det lineære viskoelastiske området mellom de ulike batchene med tomatpuré. Batch O1 og O2 er signifikant ulik samtlige andre batcher. Uregelmessige batcher, med unntak av O5, viste de største viskoelastiske områdene.

Tukey-test for gjennomsnittsmålinger av lagringsmodulen ( $G'$ ) for samtlige batcher med tomatpuré er vist i **tabell 13**. Grafisk fremstilling av batchvise gjennomsnittsverdier av lagringsmodulen ( $G'$ ) oppgitt i Pascal, finnes i **vedlegg E**.



**Tabell 13:** Tukey-test med gjennomsnittsmålinger av lagringsmodul for samtlige batcher med tomatpuré ved 10 °C. Batcher med observert uregelmessighet under pumping er merket med \*. Ulike bokstaver i grupperingene markerer  $p \leq 0,05$ .

Batch	N	Gjennomsnitt [Pa]	Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3	Gruppe 4	Gruppe 5	Gruppe 6
O2*	4	36535,00	A					
O1*	6	31800,33		B				
M1*	4	28427,50		B	C			
O6*	2	24295,00			C	D		
O5*	3	22000,00				D	E	
G2	3	17720,00					E	F
O4	3	16980,00						F
G1	5	16700,00						F
G3	3	16686,67						F
O3	3	13753,33						F

Tabell 13 viser signifikante forskjeller i lagringsmodul ( $G'$ ) mellom batchene. De uregelmessige batchene har høyest lagringsmodul og samtlige, med unntak av batch O5, er signifikant høyere enn de regelmessige. Av de totalt ti batchene er batch O2 signifikant ulik samtlige andre batcher med hensyn til lagringsmodul ( $G'$ ).

### 3.4 Teksturanalyse

Av samtlige parametere som ble analysert i TPA, vil kun de som viste signifikant korrelasjon med kvalitetsparametere til Idun og parametere målt i reometeret bli beskrevet i kapittel 3.4. Av parametere var det kun "Adhesiveness" som viste en korrelasjon med henholdsvis serumviskositet ( $r=-0,88$ ) ( $p\text{-verdi}<0,001$ ), consistency index ( $r=-0,96$ ) ( $p\text{-verdi}<0,001$ ) og °Brix ( $r=-0,82$ ) ( $p\text{-verdi}<0,001$ ) (**vedlegg C**). Datamaterialet ble analysert ved hjelp av Tukey-test og resultatet vises i **tabell 14**.

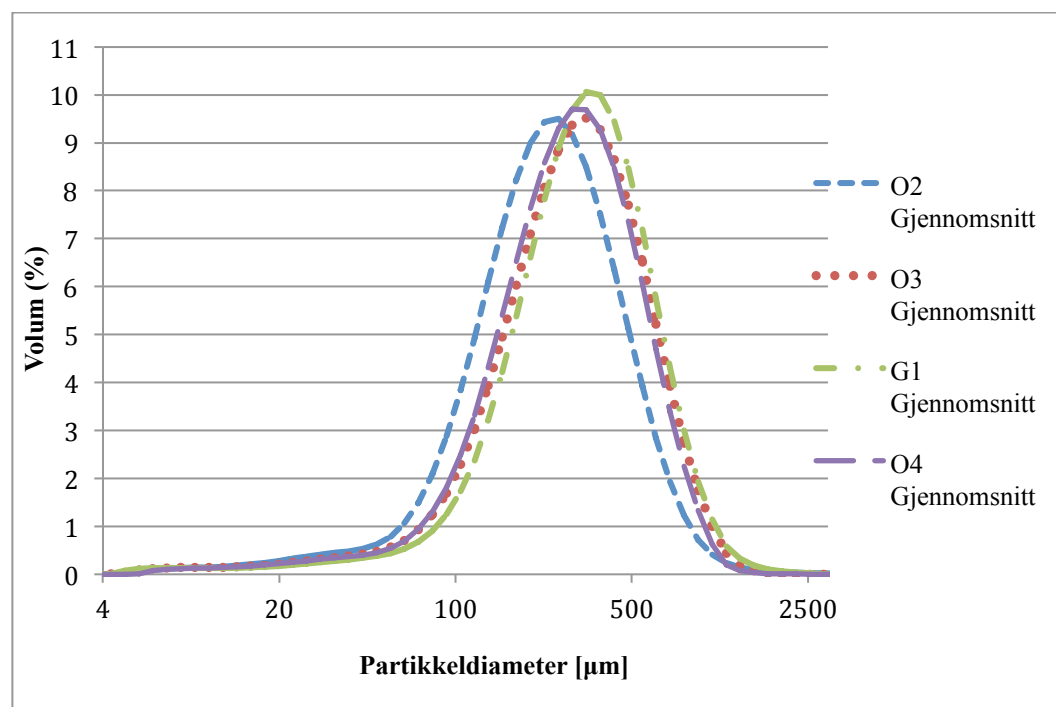
**Tabell 14:** Tukey-test med gjennomsnittsmålinger av Adhesiveness [g/s] for samtlige batcher med tomatpuré. Batcher med observert uregelmessighet under pumping er merket med \*. Ulike bokstaver i grupperingene markerer  $p \leq 0,05$

Batch	N	Gjennomsnitt [g/s]	Gruppe 1	Gruppe 3	Gruppe 3	Gruppe 4
G2	3	-169,13	A			
O3	3	-174,68	A			
G3	3	-181,09	A			
G1	5	-185,28	A			
O5*	3	-233,70	A	B		
O6*	2	-262,87		B	C	
O1*	6	-339,00			C	D
M1*	4	-377,96				D
O2*	4	-391,24				D

De regelmessige batchene viste ingen signifikante ulikheter seg i mellom (tabell 14). Uregelmessige batcher hadde flere signifikante forskjeller seg i mellom og samtidig de høyeste målingene av Adhesiveness [g/s]. De uregelmessige batchene, med unntak av O5, var signifikant ulik samtlige regelmessige batcher.

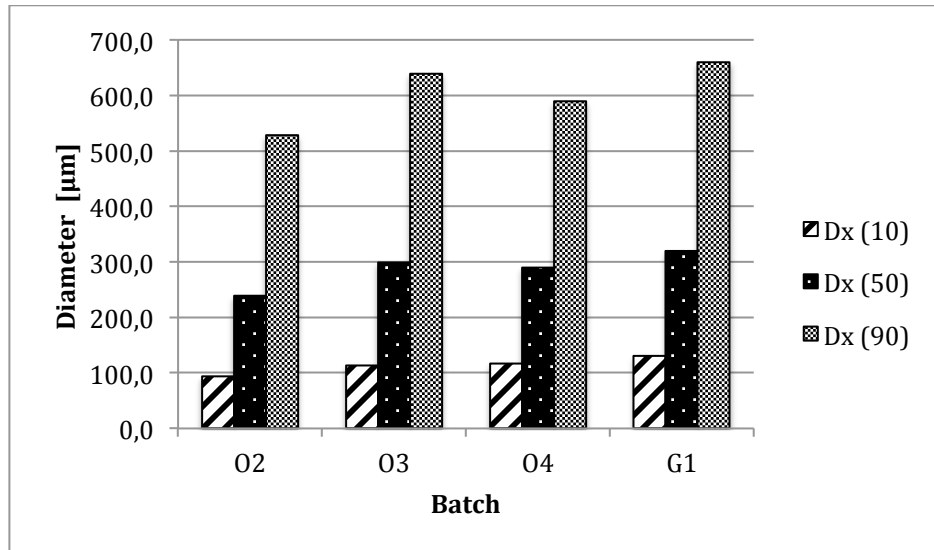
### 3.5 Laserdiffraksjon

Grafisk fremstilling av volumfordeling og størrelsesfordelingen ved 6 °Brix til de fire batchene O2, O3, O4 og G1 er vist i **figur 28** og **29**.



**Figur 28:** Gjennomsnittlig størrelsesfordeling av partikler i fire batcher med tomatpuré (O2, O3, O4, G1) ved 6 °Brix .

Ved 6 °Brix ble det observert liten forskjell i volumfordelingen av partiklene til batchene (figur 28). Batchene har en jevn volumfordeling ved 6 °Brix, med unntak av batch O2 som har litt mindre partikler ved generelt alle partikkelstørrelser. Den maksimale volumprosenten ligger mellom 9,4 % og 10,01 % med en partikkeldiameter mellom 290 µm og 329 µm. Batchene O4, O3 og G1 har den største volumprosenten rundt 320 µm, mens batch O2 har denne rundt 290 µm.

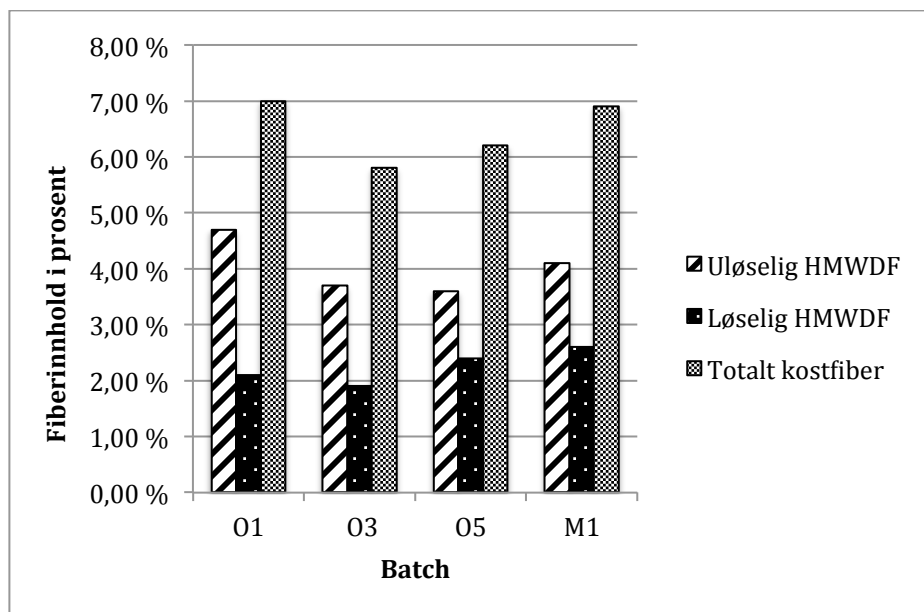


**Figur 29:** Spredning i partikkeldiameter for de fire batchene, O2, O3, O4 og G1, der Dx uttrykker prosentandelen (10%, 50%, 90%) av prøvematerialet til den aktuelle batchen som har en partikkeldiameter mindre enn den målte diameteren.

