

Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
Fakultet for miljøvitenskap og teknologi
Institutt for matematiske realfag og teknologi

Masteroppgave 2014
30 stp

Utvikling av nødhjelpsmat med høy energi- og næringstetthet basert på komprimering ved bruk av en enkeltpellettpresse

Development of a High-Energy, Nutrient-Dense
Emergency Relief Food Product Based on
Compaction Using a Single Pellet Press

Eirin Frantzen

Forord

Denne masteroppgaven markerer slutten på min studietid ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet på Ås. Oppgaven ble gjennomført ved Institutt for matematiske realfag og teknologi samt Institutt for kjemi, bioteknologi og matvitenskap fra januar til mai 2014.

Mange personer fortjener takk for små og store bidrag i forbindelse med denne oppgaven. Jeg vil først og fremst rette en stor takk til begge mine veiledere Carlos Salas Bringas og Odd-Ivar Lekang. Mest av alt for deres tid, kompetanse og gode veiledning gjennom en utfordrende oppgave. Det har vært en meget lærerik prosess.

Andre jeg vil takke er:

- Arne Andreassen, GC Rieber Compact, for nyttig informasjon i oppstartfasen
- Nevena Misljenovic, for laboratorieveiledning og faglige innspill
- Dejan Dragan Miladinovic, Birger Svihus, Reidar Barfod Schüller og Elling-Olav Rukke for deres tid og deling av kunnskap
- Min far for konstruktive tilbakemeldinger
- Mine medstudenter for både faglige og sosiale stunder
- Anders for nyttige innspill, korrekturlesing, støtte og tålmodighet

Ås, 15 mai 2014

Eirin Frantzen

SAMMENDRAG

Hovedmålet med forøket var å utvikle nødhjelpsmat med høy energi- og næringstetthet basert på komprimering ved bruk av en enkeltpellettpresse (forsøk 1). Resepten og produksjonsprosessen ble utviklet basert på spesifikasjoner gitt for kompakt nødhjelpsmat av IOM (2002). Ved måling av fysiske egenskaper til tabletter etter prosessering ble det bestemt eventuelle forskjeller eller likheter mellom tabletter produsert under ulike forhold. Effekt av kompresjonstrykk (4-338 MPa) og -temperatur (22, 35 og 50°C) på tablettenes vanninnhold, vannaktivitet, massetetthet og strekkfasthet ble studert (forsøk 2a), samt effekt av totalt vanninnhold i resepten (6,2%, 9,6% og 12,6%) og kompresjonstemperatur (22, 35 og 50°C) på tablettenes endelige vanninnhold, vannaktivitet, massetetthet, strekkfasthet, energitetthet og vannløselighet (forsøk 2b).

Resultatene fra forsøk 2a viste at kompresjonstrykket ikke hadde en signifikant effekt ($p > 0,05$) på tablettenes vanninnhold og vannaktivitet, eller på massetetthet og strekkfasthet ved trykk >105 MPa. Kompresjonstemperaturen hadde en signifikant effekt ($p < 0,05$) på alle responsvariablene. Resultatene fra forsøk 2b viste at vanninnholdet i resepten og kompresjonstemperaturen hadde en signifikant effekt ($p < 0,05$) på alle responsvariablene. Tablettenes vanninnhold, vannaktivitet, massetetthet og strekkfasthet økte lineært med økende kompresjonstemperatur ($R^2 = 0,94-0,99$). Tabletter produsert med 12,6% vanninnhold i resepten og ved 22 og 35°C hadde best vannløselighet, og tabletter produsert med 9,6% vanninnhold i resepten viste høyest strekkfasthet. Det ble observert oljelekkasje under kompresjon ved 35 og 50°C og energitettheten ble redusert lineært med økende kompresjonstemperatur. Komprimering ved romtemperatur viste at tablettenes massetetthet økte med reduserende vanninnhold i resepten.