Figur 29 viser at det er liten forskjell mellom batchene ved Dx(10), hvor forskjellen øker noe for Dx(50) og Dx(90). Batch G1 har størst målt partikkeldiameter ved Dx(90) på 660 µm, mens batch O2 har den laveste ved Dx(90) på 514,6 µm.

### 3.6 Fiberanalyse

Resultater av analyser for uløselig høymolekylært (HMWDF) og løselig høymolekylært (HMWDF) samt totalt fiberinnhold i de fire batchene O1, O3, O5 og M1 med tomatpuré er vist i **figur 30**.



**Figur 30:** Målt uløselig- og løselig høymolekylært fiberinnhold, samt totalt kostfiber i fire batcher med tomatpuré (M1, O1, O3 og O5).

Fiberanalysene vist i figur 30 viste små forskjeller mellom de fire batchene med tomatpuré. Batch O1 hadde det høyeste innholdet av både uløselig høymolekylært fiberinnhold og totalt kostfiber, mens batch M1 hadde det høyeste innholdet av løselig høymolekylært fiberinnhold. Det laveste innholdet av totalt kostfiber og løselig høymolekylært fiberinnhold viste batch O3, mens batch O5 hadde det laveste innholdet av uløselig høymolekylært fiberinnhold.

## 4. Diskusjon

### 4.1 Observasjoner under produksjon av Idun Tomatketchup

Som vist i tabell 3 er det under prøveuttakning observert variasjon både når det kommer til tid, temperatur og utfordringer knyttet til overføring av tomatpuré inn i produksjonsanlegget. Den målte gjennomsnittlige temperaturen viser noe variasjon mellom batchene, og et relativt stort sprang mellom henholdsvis laveste (-1,6 °C) og høyeste (16,3 °C) målte temperatur. Tid inn i fattømmer varierer også noe, med et gjennomsnittlig tidsforbruk på 328 sekunder og et standardavvik på 120 sekunder. Når det kommer til tid ut av fattømmer er variasjonen mindre, og operasjonen hadde et gjennomsnittlig tidsforbruk på 322 sekunder, med et standardavvik på 47 sekunder. Standardavviket forklarer spredningen av benyttet tid for samtlige batcher, og viser hvor langt de enkelte observasjonene i gjennomsnitt befinner seg fra gjennomsnittsverdien. Den observerte forskjellen i standardavvik mellom tid inn og tid ut av fattømmer viser at det er større variasjon i tidsforbruk for batchene inn i fattømmer (120 s), enn det er for tid ut av fattømmer (47 s). Av de totalt ti batchene skiller O6 seg ut med tanke på tidsforbruk, da det ble brukt gjennomsnittlig 436 sekunder på å pumpe denne batchen ut av fattømmeren.

Serumviskositeten til tomatpuréen blir ofte sett på som en medvirkende faktor i situasjoner der det oppstår uregelmessigheter og økt tidsforbruk under produksjon av Idun Tomatketchup. Som det fremkommer av tabell 4 er det kun parameterne serumviskositet og °Brix som har signifikant korrelasjon med tid inn i fattømmeren. Det vil si at en økning i en eller begge av disse parameterne gav et økt tidsforbruk inn i fattømmeren. Derimot, som det fremkommer av korrelasjonsmatrisen i tabell 4, samt kjørt variansanalyse, ble det i dette studiet ikke funnet noen sammenheng mellom verken serumviskositet eller °Brix og tid ut av fattømmer. Av samtlige kvalitetsparametere i dette studiet var det dermed ingen av disse som kunne forklare variasjonen i tidsforbruk ut av fattømmer ( $p > 0,05$ ).

Målt temperatur i tomatpurékassene viste en signifikant korrelasjon med tid ut av fattømmer (tabell 4). Av resultatene fra rotasjonsmålingene ved 10 °C og 25 °C, fremkommer det at en endring fra 10 °C til 25 °C gav en signifikant endring i consistency index. På bakgrunn av dette nevnes derfor temperatur som en potensiell faktor som kan påvirke uregelmessigheter under pumping. Flere studier har tidligere

vist at viskositeten til tomatpuré er temperaturavhengig (Abu-Jdayil et al. 2004; Bayod et al. 2007).

Som vist i tabell 5 og 6 er de uregelmessige tomatpuréene representert i alle grupperingene. Det er altså ikke funnet et tydelig mønster med hensyn til tidsforbruk og uregelmessigheter under overføring av tomatpuré til buffertank i dette studiet. De uregelmessige batchene med tomatpuré hadde en gjennomsnittlig serumviskositet på henholdsvis 267,67 s (O1), 265 s (M1), 262,75 s (O2), 247,66 s (O5) og 226 s (O6). Med unntak av O6, er samtlige av disse batchene med tomatpuré utenfor spesifikasjon med hensyn til serumviskositet. I batch O6 var temperaturen i tomatpuréen meget lav (-1,6 °C), og det er nærliggende å tro at dette kan medføre uregelmessigheter under pumping, da viskositeten til tomatpuré som kjent er temperaturavhengig (Abu-Jdayil et al. 2004; Bayod et al. 2007). Imidlertid har analysene i dette studiet vist at denne tomatpuréen hadde signifikant høyere verdier i flere reologiske tester, sammenliknet med de regelmessige batchene. Med hensyn til consistency index og lagringsmodul hadde denne batchen trolig vært uregelmessig uavhengig om den hadde holdt gjennomsnittstemperaturen på 11,99 °C. Dette da batch O6 tålte en signifikant større skjærpåføring ved 10 °C før den ble deformert, sammenliknet med de regelmessige batchene.

Fellesnevneren for de uregelmessige batchene er at dette er batcher som har en høy Brixverdi, høy consistency index, høy adhesiveness, samt et høyt LVE-område. Av kvalitetsparameterne til Idun er det kun høye Brixverdier som er fellesnevner hos samtlige ti batcher, der de fem uregelmessige batchene har en gjennomsnittlig °Brix over 33,33. Disse batchene hadde en varierende gjennomsnittlig serumviskositet mellom 224 til 267 s, hvorav kun batch O6 var innenfor spesifikasjonen med hensyn til serumviskositet. Resultatene har vist at gjennomsnittlig °Brix og serumviskositet i tomatpuré har hatt en signifikant korrelasjon (Vedlegg C) til samtlige reologiske analyser. Batch O4 hadde en gjennomsnittlig serumviskositet utenfor spesifikasjon (243,33 s), men ble kategorisert som regelmessig. Imidlertid hadde denne batchen en Brixverdi (31,9 °) i henhold til spesifikasjon. Batch O3 hadde en lav gjennomsnittlig serumviskositet (201 s), men en høy Brixverdi (32,63 °) utenfor spesifikasjon og ble opplevd som regelmessig. Altså er det ikke nødvendigvis slik at en serumviskositet eller °Brix utenfor spesifikasjon alene bidrar til uregelmessigheter under produksjon.

Resultatene i dette studiet tilsier at en høy Brixverdi (over 33 °Brix) og en serumviskositet over 224 s gir økt tid inn i fattømmer og uregelmessigheter i produksjonsanlegget. Imidlertid klarte produksjonsanlegget å kjøre gjennom samtlige av tomatpuréene og produsere ketchup til tross for at en rekke batcher med tomatpuré hadde verdier utenfor spesifisering, og der dette i varierende grad gav en ketchup utenfor spesifisering. Altså er ikke disse uregelmessige driftsforstyrrelsene av en slik art at det hindrer produksjonen av ketchup. Imidlertid skaper ofte disse uregelmessige batchene frustrasjon for operatører på linjene da de ofte er vanskelig å tømme i fattømmeren fordi valsene sliter med å få tak i sekken. Det skilte 2 minutter i tidsforbruk mellom de uregelmessige og regelmessige batchene, da de uregelmessige hadde et gjennomsnittlig tidsforbruk på 414 sekunder og de regelmessige et gjennomsnittlig tidsforbruk på 294 sekunder. Dette er av en slik art at det ikke nødvendigvis påvirker den daglige produksjonen. Imidlertid skal det nevnes at pumper som ofte utsettes for denne typen påkjenning ved å dra tomatpuré som tilsynelatende er for viskøs gjennom systemet, vil over tid føre til ekstra slitasje og øke faren for lengre produksjonsstopp ved ødeleggelse av pumpesystemer.

## 4.2 Kvalitetsparametere

### 4.2.1 Bostwick og serumviskositet

Som tidligere nevnt utgjør Bostwick og serumviskositet viskositetsparametere i Idun Ketchup, der sistnevnte kun benyttes i tomatpuré. Av de totalt ti batchene med tomatpuré var to av batchene utenfor spesifisering med hensyn til Bostwick, figur 21. Imidlertid havnet ingen av batchene med ketchup utenfor spesifisering med hensyn til Bostwick. Når det kommer til målt serumviskositet i de ulike tomatpurébatchene var det seks batcher som havnet utenfor spesifiseringen, figur 22.

Som korrelasjonsmatrisen i tabell 7 illustrerer var det kun Bostwick i ketchup som ble registrert med signifikant korrelasjon til andre kvalitetsparametere. Det ble registrert en negativ korrelasjon mellom °Brix og serumviskositet i tomatpuré. Serumviskositet i tomatpuré og Bostwick i ketchup viste ved hjelp av korrelasjonsmatrisen (tabell 7) en sterk negativ korrelasjon. Det samme vises i figur 23 der  $R^2$  tilsier at variasjonen i Bostwick i ketchup kan forklares med serumviskositet, og vise versa. Altså vil en økning i serumviskositet bidra til en reduksjon av Bostwick i ketchup. Imidlertid må det presiseres at figur 23 ikke er en ferdig modell for beregning av Bostwick i ketchup

med hensyn på serumviskositet, men en illustrasjon av sammenhengen mellom disse kvalitetsparameterne målt i dette studiet.

Til tross for at flere av tomatpuréene befant seg utenfor spesifikasjonen til serumviskositet, var samtlige batcher innenfor spesifikasjon til Bostwick i ketchup. Resultatene i dette studiet viser at en serumviskositet utenfor spesifikasjon på opptil 267 s i tomatpuré, ikke er tilstrekkelig for at ketchupen havner utenfor spesifikasjon med hensyn til Bostwick. Hvorvidt disse parameterne påvirker og avhenger av hverandre i ulike tomatkonsentrater og andre grønnsakspurérer har vært tema for diskusjon i en rekke studier (Bayod et al. 2007; Cullen et al. 2001; Errington et al. 1998; Marsh et al. 1980; Moelants et al. 2012a). I disse studiene er resultatene varierende med observasjoner av henholdsvis sterk korrelasjon, svak korrelasjon og ingen påvist korrelasjon. I et av disse studiene ble det vist et behov for °Brix som en tredje variabel for å kunne forklare sammenhengen mellom Bostwick og serumviskositet (Marsh et al. 1980). Imidlertid ble det i studiet på Idun Tomatketchup ikke funnet noen signifikant korrelasjon mellom Bostwick i tomatpuré og henholdsvis serumviskositet og °Brix i tomatpuré. Imidlertid er det funnet signifikant korrelasjon mellom serumviskositet og °Brix i tomatpuré og Bostwick i ketchup. Altså har disse parameterne en større sammenheng med Bostwick i ketchup enn Bostwick i tomatpuré, og forklarer således mer av variasjonen i Bostwick i ferdig ketchup enn i tomatpuré. Resultatene her tilsier at en økning i °Brix eller serumviskositet i tomatpuré vil gi en høyere Bostwick i ketchup. I nyere tid er det flere studier som har vist at disse parameterne påvirkes av partikkelkonsentrasjon, dens innhold og egenskaper, hvilket igjen påvirkes av prosesseringen av råstoffet (Bayod et al. 2007; Juszczak et al. 2013; Moelants et al. 2012a; Moelants et al. 2012b).

Som allerede nevnt viste serumviskositet og °Brix i tomatpuré en positiv korrelasjon. Altså viste resultatene i dette studiet at en høy serumviskositet i tomatpuré også gir en høy °Brix i tomatpuréen. Imidlertid ble det ikke funnet noen signifikant sammenheng mellom serumviskositet i tomatpuré og °Brix i ketchup. Flere studier på tomater og tomatkonsentrater, slik som tomatpuré, har vist at det er en sammenheng mellom tørrstoff og viskositet i tomatpuré, og videre at en mer viskøs tomatpuré assosieres med et høyere innhold av sukker og tørrstoff (Abson 2012; Azarpazooch et al. 2007; Bernacchi et al. 1998; Garcia & Barret 2005). Dette underbygger oppgavens resultater



for tømning av tomatpuré i fattømmeren, da det her ble funnet en sammenheng mellom Brix, serumviskositet og tidsforbruk.

#### 4.2.2 °Brix, pH og totalt syreinnhold

Som det fremgår av figur 24 har Brixverdiene i tomatpuréen variert fra 28,95 til 35,23 °Brix. Av de totalt ti ulike batchene var åtte batcher med tomatpuré utenfor spesifisering med hensyn til °Brix. For tilsvarende batcher med ketchup, havnet totalt sju batcher utenfor spesifisering. Forskjellen ligger i at batch G2 med tomatpuré havnet innenfor spesifisering etter ferdig ketchupproduksjon.

Som det fremgår av figur 25 har pH i tomatpuréen variert fra pH 4,30 til 4,56. Av de totalt ti ulike batchene havnet gjennomsnittsverdiene til fire batcher (O1, G1, G2, G3) med tomatpuré utenfor spesifisering. Når det kommer til pH i ferdig ketchup var tre batcher (O2, O3, M1) utenfor spesifiseringen. Imidlertid er dette tre andre batcher enn de fire batchene med tomatpuré som befant seg utenfor spesifiseringen (O1, G1, G2, G3).

Det gjennomsnittlige syreinnholdet i tomatpuré varierte fra 1,4 til 2,21 TTA, der samtlige batcher var i henhold til spesifisering, som vist i figur 26. I ketchup var det mindre variasjon med hensyn til gjennomsnittlig syreinnhold der det kun var batch O2 som havnet utenfor spesifisering.

I dette studiet var °Brix i tomatpuré negativt, men ikke signifikant korrelert med pH i tomatpuré og ketchup. Videre viste °Brix i tomatpuré en positiv korrelasjon med totalt syreinnhold i tomatpuré og ketchup, men denne var kun signifikant for førstnevnte. I ketchup ble det påvist en positiv signifikant korrelasjon mellom °Brix og totalt syreinnhold og en negativ signifikant korrelasjon mellom °Brix og pH (tabell 7). Den positive korrelasjonen mellom °Brix og det totale syreinnholdet i tomatprodukter er også påvist i flere andre studier (Aoun et al. 2013; Georgelis 2002; Saliba-Colombani et al. 2001). Når det kommer til sammenhengen mellom °Brix og pH har resultatene i andre studier gitt varierende resultater med både positiv og negativ korrelasjon (Bernacchi et al. 1998; Saliba-Colombani et al. 2001; Tanksley et al. 1996). Resultatene i dette studiet viste en negativ, men ikke signifikant korrelasjon mellom °Brix i tomatpuré og pH i tomatpuré og ketchup. Noen nyere studier har tatt for seg sammenhengen i den positive korrelasjonen mellom °Brix og syreinnhold i tomatprodukter (Georgelis 2002; Getinet & Woldetsadik 2008; Saliba-Colombani et

al. 2001). Disse studiene konkluderte med at korrelasjonen tilsier at tomatprodukter med et høyt innhold av sukker har en større andel av frie organiske syrer (sitron- og eplesyre) sammenlignet med tomater med lite sukker. Resultatene i denne oppgaven står i samsvar med disse resultatene da en høyere °Brix også har gitt et høyere syreinnhold i tomatpuré og ketchup. Den signifikante korrelasjonen mellom syre i tomatpuré og pH i tomatpuré, samt syre i tomatpuré og pH i ketchup kommer av at en lavere pH-verdi gir en større mengde  $H^+$ -ioner og dermed også en høyere syregrad (Chang & Goldsby 2013). Altså gir en lav pH en lavere syregrad og vise versa.

Videre viste også korrelasjonsmatrisen i tabell 7 at pH i tomatpuré og pH i ketchup hadde en signifikant positiv korrelasjon. Dette tilsier at en høy pH i tomatpuré også bidrar til en høy pH i ferdig ketchup. Som allerede beskrevet var det forskjell i hvilke batcher som var utenfor spesifisering i tomatpuré og i ketchup med hensyn til pH. Under produksjonen av ketchup ble det observert en reduksjon i pH sammenliknet med målt pH-verdi i tomatpuré, hvilket medførte at tomatpurébatchene med pH i det nedre sjiktet av spesifiseringen gav en ketchup utenfor spesifisering.

### 4.3 Reologiske målinger og analyser

#### 4.3.1 Rotasjonstest – flow behaviour index og consistency index

Ved hjelp av rotasjonstester og Herschel-Bulkley modellen ble flow behaviour index (n) og consistency index (K) bestemt ved 10 °C og 25 °C. Som tabell 8 illustrerer ble det observert en signifikant reduksjon i consistency index når temperaturen økte fra 10 °C til 25 °C. Dette er i samsvar med andre studier i både tomatpuré og ketchup som har vist at temperatur hadde en større påvirkning på consistency index og en mindre effekt på flow behaviour index (Desouky & Ibrahim 2014; Ibarz et al. 1996; Koocheki et al. 2008; Sharoba et al. 2005). Som tabell 9 illustrerer viste samtlige tomatpuréer ved 10 °C og 25 °C en ikke-newtonsk- og skjærtynnende oppførsel ( $n < 1$ ). Denne oppførselen har også blitt observert i en rekke andre studier på tomatpuré (Bottiglieri et al. 1991; Koocheki et al. 2008; Sahin & Ozdemir 2004; Sharoba et al. 2005). Bakgrunnen for at tomatpuré oppfører seg ikke-newtonsk er relatert til sterke interaksjoner mellom partikler som løselig sukker, pektin og suspenderte stoffer (Ahmed & Singh 2004; Vercet et al. 2001). Dette vil si at viskositeten til prøvematerialet vil synke med en økende skjærhastighet, som for eksempel under omrøring. Altså er ikke forholdet mellom skjærspenning og skjærhastighet proporsjonalt.

Under rotasjonstesten ble det ikke observert en signifikant temperatureffekt med hensyn til flow behaviour index ved å endre temperaturen fra 10 °C til 25 °C på den enkelte batch. Imidlertid var flere av batchene signifikant ulike hverandre. En senkning i flow behaviour index er observert i enkelte studier når temperaturen stiger (Ibarz et al. 1996; Koocheki et al. 2008; Sharoba et al. 2005). Imidlertid ble dette kun observert i batchene O3, O5 og G3 i dette studiet.

Av de totalt ti batchene med tomatpurè ble fire tilhørende ketchupbatcher også undersøkt i en rotasjonstest og resultatene ble analysert ved hjelp av Herschel-Bulkley modellen. På lik linje med tomatpuréene, viste også de tilhørende ketchupene en ikke-newtonsk og skjærtynnende oppførsel ( $n < 1$ ), som vist i tabell 10 og 11. Selv om dette ikke er et tilstrekkelig utvalg for å kunne konkludere hvorvidt Idun tomatketchup til enhver tid innehar disse reologiske egenskapene, har andre studier gjennomført på ketchup også vist tilsvarende resultater (Bayod et al. 2007; Bayoda et al. 2008; Bottiglieri et al. 1991; Sahin & Ozdemir 2004; Singh et al. 2002).