Nøkkelord: Nødhjelpsmat, kompakte tabletter, komprimering, massetetthet, energi, fysiske egenskaper

ABSTRACT

The main objective of the research was to develop a nutrient-dense and high-energy emergency relief food product based on compression using a single pellet press (experiment 1). The recipe and the production process was developed based on specifications given for compact emergency relief food by IOM (2002). By measuring the physical properties of the tablets after processing, differences or similarities between tablets produced under different conditions were determined. The effect of compression pressure (4-338 MPa) and temperature (22, 35, and 50°C) on the tablets moisture content, water activity, density and tensile strength was studied (experiment 2a), and the effect of total moisture content in the recipe (6,2%, 9,6%, and 12,6%) and compression temperature (22, 35, and 50°C) on the end products moisture content, water activity, mass density, strength, water solubility and energy density was studied (experiment 2b).

The results in experiment 2a showed that the compression pressure did not have a significant effect ($p > 0.05$) on the tablets moisture content or water activity, or on density and tensile strength when > 105 MPa. The compression temperature had a significant effect ($p < 0.05$) on all response variables. The results in experiment 2b showed that the moisture content in the recipe and the compression temperature had a significant effect ($p < 0.05$) on all research variables. The tablets water content, water activity, mass density and tensile strength increased linearly with increasing compression pressure ($R^2 = 0,94-0,99$). Tablets produced with 12.6% water content in the recipe and at 22 and 35°C had the best water solubility, and tablets produced with 9.6% water content in the recipe showed the highest tensile strength. It was observed an oil leakage under compression at 35 and 50°C and the energy density decreased linearly with increasing compression temperature. Compression at room temperature showed that the tablets mass density increased by reduced water content in the recipe.

Keywords: *Emergency Relief Food Product, compacts, tablets, compression, energy, physical properties, mass density*

INNHOOLD

1	INNLEDNING	1
2	LITTERATURSTUDIE	2
2.1	Hva er nødhjelpsmat?	2
2.1.1	Varianter av nødhjelpsmat	3
2.2	Ernæringsbehov for mennesker i nød	4
2.2.1	Energi	5
2.2.2	Mikronæringsstoffer	6
2.3	Fremstilling av nødhjelpsmat	7
2.3.1	Baking og miksing av ingredienser	8
2.3.2	Komprimering av pulver til tabletter	10
2.3.3	Tørking, avkjøling og pakking	13
2.4	Bindingsmekanismer i tabletter	13
2.4.1	Hydrering	14
2.4.2	Stivelse og proteiner	15
2.4.3	Andre komponenter	16
2.5	Ernæringskvalitet	17
2.5.1	Vannaktivitetens rolle	17
2.5.2	Endringer i tørrstoffer	19
3	MATERIALER OG METODER	21
3.1	Forsøk 1: Reseptutvikling og fremstilling av nødhjelpsmat	21
3.2	Forsøk 2a: Effekt av kompresjonstrykk og -temperatur	25
3.2.1	Fysiske analyser av tablettene	26
3.3	Forsøk 2b: Effekt av vanninnhold i resepten og kompresjonstemperatur	27
3.3.1	Fysiske analyser av tablettene	28
3.4	Statistiske analyser	29
4	RESULTATER	31
4.1	Forsøk 1: Reseptutvikling og fremstilling av nødhjelpsmat	31
4.2	Forsøk 2a: Effekt av kompresjonstrykk og -temperatur	33
4.3	Forsøk 2b: Effekt av vanninnhold i resept og kompresjonstemperatur	35
5	DISKUSJON	43
5.1	Reseptutvikling og fremstilling av nødhjelpsmat	43
5.2	Effekt av kompresjonstrykk	46

5.3	Effekt av kompresjonstemperatur	46
5.3.1	Energitetthet i tabletter.....	46
5.3.2	Vanninnhold og vannaktivitet av tabletter etter tørking.....	47
5.3.3	Massetetthet og strekkfasthet av tabletter	48
5.4	Effekt av vanninnhold i resepten	49
5.4.1	Energitetthet i tabletter.....	50
5.4.2	Vanninnhold og vannaktivitet av tabletter etter tørking	50
5.4.3	Massetetthet og strekkfasthet av tabletter	51
5.5	Vannløselighet av tabletter	54
5.6	Sammenlikning av tabletter komprimert ved romtemperatur	55
6	KONKLUSJON	56
7	REFERANSELISTE	57
8	VEDLEGG	61