Samtlige av de fire ketchupbatchene var signifikant ulike hverandre med hensyn til consistency index (tabell 11), der batchene O2 og M1 med målt høyest consistency index i tomatpuré også hadde den høyeste verdien i ferdig ketchup (tabell 10). Dette tyder på at en høy viskositet i tomatpuréen også gir en ketchup med høy viskositet (figur 27). I tilsvarende fire batcher med tomatpuré og ketchup ble det også målt Bostwick (figur 21). I målingene av tomatpuré viste Tukeytesten (tabell 10 og 11) en annen rangering av viskositeten til disse batchene. Rangeringen av batchene fra høy til lav viskositet var henholdsvis  $G3 > O3 > M1 > O2$  for consistency index og  $O3 > O2 > G3 > M1$  for Bostwick i tomatpuré. Dette kan dermed tyde på at consistency index fanger opp en større andel av variasjonene i prøvematerialet, sammenlignet med Bostwickmålingene. I tilsvarende målinger av consistency index og Bostwick i ketchup ble de fire batchene rangert likt med hensyn til viskositet. Flere studier har indikert at bruk av Bostwick consistometer som kvalitetsparameter er uegnet for konsentrerte produkter slik som tomatpuré (Bayod et al. 2007; Bottiglieri et al. 1991; Hayes et al. 1998; Marsh et al. 1980). Årsaker til dette er at mindre forskjeller ofte ikke blir oppdaget, samtidig som feilmarginen er meget stor da den påvirkes av en rekke faktorer. Liknende observasjoner er gjort i dette studiet da det er gjort registreringer med mer avansert utstyr (reometer, Ostwald) som ikke er oppdaget ved bruk av Bostwick consistometer. I tillegg viste både °Brix og serumviskositet i

tomatpuré signifikante korrelasjoner med consistency index, lagringsmodulen og TPA (Adhesiveness), der Bostwick ikke viste dette. Dermed har °Brix og serumviskositet i dette studiet hatt signifikante korrelasjoner med mer nøyaktige målemetoder, og forklarer således i dette studiet en større andel av variasjonen i egenskapene til tomatpuré, sammenliknet med Bostwick.

### 4.3.2 Amplitude sweep

#### *Lineært viskoelastisk område og lagringsmodul*

Tabell 12 viser at de uregelmessige batchene skiller seg ut med tanke på det viskoelastiske området. Fire av de totalt fem uregelmessige batchene har størst registrert LVE-område, der batchene O1, O2 og O6 er signifikant ulik de regelmessige batchene med hensyn til LVE. Altså tåler disse batchene mer skjærspenning før strukturen deformeres. Av O1, O2 og O6 var det kun O6 som var innenfor spesifikasjonen med hensyn til serumviskositet til tomatpuré. Da batch O6 i de reologiske målingene har vist høye verdier tilvarende batcher utenfor spesifikasjonen til serumviskositet, kunne det antas at den registrerte serumviskositeten til O6 skyldtes en målefeil. Dette er imidlertid lite trolig da målingene i dette studiet samsvarer godt med produsentens kvalitetskontroll av batchene.

Analysene av det viskoelastiske området viste signifikante forskjeller mellom de ulike batchene i hvor mye skjærspenning tomatpuréen tåler før strukturen forstyrres og det oppstår deformasjon. Som vist i tabell 13 var lagringsmodulen ( $G'$ ) høyere enn tapsmodulen ( $G''$ ) i LVE-området for samtlige batcher ved både 10 °C og 25 °C. Ettersom  $G'$  uttrykker mengden med deformasjonsenergi som blir lagret i prøven under en skjærprosess og således representerer elastisiteten til materialet, tilsier dermed resultatet i dette studiet at tomatpuréen oppførte seg elastisk og tilnærmet som en gel. Dette samsvarer godt med andre studier på disse reologiske egenskapene (Bayod et al. 2007; Moelants et al. 2014; Sánchez et al. 2003).

Som vist i tabell 13 hadde samtlige regelmessige batcher, med unntak av O5, en signifikant høyere lagringsmodul sammenliknet med de uregelmessige. Dermed vil disse batchene med tomatpuré tåle høyere skjærspenning før de begynner å flyte, og vil således være vanskeligere å pumpe.

I et studie gjennomført av Torbica et al. ble det sett nærmere på avgjørende faktorer som påvirker mengden skjærspenning tomatpuré og ketchup trenger for å flyte (Torbica et al. 2016). Studiet viste at dette ble bestemt av totalt tørrstoff, løselig tørrstoff, organiske syrer og ulike interaksjoner mellom pektin.

#### 4.4 Teksturanalyse

Det er gjort få studier på sammenhengen mellom parameterne fra TPA og parameterne som danner kvalitetskontrollen i tomatpuré hos Idun. Imidlertid har (Kealy 2006) gjort studier på kremost for å knytte parameterne fra TPA opp mot tilsvarende reologiske parameterne som er undersøkt i dette studiet. Studiet på kremost fant en negativ korrelasjon mellom adhesiveness og flytgrense, samt korrelasjon mellom parameteren Hardness og flytgrense. Sistnevnte korrelasjon er ikke observert i dette studiet, da denne parameteren ikke hadde noen signifikant korrelasjon med noen av de målte parameterne i reometeret eller kvalitetsparameterne til Idun. Adhesiveness kan beskrives som klebrighet, og vil således gi en pekepinn på hvor mye av tomatpuréen som vil henge igjen på en overflate, som for eksempel i et rør. Denne parameteren viste en signifikant negativ korrelasjon med både consistency index, flytgrense, lagringsmodul, serumviskositet og °Brix i tomatpuré (vedlegg C). Altså henger klebrigheten til tomatpuré sammen med disse parameterne, og en høy verdi i disse vil gi en mer klebrig tomatpuré. Tukey-test i tabell 14 viser at alle de uregelmessige batchene, med unntak av batch O5, er signifikant ulik de regelmessige batchene med hensyn til adhesiveness. Batchene med høy serumviskositet, flytgrense, lagringsmodul og consistency index hadde også høye verdier av adhesiveness.

#### 4.5 Laserdiffraksjon

I dette studiet ble det benyttet en fortennet løsning til 6 °Brix for å se hvordan forskjellene i partikkelstørrelsen var ved et likt innhold av løselig tørrstoff. Resultatene fra laserdiffraksjonen i figur 28 og figur 29 viste liten forskjell mellom de fire batchene. Batch O2 var noe forskjellig fra de resterende batchene, da denne hadde mindre partikler ved generelt alle partikkelstørrelser. Det er gjennomført en rekke studier på tomatpuré og partikkeldistribusjon, der det er konkludert med at de reologiske egenskapene til tomatpuré påvirkes sterkt av partikkelstørrelsen. Partikkelstørrelsen avhenger som tidligere beskrevet av prosesseringen under produksjonen av råstoffet (Bayod et al. 2007; Juszczak et al. 2013; Moelants et al.

2012a; Moelants et al. 2012b; Sánchez et al. 2003). Da det er lite data som danner grunnlaget for observasjonene fra laserdiffraksjonen i dette studiet, er det lite hensiktsmessig å se på eventuelle korrelasjoner mellom andre målte variabler. Imidlertid hadde tre av batchene som ble analysert ved hjelp av laserdiffraksjon (O3, O4, G1) de minste lineære viskoelastiske områdene i amplitude sweepen, mens batch O2 hadde det nest største LVE-området. Således stemmer dette med andre studier der det har blitt observert en sammenheng mellom en mindre partikkelstørrelse og kraften som må tilføres tomatpuré for at den skal flyte (Bayod et al. 2007; den Ouden 1995).

#### 4.6 Fiberanalyse

Fire batcher med tomatpuré (M1, O1, O3, O5) ble analysert av Eurofins i henhold til AOAC 2011.25, der totalt uløselig- og løselig høymolekylært fiber, samt totalt fiberinnhold ble bestemt. Disse fire batchene ble valgt ut på bakgrunn av deres serumviskositet, da det var ønskelig å se hvorvidt det ble observert en tydelig forskjell i fiberinnhold i sammenheng med serumviskositet. Batchene hadde henholdsvis en serumviskositet på 202 (O3), 248 (O5), 269 (O1) og 271 (M1). Figur 30 viser en liten variasjon mellom de ulike batchene med tomatpuré, der batch O1 har det høyeste prosentvise innholdet av totalt fiberinnhold, etterfulgt av M1, O5 og O3. Denne rangeringen av batchene i henhold til totalt fiberinnhold tilsvarer rangeringen for serumviskositet og consistency index. Flere studier peker på at fiberinnholdet i tomatkonsentrater, slik som tomatpuré, korrelerer med viskositeten til materialet, og dette stemmer godt med resultatene i dette studiet (Abson 2012; Anthon et al. 2008; Janoria & Rhodes 1974). Imidlertid er det i dette studiet ikke gjort tilstrekkelig analyser av fiberinnholdet for å fastslå dette statistisk, da denne typen analyser er meget omfattende og derav kostbare. Med bakgrunn i tidligere studier, er det allikevel mulig at det også er tilfelle i dette studiet og at et høyt innhold av fiber generelt forbindes med en høyere viskositet i tomatpuré.

## 5. Konklusjon

Produksjonsanlegget til Idun klarer å produsere Tomatketchup som er innenfor spesifikasjon til tross for tomatpuré utenfor spesifikasjon og uregelmessige batcher. De største avvikene ble registrert for °Brix i ketchup. En signifikant korrelasjon ble funnet mellom tid inn i fattømmer og kvalitetsparameterne serumviskositet og °Brix. En økning i en eller begge av disse kvalitetsparameterne førte til en økning av tid inn i fattømmeren. Imidlertid ble det ikke funnet noen signifikante korrelasjoner mellom kvalitetsparameterne i tomatpuré og tid ut av fattømmeren. Av de totalt ti batchene ble fem av disse registrert som uregelmessige. Det ble ikke funnet noen klar korrelasjon mellom uregelmessigheter og kvalitetsparametere. Resultatene i dette studiet tilsier at en høy brixverdi (over 33 °Brix) og en serumviskositet over 224 s gav uregelmessigheter i produksjonsanlegget til Idun.

Tomatpuré og ketchup hadde en ikke-newtonsk og skjærtynnende oppførsel, og temperatur i tomatpuré ble funnet til å ha en signifikant påvirkning av consistency index. Dermed vil viskositeten til tomatpuré avhenge av temperatur, og en kombinasjon av høy serumviskositet og en lav temperatur vil trolig kunne gi uregelmessigheter under produksjon ved at tomatpuréen blir tykkere. Det ble funnet signifikante forskjeller i LVE-området til uregelmessige og regelmessige batcher, der førstnevnte tåler signifikant mer skjærspenning før de begynner å flyte, og vil således være vanskeligere å pumpe. Fiberinnholdet i de fire analyserte batchene viste en sammenheng med serumviskositet og consistency index, og en kan derfor forvente at et høyt fiberinnhold vil gi en høyere viskositet i tomatpuré. Serumviskositet i tomatpuré viste kun signifikant korrelasjon med Bostwick av kvalitetsparameterne i ketchup. Det ble observert en negativ korrelasjon med Bostwick og dermed førte en økning i serumviskositet til en reduksjon i Bostwick i ketchup. Videre viste analysene i dette studiet at en serumviskositet utenfor spesifikasjon på opptil 267 s ikke er tilstrekkelig for at Bostwick i ketchup skal havne utenfor spesifikasjon. Det ble ikke funnet signifikant korrelasjon mellom serumviskositet i tomatpuré og °Brix i ketchup, og en serumviskositet over spesifikasjon vil således ikke påvirke °Brix i ketchup signifikant ved et konfidensintervall på 95%.

I fremtidige studier på likende problemstilling bør det benyttes et stor utvalg av prøver for å sikre et godt datamateriale som i større grad kan avdekke uregelmessigheter under produksjon av tomatketchup. Her bør det fokuseres på

partikkelstørrelse, distribusjon og fiberanalyser. Dette, i tillegg til flere reologiske analyser vil trolig gi ytterligere innsikt i hvilke komponenter i tomatpuréen som påvirker produksjonen, og hvilke kvalitetsparametere som er avgjørende for produksjon og ferdig Tomatketchup. I tillegg bør fokus ligge på bruk av Bostwick consistometer til kvalitetskontroll, da det i dette og andre studier er gitt indikasjoner på at consistometer ikke egner seg til kvalitetskontroll på konsentrerte produkter.



## 6. Referanser

- Abson, R. (2012). *Factors contributing to the rheology of tomato puree*. Loughborough, Leicestershire: University of Nottingham, Food Sciences Division.
- Abu-Jdayil, B., Banat, F., Jumah, R., Al-Asheh, S. & Hammad, S. (2004). A Comparative Study of Rheological Characteristics of Tomato Paste and Tomato Powder Solutions. *International Journal of Food properties*, 7 (3).
- Ahmed, J. S. & Singh, P. (2004). Colour kinetics and rheology of coriander leaf puree and storage characteristics of the paste. *Food Chemistry*, 84: 605-611.
- Anthon, G. E., Diaz, J. V. & Barret, D. M. (2008). Changes in Pectins and Product Consistency during the Concentration of Tomato Juice to Paste *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56 (16): 7100-7105.
- Anthon, G. E., LeStrange, M. & Barrett, D. M. (2011). Changes in pH, acids, sugars and other quality parameters during extended vine holding of ripe processing tomatoes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91 (7): 1175-1181.
- Aoun, A. B., Lechihbeb, B., Benyahya, L. & Ferchichi, A. (2013). Evaluation of fruit quality traits of traditional varieties of tomato (*Solanum lycopersicum*) grown in Tunisia. *Academic Journals*, 7 (10): 350-354.
- Azarpazooch, E., Azad, N. M. & Ramaswamy, H. S. (2007). Rheology of food puree. *Stewart Postharvest Review*, 6 (16).
- Barnes, H. A. (2000). *A Handbook of Elementary Rheology*. Aberystwyth, Dyfed, Wales: The University of Wales Institute of Non-Newtonian Fluid Mechanics, Department of Mathematics, University of Wales Aberystwyth.
- Barret, D. M., Garcia, E., & Wayne, J.E. . (1998). Textural Modification of Processing Tomatoes. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 38 (3): 173-258.
- Bayod, E., Willers, E. P. & Tornberg, E. (2007). Rheological and structural characterization of tomato paste and its influence on the quality of ketchup. *LWT - Food Science and Technology*, 41: 1289-1300.
- Bernacchi, D., Beck-Bunn, T., Eshed, Y., Lopez, J., Petiard, V., Uhlig, J., Zamir, D. & Tanksley, S. (1998). Advanced backcross QTL analysis of tomato. 1. Identification of QTLs for traits of agronomic importance from *Lycopersicon hirsutum*. *Theoretical and Applied Genetics*, 97: 381-397.
- Björn, A., Segura, P., Karlsson, A., Ejlertsson, J. & Svensson, B. (2012). *Rheological Characterization*. Linköping University, Sweden: Department of Thematic Studies, Water and Environmental Studies.
- Bottiglieri, P., De Sio, F., Fasanaro, G., Mojoli, G., Impembo, M. & Castaldo, D. (1991). Rheological Characterization of Ketchup. *Journal of Food Quality*, 14: 497-512.
- Brett, C. & Waldron, K. W. (1990). *Physiology and biochemistry of plant cell walls*. London, England: Unwin Hyman Ltd.

- Bröckel, U., Meier, W. & Wagner, G. (2013). *Product design and engineering: formulation of gels and pastes*. Weinheim, Tyskland: Wiley-VCH.
- Carpita, N. C. & Gibeaut, D. M. (1993). Structural models of primary cell walls in flowering plants: consistency of molecular structure with the physical properties of the wall during growth. *The plant journal* (3): 1-30.
- CDFA. (2001). *California Processing Tomato Inspection Program*. California Department of Food and Agriculture, M. B. West Sacramento, California, USA.
- Chang, R. & Goldsby, K. A. (2013). *General Chemistry: The essential concepts*. 7 utg. New York, USA: McGraw-Hill Education.
- Cosgrove, D. J. (2005). Growth of the plant cell wall. *Nature Reviews Molecular Cell Biology* (6): 850-861.
- Cullen, P. J., Duffy, A. P. & O'Donnell, C. P. (2001). In-line consistency monitoring of tomato based products using vibrational process viscometry. *Journal of Food Processing and Preservation*, 25: 337-351.
- De Nardo, T., Shiroma-Kian, C., Halim, Y., Francis, D. & Rodriguez-Saona, L. E. (2009). Rapid and Simultaneous Determination of Lycopene and  $\beta$ -Carotene Contents in Tomato Juice by Infrared Spectroscopy. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57 (4): 1105-1112.
- den Ouden, F. W. C. (1995). *Physico-chemical stability of tomato products*. Wageningen, Nederland: Wageningen Agricultural University.
- Desouky, A. I. & Ibrahim, A. (2014). Effect of hydrocolloids addition on rheological properties, and sensory quality of tomato ketchup during storage. *Benha University publications, Egypt*.
- Errington, N., Tucker, G. A. & Mitchell, J. R. (1998). Effect of genetic down-regulation of polygalacturonase and pectin esterase activity on rheology and composition of tomato juice. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 76 (4): 515-519.
- Faostat. (2013). *Crops*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Tilgjengelig fra: <http://faostat.fao.org/beta/en/-data/QC> (lest 20.11.16).
- Fonseca, H. & Luh, B. (1976). Effect of break temperature on quality of tomato juice reconstituted from frozen tomato concentrates. *Journal of Food Science*, 41 (6): 1308-1311.
- Garcia, E. & Barret, D. M. (2005). Evaluation of processing tomatoes from two consecutive growing seasons: quality attributes, peelability and yield. *Journal of Food Processing and Preservation*, 30: 20-36.
- Georgelis, N. (2002). *High fruit sugar characterization, inheritance and linkage of molecular markers in tomato*. Florida, USA: University of Florida.
- Getinet, H. & Woldetsadik, K. (2008). The effect of cultivar maturity stage and storage environment on quality of tomatoes. *Journal of Food Engineering*, 87: 467-478.
- Hayes, W. A., Smith, P. G. & Morris, A. E. J. (1998). The production and quality of tomato concentrates. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 38 (7): 537-564.
- Hui, Y. H., Ghazala, S., Graham, D. M., Murell, K. D. & Nip, W. K. (2004). *Handbook of Vegetable Preservation and Processing*. New York, USA: Marcel Dekker, INC.

- Ibarz, A., Garvin, A. & Costa, J. (1996). Rheological behaviour of sloe (*Prunus spinosa*) fruit juices. *Journal of Food Engineering*, 27: 423-430.
- Ibarz, A. & Barbosa-Cánovas, G. V. (2003). *Unit Operations In Food Engineering*. Food Preservation Technology series. Boca Raton, Florida, USA: CRC Press LLC.
- Janoria, M. P. & Rhodes, A. M. (1974). Juice viscosity as related to various juice constituents and fruit characteristics in tomatoes. *Euphytica* (23): 553-562.
- Juszczak, L., Oczadly, Z. & Galkowska, D. (2013). Effect of Modified Starches on Rheological Properties. *Food and Bioprocess Technology*, 6: 1251-1260.
- Kealy, T. (2006). Application of liquid and solid rheological technologies to the textural characterisation of semi-solid foods. *Food Research International*, 39 (3): 265-276.
- Kimball, D. A. (1999). *Citrus Processing - A Complete Guide*. Second Edition utg. Gaithersburg, Maryland, USA: Aspen Publishers, Inc.
- Koocheki, A., Ghandi, A., Razavi, S. M. A., Mortazavi, S. A. & Vasiljevic, T. (2008). The rheological properties of ketchup as a function of different hydrocolloids and temperature. *International Journal of Food Science & Technology*, 44: 596-602.
- Lau, J. M., McNeil, M., Darvill, A. G. & Albersheim, P. (1985). Structure of the backbone of rhamnogalacturonan I, a pectic polysaccharide in the primary cell walls of plants. *Carbohydrate research*, 137: 111-125.
- Marsh, G., Buhlert, J. & Leonard, S. L. (1980). Effect of composition upon Bostwick consistency of tomato concentrate. *Journal of Food Science*, 45 (3): 703-706.
- Mezger, T. G. (2011). *The Rheology Handbook*. Hanover, Germany: Vincentz Network.
- Mezger, T. G. (2015). *Applied Rheology*. Graz, Austria: Anton Paar GmbH.
- Moelants, K. R. N., Jolie, R., Palmers, S., Christiaens, S., Van buggenhout, S., Van Loey, A. M. & Hendrickx, M. E. (2012a). The effect of process-induced pectin changes on the viscosity of carrot and tomato sera. Leuven, Belgium: Laboratory of Food Technology and Leuven Food Science and Nutrition Research Centre.
- Moelants, K. R. N., Jolie, R., Verrijssen, T. A. J., Van buggenhout, S., Zumalacarregui, L. M., Van Loey, A. M. & Hendrickx, M. E. (2012b). Relation between particle properties and rheological characteristics of carrot-derived suspensions. *Food and Bioprocess Technology*, 6 (5): 1127-1143.
- Moelants, K. R. N., Cardinaels, R. & Jolie, R. (2014). Rheology of concentrated Tomat-derived suspensions: Effect of particle characteristics. *Food and Bioprocess Technology*, 7 (248).
- Morningstar. *Process Flow Diagram*.  
<http://www.morningstarco.com/public/process.pdf>: Morning Star Company (lest 22.11.2016).
- Paulson, K. & Stevens, M. (1974). Relationships among titratable acidity, pH and buffer composition of tomato fruits. *Journal of Food Science*, 39 (2): 354-357.
- Perona, P. (2005). Bostwick degree and rheological properties: An up-to-date viewpoint. *Applied Rheology*, 15: 218-229.