1 INNLEDNING

Egenskaper til nødhjelpsmat som komprimerte tabletter eller barer omfatter i hovedsak høy energi- og næringstetthet og en lang holdbarhet på minst 3 år. For å oppnå dette må produktet være meget kompakt og vanninnholdet lavt. Nødhjelpsmat kan produseres som komprimerte tabletter for å omdanne et finfordelt og vanskelig håndterbart partikulært råstoffmateriale til større partikkelenheter. Komprimeringsprosessen gjøres hovedsakelig ved bruk av trykk, men hvor temperatur og fuktighet også er viktige faktorer for kompressibiliteten, det vil si råmaterialets evne til å gjøres kompakt. Komprimering av mat og andre råstoffer som fører til en økning av massetetthet, er en effektiv løsning for å optimalisere transport og redusere lagringskostnader. I tillegg smaker de ofte bedre og mindre produkt går til spille. Ønskelige produktegenskaper oppnås i komprimerte produkter som følge av fysiske og kjemiske endringer i råstoffet. En viss hardhet av de komprimerte massene er viktig å bestemme for å kunne beregne hvilke mekaniske påkjenninger tablettene faktisk tåler under pakking og transport. Løseligheten av tabletter er også av interesse da nødhjelpsmaten skal kunne lages til en grøt sammen med vann.

Dette studiet var av interesse fordi det var ønskelig å oppnå en bedre forståelse av den fysiske produktkvaliteten til komprimert nødhjelpsmat, som kan justeres med ulike produksjonsparametere og sammensetning av råstoffmaterialet. De spesifikke målsetningene for denne oppgaven, rangert etter prioritet, var å (1) utvikle nødhjelpsmat som tabletter med høy energi- og næringstetthet basert på komprimering ved bruk av en enkeltpelletpresse; og (2) studere effekter av ulike vanninnhold, trykk og temperaturer under komprimeringen på fysiske kvaliteter til tabletter. Fysiske kvaliteter som ble analysert var vanninnhold, vannaktivitet, vannløselighet, massetetthet, energitetthet og strekkfasthet. Ved måling av de fysiske egenskapene til tablettene etter prosessering ble det sammenlignet eventuelle forskjeller eller likheter mellom ulike tabletter.

2 LITTERATURSTUDIE

2.1 Hva er nødhjelpsmat?

Nødhjelp er rask assistanse gitt til mennesker i umiddelbar nød, gitt av individer, organisasjoner eller myndigheter for å lindre lidelse under og etter naturkatastrofer eller menneskeskapt konflikter. Sult er ofte den første nøden etter en krisesituasjon har oppstått. Når ingen andre matfasiliteter er tilgjengelige, bør nødhjelpsmat kunne brukes som en umiddelbar respons etter en nødsituasjon og frem til etableringen av en mer stabil matforsyning. Det er avgjørende at en tilstrekkelig matrasjon gis til den nødlidende populasjonen så raskt som mulig, da det er i startfasen av kriser at den kriserammede populasjonen er mest avhengig av matrasjoner. Dette redder ikke bare liv, men reduserer også sannsynligheten for å senere måtte implementere mer kostbare og tungvinte tiltak. En komité valgt av Institutt for Medisin (IOM) av Nasjonalt Akademi for Vitenskap har i en rapport oppgitt spesifikasjoner for nødhjelpsmat (IOM 2002). Målet med nødhjelpsmat er å redusere sykdom og dødelighet hos individer ved å gi ernæringskomplett mat som er tilstrekkelig som eneste kilde til næring for opptil 15 dager (IOM 2002). Fem kritiske egenskaper til nødhjelpsmat, rangert etter prioritet, er at den må være (1) trygg å spise – mikrobiologisk og kjemisk, (2) sensorisk akseptabel, (3) enkel å levere, (4) enkel å tilberede og spise og (5) ernæringsmessig komplett. Nødhjelpsmaten bør konsumeres sammen med en rikelig mengde vann for å forsikre at osmotisk belastning gitt av nødhjelpsmaten blir fortynnet (IOM 2002). For å dekke de fem kritiske egenskapene til produktet bør disse faktorene være på plass:

1. Lav vannaktivitet og en tilstrekkelig god emballasje for mattrygghet som gir en holdbarhet på minst 2-3 år ved 21°C (IOM 2002);
2. En akseptabel munnfølelse, smak og lukt;
3. Høy nærings- og energitetthet (kompakte), lettvektig og riktig form for at maten skal være enkel å levere;
4. Maten kan spises uten tilberedning; det kan ofte være en begrenset tilgang på brensel til matlaging (WHO et al. 2004);
5. En riktig nærings sammensetning i hver porsjon, og hvor mengde nødhjelpsmat lett kan justeres etter behov.