- Raven, P. H., Evert, R. F. & Eichorn, S. E. (1999). *Biology of plants*. New York, U.S.A: W.H. Freeman and Company/Worth Publishers.
- Sahin, H. & Ozdemir, F. (2004). Effect of some hydrocolloids on the rheological properties of different formulated ketchups. *Food Hydrocolloids* (18): 1015-1022.
- Sakurai, N. & Nevins, D. J. (1993). Changes in physical properties and cell wall polysaccharides of tomato (*Lycopersicon esculentum*) pericarp tissues. *Plant Physiology*, 89: 681-686.
- Saliba-Colombani, V., Causse, M., Langlois, D., Philouze, J. & Buret, M. (2001). Genetic analysis of organoleptic quality in fresh market tomato. Mapping QTLs physical and chemical traits. *Theoretical and Applied Genetics*, 102: 259-272.
- Sánchez, M. C., Valencia, C., Ciruelos, A., Latorre, A. & Gallegos, C. (2003). Rheological properties of tomato paste: Influence of the addition of tomato slurry. *Journal of Food Science*, 68 (2): 551-554.
- Schramm, G. (2000). *A practical Approach to Rheology and Rheometry*. 2nd utg. Germany: Thermo Haake Rheology.
- Scibisz, I., Reich, M., Bureau, S., Gouble, B., Causse, M., Bertrand, D. & Renard, C. M. G. C. (2011). Mid-infrared spectroscopy as a tool for rapid determination of internal quality parameters in tomato. *Food Chemistry*, 125 (4): 1390-1397.
- Sharoba, A. M., Senge, B., El-Mansy, H. A., Bahlol, H. & Blochwits, R. (2005). Chemical, sensory and rheological properties of some commercial German and Egyptian tomato ketchups. *European Food Research and Technology*, 220 (2): 142-151.
- Singh, G. H., Sharma, A. & Singh, N. (2002). Effect of hydrocolloids, storage temperature, and duration on the consistency of tomato ketchup. *International Journal of Food properties*, 5: 179-191.
- Stadtman, F., Buhlert, J. & Marsh, G. (1977). Titratable acidity of tomato juice as affected by break procedure. *Journal of Food Science*, 42 (2): 379-382.
- Steffe, F. J. (1996). *Rheological Methods in Food Process Engineering*. Second edition utg. East Lansing, Michigan, USA: Freeman Press.
- Tanksley, S., Grandillo, S., Fulton, T. M., Zamir, D., Eshed, Y., Petiard, V., Lopez, J. & Beck-Bunn, T. (1996). Advanced backcross QTL analysis in a cross between an elite processing line of tomato and its wild relative *L. pimpinellifolium*. *Theoretical and Applied Genetics*, 92: 213-224.
- Tehrani, M. M. & Ghandi, A. (2007). Modification of Bostwick method to determine tomato concentrate consistency. *Journal of Food Engineering*, 79 (4): 1483-1486.
- Thakur, B. R., Singh, R. K., & Neslon, P. E. (1996). Quality attributes of processed tomato products: A review. *Food Reviews International*, 12 (3): 375-401.
- Torbica, A., Belovic, M., Mastilovic, J., Kevresan, Z., Pestoric, M., Skrobot, D. & Hadnadev, T. D. (2016). Nutritional, rheological, and sensory evaluation of tomato ketchup with increased content of natural fibres made from fresh tomato pomace. *Food and Bioprocess Technology*, 98: 299-309.
- Trifiro, A., Gherardi, S., Zoni, C., Zanotti, A., Pistocchi, M., Paciella, G., Sommi, G. & Antequera, M. (1998). Quality changes in tomato concentrate production: effects of heat treatments. *Industria Conserve*, 73 (1): 30-31.

- Valencia, C., Sánchez, M. C., Ciruelos, A., Latorre, A., Madiedo, J. M. & Gallegos, C. (2003). Non-linear viscoelasticity modeling of tomato paste products. *Food Research International*, 36 (9-10): 911-919.
- Vercet, A., Sánchez, C., Burgos, J., Montanes, L. & Buesa, P. L. (2001). The effects of manothermosonication on tomato pectic enzymes and tomato paste rheological properties. *Journal of Food Engineering*, 53: 273-278.
- Vicente, J. D. (2012). *Rheology*. Janeza Trdine 9, 51000 Rijeka, Croatia: InTech.
- Whittenberger, R. T. & Nutting, G. C. (1958). High viscosity of cell wall suspensions prepared from tomato juice. *Food Technology*, 12.
- Wilkerson, E. D., Anthon, G. E., Barrett, D. M., Sayajon, G. F. G., Santos, A. M. & Rodriguez-Saona, L. E. (2013). Rapid Assessment of Quality Parameters in Processing Tomatoes Using Hand-Held and Benchtop Infrared Spectrometers and Multivariate Analysis. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61 (9): 2088-2095.
- Zacconi, C., Causarano, A., Dallavalle, P. & Casana, A. (1999). Monitoring of contaminating microflora in the production of tomato products. *Industria Conserve*, 74 (2): 133-144.

## Vedlegg A

**Tabell 15:** Spesifisering av forkortelser benyttet på tomatpurébatcher fra Morning Star, Olam og Guadiana.

Batch	Kassenummer	Fortkortelse
<b>Olam - WA14080200</b>		
	1200082527	O1
	1200082495	O1
	1200082659	O1
	1200082666	O1
	1200082511	O1
	1200082502	O1
<b>Olam - WA14080108</b>		
	1200081866	O2
	1200081776	O2
	1200081594	O2
	1200081583	O2
<b>Olam - LA14072816</b>		
	1000233939	O3
	1000233943	O3
	1000233958	O3
<b>Olam - 110915</b>		
	1000501142	O4
	1000501120	O4
	1000501156	O4
<b>Olam - WA14080412</b>		
	1200085827	O5
	1200085831	O5
	1200085810	O5
<b>Olam - WA14080216</b>		
	1200083423	O6
	12000XXXX	O6
	12000XXXX	O6
<b>Guadiana - 05092015</b>		
	00.05	G1
	00.32	G1
	01.26	G1
	12.46	G1
	11.12	G1
<b>Guadiana - 02092015</b>		
	14.55	G2
	15.24	G2
	15.39	G2
<b>Guadiana - 31082015</b>		
	00.58	G3
	00.16	G3
	00.03	G3
<b>Morning Star - 07092013</b>		
	WDAA0244B	M1
	WDAB0243B	M1
	WDAB0241B	M1
	WDAA0242B	M1

## Vedlegg B

### Instruks for bruk av Bostwick Consistometer

**Type:** Apparat for måling av konsistensen på viskøse væsker.  
Apparatet må stå i vater.  
Skyll ikke apparatet i varmt vann (men v/20°C) dersom det skal brukes rett etterpå. Prøvematerialet skal holde ca. 20 grader. (romtemperatur)

**Utstyr:** Begerglass  
Vekt  
Linjal  
Termometer  
Bostwick apparat  
Refraktometer

Ferdig produkt måles direkte.

#### Klargjøring av tomatpure:

1. 100 g tomatpurè blandes ut med dest. vann til det oppnår 12,5% brix .
2. Vannmengden som skal tilsettes purèen for å oppnå 12,5% brix, regnes ut på følgende måte:

Eks: Tomatpurè med 30% tørrstoff

$$\frac{(30 \times 100)}{12,5} = 240$$

$$240 - 100 = 140 \text{ g (eller ml)}$$

Dette er ca. tall så brix må måles, slik at det blir 12,5%

#### **Utførelse:**



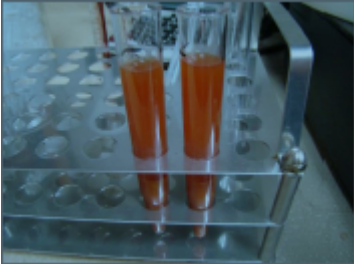
1. Den ferdig massen skal være ca 20 grader før den helles i kammeret for Bostwick - måling, måleren må stå i vater.
2. Kammeret på apparatet "overfylles" og jevnes med en linjal eller lignende, og blandingen er klar til måling.
3. "Slå" utløseren ned, les av skalaen der massen stopper etter 30 sek.
4. Resultatet oppgis i cm.