Da produktet distribueres blant ulike etniske og kulturelle grupper brukes ikke animalske råvarer, og råvarer bestående av kjente allergener bør unngås (IOM 2002).

Nødhjelpsmaten kan også inntas som en grøt og da må det være tilgang på trygt vann. Det antas at individer konsumerer nok av denne nødhjelpsmaten for å dekke energibehovet, i alle fall for en kort tidsperiode. Det er motstridende data på om hvorvidt individer vil konsumere nok av én type kjeksprodukt for å møte deres energibehov (IOM 2002). Med tiden kan populasjonen bli mindre avhengig og mathjelpen endres ofte. I langvarige krisesituasjoner vil man forsøke å supplere med den maten som populasjonen skaffer selv. Å estimere mat- og næringsbehov i postkrisefasen er mer kompleks, da det krever analyser for hvor stor grad populasjonen klarer å møte deres næringsbehov på egen hånd (WHO et al. 2004).

2.1.1 Varianter av nødhjelpsmat

De største distributørene av nødhjelpsmat er World Food Programme (WFP), Unicef, Leger uten grenser (MSF), USAid og CARE. Produsenter er blant annet Survival Warehouse, Mayday Industries Inc., Survivor Industries Inc., Quake Kare Inc. og GC Rieber Compact. Det finnes ulike varianter av nødhjelpsmat. Nødhjelpsmatprodukter distribuert av WFP (*Special Nutritional Products*) inkluderer:

- Berikede blandingsprodukter som er utviklet for å gi proteintilskudd
- Ferdigmat til underernærte barn
- Hvetemelbaserte høyenergikjekser som brukes i de første dagene av krise når det er knapt på mattilberedningsmuligheter (energi 450 kcal, protein 10-15%, fett 15%)
- Mikronæringspulver som kan strøs på hjemmelaget mat
- Hvetemelbaserte komprimerte matbarer brukt under nødhjelpsoperasjoner når lokal mat ikke kan distribueres eller tilberedes (energi 446 kcal, protein 14,5%, fett 17%)

Det norske produktet BP-5™ Compact Food, produsert av GC Rieber Compact, er suksessfulle kompakte høyenergibarer (IOM 2002). GC Rieber definerer sin nødhjelpsmat BP-5™ Compact Food slik:

”Den næringsrike, energirike og lettfordøyelige baren er basert på hvetemel og kan spises som den er eller smuldrer i vann og spises som en grøt. Den inneholder en kombinasjon av proteinkilder som gir et høyt og balansert innhold av aminosyrer,

men proteininnholdet er relativt lavt for å hindre bruk av protein som en energikilde. I tillegg inneholder de alle essensielle vitaminer og mineraler for å gi en høy ernæringsmessig utnyttelse. På bakgrunn av nøye utvalgte råvarer er innholdet av antiernæringsstoffer lavt; dette sikrer absorpsjon av essensielle mikronæringsstoffer. Det er ingen risiko for mikrobiell vekst i baren på grunn av veldig lav vannaktivitet, og de inneholder ikke laktose eller andre anerkjente allergener. Det er et vegetabilsk produkt og inneholder ingen animalske ingredienser, og produktet aksepteres av alle kulturer og trossamfunn. Barene pakkes under høyt trykk i en luft- og vanntett aluminiumsfoliepose lagd av triplylaminat, med en vannavstøtende pappeske som beskytter denne posen. 24 enheter/barer pakkes inn i en sterk bølgepapp som bidrar til å sikre matkvalitet under ekstreme forhold under transport og lagring (fuktighet, mekanisk påkjenning, varme, insekter og gnagere)” (*GC Rieber BP-5-product description*).

2.2 Ernæringsbehov for mennesker i nød

I alle typer nødhjelpsmat er et næringsriktig innhold viktig når det ikke er tilgang på annen mat. Ved knapphet på råvarer følger ofte underernæring på proteiner, energi og mikronæringsstoffer. Dette bidrar sterkt til sykdom og dødelighet, en svak samfunnsøkonomisk utvikling og det vil skape intense krav på knappe ressurser (WHO et al. 2004). Inntak av makronæringsstoffer (karbohydrater, fett og proteiner) gir energi, men i nødhjelpsmaten er det ønskelig at karbohydrater og fett skal være de to største energikildene. Det antas at levering av vann er første prioritet i hvilken som helst nødhjelpsoperasjon da vanninntak er det mest kritiske for overlevelse.

Råvarer som møter energi-, protein-, fett- og mikronæringsbehovene i nødhjelpsmaten er essensielt, og lokale kostpreferanser tas i betraktning (IOM 2002). Dersom maten er uakseptabel eller veldig ukjent for populasjonen spiller det en liten rolle om mengde energi og næring er riktig; det vil ikke være passende å introdusere ny mat i slike situasjoner (WHO et al. 2004). Cerealer generelt regnes som en akseptabel råvare for de fleste populasjoner. De har en høy næringstetthet og består av både karbohydrater og proteiner i tillegg til ulike mikronæringsstoffer. I hvete finnes det spesielt enkelte B-vitaminer, vitamin E og jern. Til tross for dette har cerealer også to viktige begrensninger; (1)

aminosyreprofilen i proteinene har reduserte nivåer av spesielt lysin og treonin, og (2) cerealer generelt må prosesseres for å optimalisere biotilgjengeligheten av næringsstoffene. Biotilgjengeligheten av en næring kan defineres som mengde næringsstoff tilstede i maten og som omsider absorberes i tarmen og tas opp av kroppens celler (C. J. K. Henry & Chapman 2002), det vil si fordøyes. For å fremstille nødhjelpsmaten må det dermed tilsettes flere råvarer i tillegg til cerealer for å tilfredsstille aminosyreprofilen, og hvetemelet må prosesseres for å øke fordøyeligheten.

2.2.1 Energi

Det har blitt estimert at det gjennomsnittlige minimums energibehovet per person per dag er 2100 kcal for et individ med et "lett" aktivitetsnivå. Individuelle energibehov beregnes med henhold på alder, kjønn og vekt, og justeres også opp eller ned basert på lufttemperaturen, helse- eller næringsstatus til populasjonen samt aktivitetsnivåer (WHO et al. 2004). Gitt estimert energibehov blir energitettheten av nødhjelpsmaten 4-5 kcal/g. For å oppnå den høye energitettheten kreves det et produkt med et lavt vanninnhold, 35-45 % fett og 10-15% protein. Den sensoriske aksepten bør likevel påvirke det endelige valget av ingredienser (IOM 2002).

I nødhjelpsmat utgjør karbohydrater mange funksjoner, blant annet gir de energi, en søt smak og fysikalske egenskaper til produktet (IOM 2002). Man har erfart at kjeksliknende produkter med en søt smak er de mest aksepterte produktene over et bredt kulturspekter der hvor nødhjelpsmat har blitt brukt (IOM 2002). Dermed bør nødhjelpsmat også inneholde sukker for å gi søt smak og for å forbedre teksturen av maten. Spesifikasjonene for nødhjelpsmat begrenser likevel det totale sukkernivået, og mesteparten av karbohydratene i nødhjelpsmaten er dermed i form av stivelse (IOM 2002). Spesifikasjonene til nødhjelpsmaten begrenser også innhold av fiber, men ettersom nødhjelpsmaten vil brukes over 15 dager eller mindre vil ikke manglende fiberinntak resultere i kroniske problemer eller forverre en tilstand (IOM 2002).

Det anbefales et fettinnhold på 35-45 % av kaloriene i komprimert nødhjelpsmat (barer) (IOM 2002). En reduksjon av vanninnholdet eller en økning av fettinnholdet vil øke energitettheten av produktet. Ettersom fett har 2,25 ganger mer energitetthet (vektbasert) enn karbohydrat og protein, vil et høyfettprodukt veie mindre enn et lavfettprodukt med

likt vann- og energiinnhold (IOM 2002). Et høyfettprodukt vil dermed være fordelaktig under transportering av nødhjelpsmaten. Fettinnholdet begrenses likevel av minimumsbehovet for andre makro- og mikronæringsstoffer samt begrensninger under produksjonen for kompakt nødhjelpsmat da det vil bidra til å redusere kompressibiliteten. Den viktigste egenskapen til fettsyrer i nødhjelpsmaten er god stabilitet under lagring av det ferdige produktet. Bruk av mettede fettsyrer er det beste alternativet da disse er mer lagringsstabile og fettoksidasjon unngås. Innhold av umettede fettsyrer blir begrenset på grunn av kostnad og lagringskrav (IOM 2002).