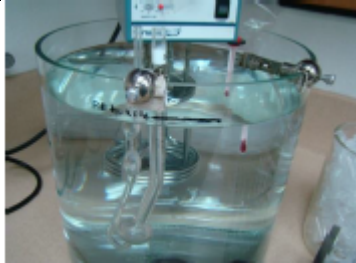



**Kalibrering:** ingen

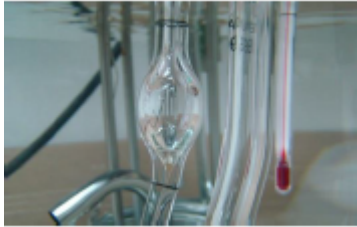
## Instruks for bruk av Ostwald-modellen for måling av serumviskositet

<p><b>Før bruk</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Normalt er CB purè &lt; 100 sekund og HB &gt; 100 sekund</li> <li>• Bruk et rent og tørt viscometer. Bruk trykkluft for å tørke innsiden av viscometret om nødvendig.</li> <li>• Verifiser at viscometret er kalibrert.</li> <li>• La viscometeret temperere seg i 10 minutter i vannbadet på 30 graderC.</li> <li>• Denne testen brukes for å bestemme pectin kvaliteten på pureen ved å måle tiden det tar serumet å renne gjennom kapillarrøret. (HB har mer intakt pectin fordi den høye temperaturen stopper enzymene å bryte ned pectin kjedene. CB blir fremstilt på lavere temperatur (&lt;79 graderC) som gjør at enzymene får brutt ned pectin kjedene til syre og sukker.)</li> </ul>	
<p><b>Utstyr</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 600ml beger glass</li> <li>• Stommaker pose</li> <li>• Destillert vann</li> <li>• Stomacker</li> <li>• Kalibrert refraktometer</li> <li>• Sentrifugerør (15 ml)</li> <li>• Filterpapir (417 Qualitative)</li> <li>• 4,5 mm trakt</li> <li>• Gradert begerglass</li> <li>• Kalibrert viscometer</li> <li>• 30 +/-1grC vann bad</li> <li>• 15 ml pipette fyller</li> <li>• Stoppeklokker</li> </ul>	



Steg	Fremgangsmåte	
1.	<p>Legg en stomacherpose i et 600 ml begerglass, plasser på vekten og trykk «Tare»</p> <p>Vei opp tomatpurè i stomacherposen.</p> <p>For å oppnå 6,0 brix bruk formelen:  <math>6,0/NTSS \times 200 = \text{Gram purè}</math></p> <p>Når riktig mengde Purè har blitt veid opp, tilsett destillert vann, til sammen 200 gram (Purè + dest.vann = 200 gram)</p> <p>Ta stomacherposen ut av begerglasset</p>	
2.	<p>Fjern alle luftbobler fra prøven ved å dra prøveposen over kanten på stomacheren. Når alle luftboblene er i øvre halvdel av posen kan bunnen av posen legges mot kanten på stomacheren. Da kan prøven flyte nedover og luftboblene dras oppover og ut av prøven med hjelp av fingrene. Når alle luftboblene er ute av prøven, kan posen plasseres i stomacheren.</p> <p>Prøven kjøres i stomacheren i 90 sekunder.</p> <p>Ta ut prøven fra stomacheren. Det kan ikke være luftbobler i prøven. (I tilfelle luftbobler må det lages en ny prøve)</p>	
3.	<p>Mål brix på prøven. Den må være 6,0 +/-0,1 brix.</p> <p>Tilsett purè dersom brixen er for lav eller vann dersom brixen er for høy.</p> <p>Ta brix til 2 like målinger på 6,0 +/-0,1 er oppnådd.</p>	
4.	<p>Hell prøven på 6,0 brix i 2 sentrifugerør (15 ml). Fyll til streken (12 ml). Begge rørene må inneholde like mye prøve og inneholde minst 12 ml hver.</p>	

5.	Plasser rørene tvers over for hverandre i sentrifugen for å oppnå balanse i sentrifugen. Steng lokket	
6.	Farten på sentrifugen skal være 3550 RPM. Sentrifugen skal gå i 10 minutter Etter 10 minutter vil sentrifugen stoppe. Ta deretter ut rørene.	
7.	Plasser filteret i trakta (Brett i to for deretter å lage et kremmerhus. Åpne toppen på filteret og sett i trakta.) Plasser trakta i et gradert begerglass. Hell serumet fra sentrifugerørene i filterpapiret og filtrer 7 ml til Ostwald målingen.	
8.	Plasser et kalibrert viscometer i vannbadet i 10 minutter før serumet blir fylt i viscometeret.	
9.	Hell 7 ml serum inn i den store åpningen på viscometret og la det stå til oppvarming i 10 minutter	
10.	Etter 10 minutter settes pipettefylleren på den tynne enden av viscometret. Pipettefylleren må ikke tilføre luft til testen, da må alle punktene gjøres på nytt.	
11.	Sug serum opp forbi begge svarte strekene på viscometret. Når serumet kommer over den øverste svarte linjen, tas pipettefylleren av. Start stoppeklokken når serumet går under den øverste svarte streken	

12.	Stopp stoppeklokken når serumet går under den nederste svarte streken.	
13.	Skriv ned tiden. Regn ut etter følgende formel: $((\text{Minutter} \times 60) + \text{Sekunder}) \times 60 / \text{viscometer r\o{r}} = \text{Ostwald}$	
14.	Ta viscometret ut av vannbadet. Hell ut prøven og rengjør med destillert vann. Sett viscometret til tork Om nødvendig kan viscometret tørkes vha trykkluft.	

### Instruks for bruk av Bellingham/Stanley Refraktometer for måling av °Brix

#### Utførelse:

1. La apparatet stå på i minst 30 min.
2. Legg på en dråpe vann og avles. Apparatet skal vise 0, hvis ikke prøv igjen og nullstill apparatet
3. Legg produktet på. Akkurat så mye at det dekker "glassøyet". Ca 1 ml prøve er anbefalt.
4. Trykk "READ". Instrumentet vil lese av prøven og resultatet vil vises i displayet.
5. Prøven måles 2 ganger. (Ved stort avvik mål 3.gang eller fler til et godt gjennomsnitt oppnås)
6. Ved å trykke "TEMP" kan man lese av temperaturen i prøven.
7. Tørk av prøven og skyll godt med vann. Prismet (glassøyet) tørkes godt av. Noen ganger kan det være nødvendig å bruke metyl alkohol for å rengjøre prismet. Unngå bruk av aceton.

Puréen legges direkte på glassøyet. Trykk read og les av.

## Instruks for måling av totalt titerbart syreinnhold

**Utstyr:** Begerglass  
pH meter  
Magnet  
Vekt  
Magnetrører

**Reagenser:** 0,1 N NaOH på en byrette  
Phenolphtalein

**Utførelse:** 1. Vei inn 10 g i beerglass  
2. Tilsett 100ml destillert vann  
3. Plasser begeret m/magnet på magnetrører,  
i andre produkter tilsettes 1 - 2 dråper phenolphtalein.  
4. Titrer med 0,1 N NaOH til pH = 8,2 (Omslagpunktet for phenolphtalein )eller til rosa fargeomslag.  
5. Antall brukte ml NaOH settes inn i formel :

### Utregning:

Total syre :  $V \cdot 0,64 / v$

V = Forbruk av volum NaOH (ml)

C= Konsentrasjonen av NaOH løsning (mol/l = N)

v= Prøvevolum (g)

## Instruks for måling av pH i tomatpuré

**Utstyr:** 3 stk Orion pH - meter. ( 2 stk på driftslab og 1 på kontrollab.)  
pH-meter kalibreres hver dag i henhold til manual for det enkelte ph meter.  
Buffer 7 og 4 anvendes.

**pHdir:** pH elektroden settes direkte i produktet og pH meteret leses av.

**pH i løsning:** Vei opp 10 g prøve

Tilsett 100ml destillert vann  
Blandes godt.  
Skyll og tørk elektroden.  
Sett elektoden i prøven  
Avlest verdi noteres.  
Skyll og tørk elektroden og sett den i buffer 4.

## Vedlegg C

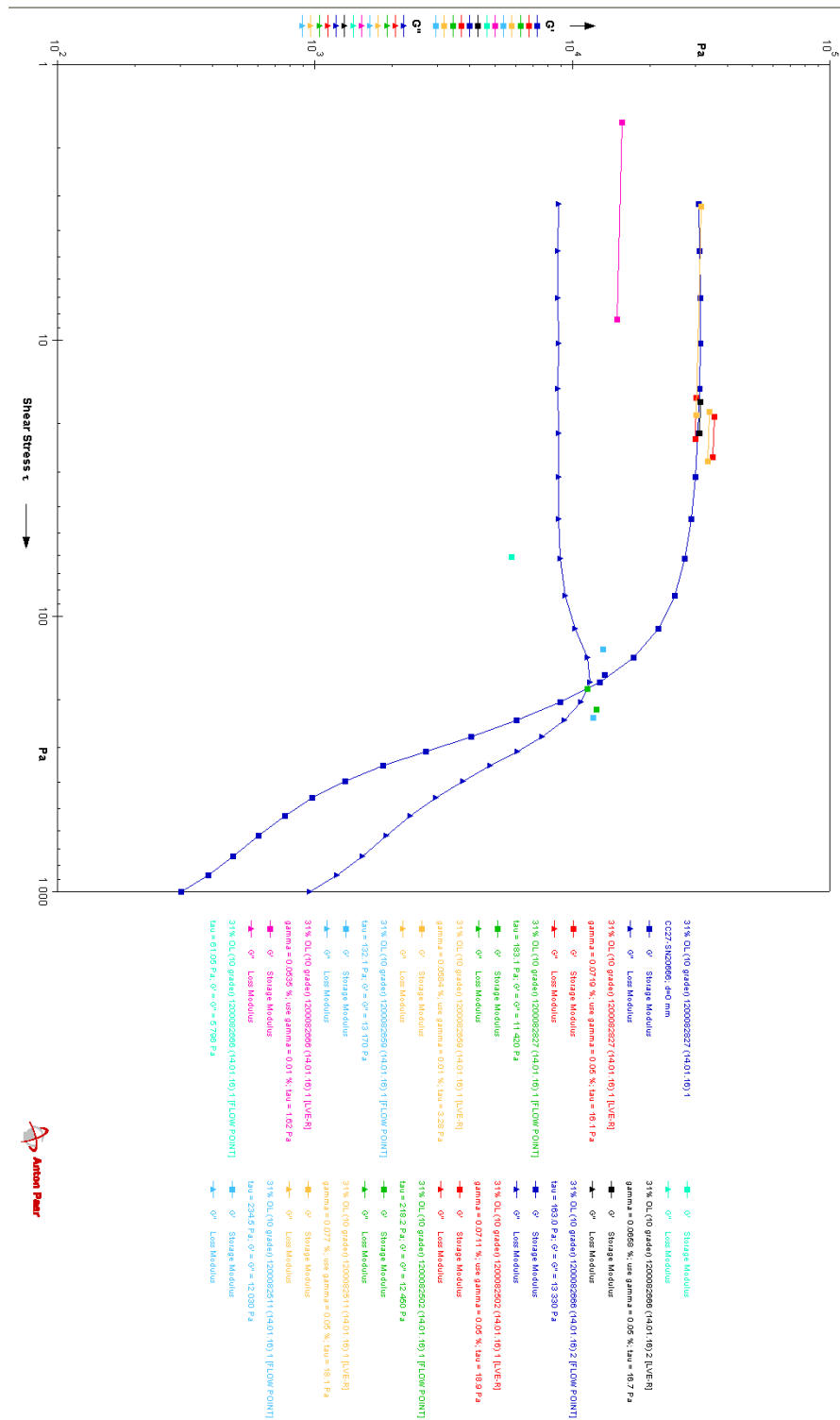
**Tabell 16:** Korrelasjonsmatrise av samtlige kvalitetsparametere, reologiske målinger og teksturanalyser gjennomført på tomatpuré.

```
> rcorr.adjust(altvedtigraderNOV[,c("Adhesiveness", "Bostwick", "Chewiness", "Cohesiveness",
+ "Consistency.index", "Gamma", "Gumminess", "Hardness", "Lagringsmod", "Resilience", "Tau.",
+ "Totalt.syreinnhold", "brix", "flow.behaviour.index", "pH", "serumviskositet")], type="pearson",
+ use="complete")
```

Pearson correlations:

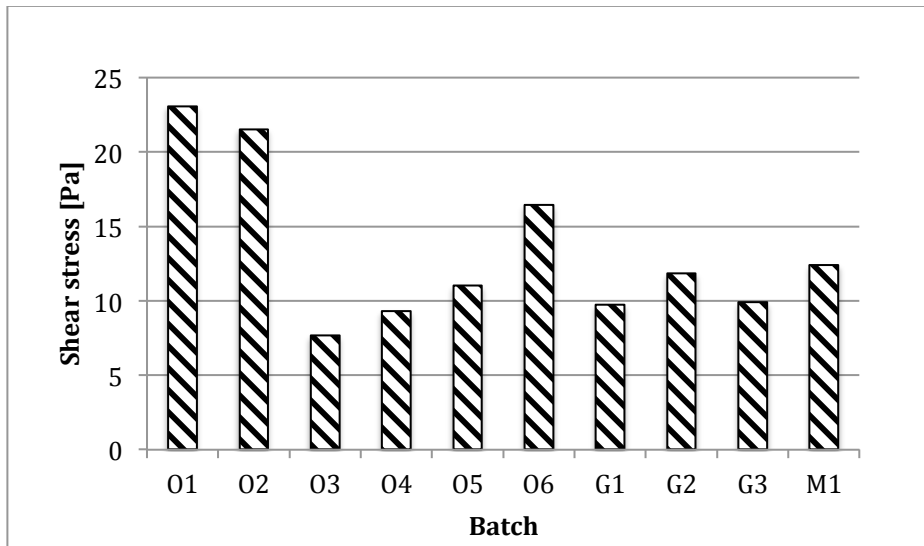
	Adhesiveness	Bostwick	Chewiness	Cohesiveness	Consistency.index	Gamma			
Adhesiveness	1.0000	0.4910	-0.2203	-0.0500	-0.9661	0.0701			
Bostwick	0.4910	1.0000	-0.1069	-0.3754	-0.4750	-0.2613			
Chewiness	-0.2203	-0.1069	1.0000	-0.2149	0.2577	0.5379			
Cohesiveness	-0.0500	-0.3754	-0.2149	1.0000	0.0061	-0.3399			
Consistency.index	-0.9661	-0.4750	0.2577	0.0061	1.0000	-0.0575			
Gamma	0.0701	-0.2613	0.5379	-0.3399	-0.0575	1.0000			
Gumminess	-0.2260	-0.1074	0.9999	-0.2183	0.2631	0.5406			
Hardness	-0.2327	-0.0929	0.9973	-0.2808	0.2725	0.5530			
Lagringsmod	-0.9086	-0.5452	0.4110	-0.0523	0.9553	0.1456			
Resilience	-0.1861	0.0097	0.4757	0.0014	0.3092	0.1923			
Tau.	-0.7019	-0.5533	0.5932	-0.1997	0.7510	0.5751			
Totalt.syreinnhold	-0.4654	0.3902	0.2798	-0.2303	0.4467	-0.3206			
brix	-0.8216	-0.0967	0.1448	-0.1622	0.8387	-0.2247			
flow.behaviour.index	0.2002	0.1594	-0.5105	0.4372	-0.2117	-0.6516			
pH	0.2700	-0.5178	-0.0440	0.1580	-0.2497	0.3839			
serumviskositet	-0.8897	-0.5657	0.2339	0.0705	0.9246	-0.0210			
		Gumminess	Hardness	Lagringsmod	Resilience	Tau.	Totalt.syreinnhold	brix	
Adhesiveness	-0.2260	-0.2327	-0.9086	-0.1861	-0.7019	-0.4654	-0.8216		
Bostwick	-0.1074	-0.0929	-0.5452	0.0097	-0.5533	0.3902	-0.0967		
Chewiness	0.9999	0.9973	0.4110	0.4757	0.5932	0.2798	0.1448		
Cohesiveness	-0.2183	-0.2808	-0.0523	0.0014	-0.1997	-0.2303	-0.1622		
Consistency.index	0.2631	0.2725	0.9553	0.3092	0.7510	0.4467	0.8387		
Gamma	0.5406	0.5530	0.1456	0.1923	0.5751	-0.3206	-0.2247		
Gumminess	1.0000	0.9976	0.4161	0.4774	0.5990	0.2821	0.1507		
Hardness	0.9976	1.0000	0.4269	0.4716	0.6133	0.2911	0.1699		
Lagringsmod	0.4161	0.4269	1.0000	0.3137	0.8828	0.3336	0.7232		
Resilience	0.4774	0.4716	0.3137	1.0000	0.3574	0.2359	0.3217		
Tau.	0.5990	0.6133	0.8828	0.3574	1.0000	0.1165	0.5058		
Totalt.syreinnhold	0.2821	0.2911	0.3336	0.2359	0.1165	1.0000	0.6618		
brix	0.1507	0.1699	0.7232	0.3217	0.5058	0.6618	1.0000		
flow.behaviour.index	-0.5150	-0.5351	-0.3244	-0.0059	-0.5570	-0.1345	-0.0935		
pH	-0.0453	-0.0525	-0.1397	-0.1769	0.0775	-0.8551	-0.4271		
serumviskositet	0.2391	0.2443	0.8905	0.3386	0.7396	0.2643	0.7805		
		flow.behaviour.index	pH	serumviskositet					
Adhesiveness		0.2002	0.2700	-0.8897					
Bostwick		0.1594	-0.5178	-0.5657					
Chewiness		-0.5105	-0.0440	0.2339					
Cohesiveness		0.4372	0.1580	0.0705					
Consistency.index		-0.2117	-0.2497	0.9246					
Gamma		-0.6516	0.3839	-0.0210					
Gumminess		-0.5150	-0.0453	0.2391					
Hardness		-0.5351	-0.0525	0.2443					
Lagringsmod		-0.3244	-0.1397	0.8905					
Resilience		-0.0059	-0.1769	0.3386					
Tau.		-0.5570	0.0775	0.7396					
Totalt.syreinnhold		-0.1345	-0.8551	0.2643					
brix		-0.0935	-0.4271	0.7805					
flow.behaviour.index		1.0000	-0.0745	-0.0608					
pH		-0.0745	1.0000	-0.0670					
serumviskositet		-0.0608	-0.0670	1.0000					

# Vedlegg D

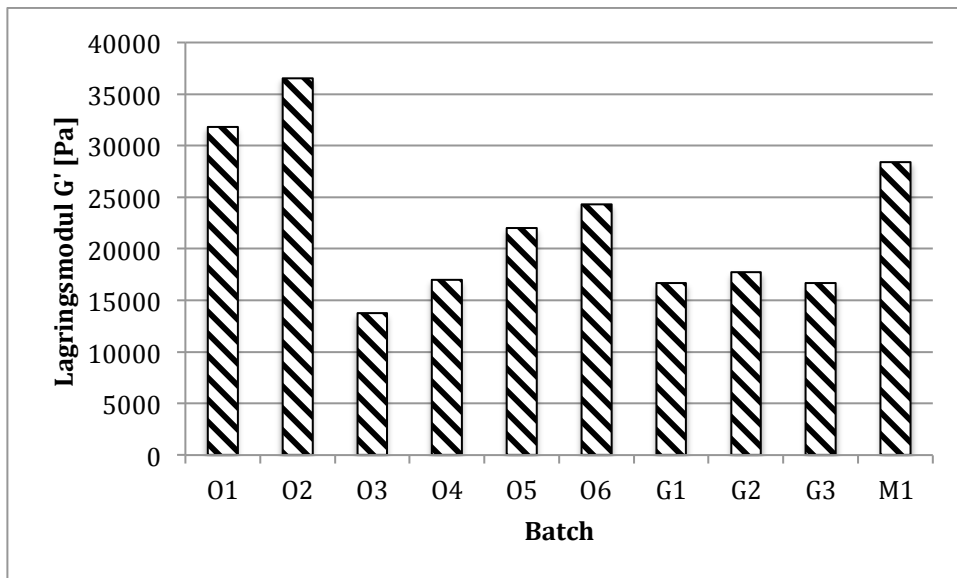


**Figur 31:** Utsnitt fra Rheoplus v3.40 (Anton-Paar, Graz, Østerrike), viser eksempler på verdier av skjærspenning (Pa) plottet mot  $G'$  og  $G''$  etter amplitude sweep av et tilfeldig utvalg tomatpuréer. Det korte strekene uttrykker det lineære viskoelastiske området (LVE), mens flytgrensen er slutten av LVE-området.

## Vedlegg E



**Figur 32:** Grafisk fremstilling av målte gjennomsnittsverdier under amplitude sweep. (Anton-Paar Physica MCR501, Graz, Østerrike), av shear stress [ $\tau$ ] oppgitt i Pascal.

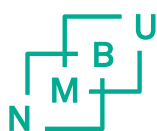


**Figur 33:** Grafisk fremstilling av batchvise gjennomsnittsverdier av lagringsmodulen ( $G'$ ) oppgitt i Pascal, under amplitude sweep (Anton-Paar Physica MCR 501, Graz, Østerrike). Verdiene beskriver gjennomsnittsmengden av deformasjonsenergi [Pa] som de ulike batchene lagret under skjærpåføringen av materialet.









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

Postboks 5003  
NO-1432 Ås  
Norway