Proteiner er essensielt for alle fysiologiske funksjoner. Kroppen har ingen reserver for aminosyrer som er essensielle for proteinsyntese, og et raskt tap grunnet matmangel i krisesituasjoner kan resultere i store helsekonsekvenser over en relativt kort tidsperiode. Et høyt proteininntak vil likevel ikke være en fordel da det gir en negativ påvirkning på vannbalansen i kroppen (IOM 2002). Proteiner bør gi minst 10-12% av totale kalorier (WHO et al. 2004) og ikke mer enn 15% av totale kalorier for å hindre nedsatte belastningsproblemer samt tørstpromotering (IOM 2002). For å oppfylle den anbefalte aminosyreprofilen bør det brukes råvarer med høyt proteininnhold i tillegg til proteinisolater. Prosessert hvetemel er en god ingrediens, men har et lavt innhold av aminosyren lysin (IOM 2002). Soyaprotein er et høykvalitetsprotein som inneholder lysin, dog dette kan ha et for lavt innhold av metionin- eller svovelaminosyrer for barn. En kombinasjon av soyaprotein med andre proteinkilder kan dermed være mer tilfredsstillende. Påfølgende prosessering bør ikke påvirke proteinkvalitet, for eksempel varmebehandling som kan redusere lysintilgjengeligheten i produktet (IOM 2002).

2.2.2 Mikronæringsstoffer

Inntak av mikronæringsstoffer trengs for normal funksjon av kroppen; vekst, fysisk aktivitet, utvikling og et godt immunforsvar. De viktigste vitaminene og mineralene for en populasjon som trenger nødhjelpsmat er vitamin A, tiamin (vitamin B1), riboflavin (vitamin B2), niacin (vitamin B3), folsyre (vitamin B9), vitamin C, vitamin D, jern og jod (WHO et al. 2004). En premiks av mikronæringsstoffer beriker nødhjelpsmaten med nødvendige vitaminer og mineraler. Et anbefalt vitamininnhold og mineralinnhold per 1000 kcal nødhjelpsmat har blitt estimert fra anbefalt inntak av IOM (2002). Det er kjent at både mikro- og makromineraler samt alle vitaminer regnes som essensielle for en god

helsetilstand (C. J. K. Henry & Chapman 2002). I denne oppgaven vil kun effekten og beriking av de vitaminene og mineralene som anses å ha en spesielt kritisk effekt for populasjoner i nød nevnes.

Vitaminer tas hovedsakelig opp gjennom mat og alle vitaminene regnes som essensielle på ulike områder da de i svært liten grad syntetiseres av kroppen. Vitamin E er den viktigste fettløselige antioksidanten i kroppen, og nivået av denne bør gi tilstrekkelig antioksidantaktivitet for beskyttelse mot fettoksidasjon etter absorpsjon. Vitamin C sin funksjon i nødhjelpsmat er spesielt kritisk, da den hjelper på å beskytte mot oksidativt stress, forbedre sårhelbredelse og sannsynligvis vedlikeholder et normalt immunforsvar (IOM 2002). Tiamin inngår sentralt i blant annet karbohydratmetabolismen, nukleinsyre- og fettsyresyntese. Tidlige symptomer på tiaminmangel er anoreksi, tretthet og vekttap. Innhold av tiamin og vitamin C i nødhjelpsmat kan reduseres under lagring, dermed anbefales det å bruke etylcelluloseinnkapslet vitamin C i tillegg til tilsetning av et høyere innhold enn minimums næringsbehov (IOM 2002). I nødhjelpsmaten er det essensielt å møte grunnleggende jernbehov, selv om det er kjent at jernmangel ikke kan reverseres på 15 dager (IOM 2002). I tillegg til å bidra til en god helse, bidrar natrium også til et smaksakseptabelt produkt i nødhjelpsrasjoner. Selen er viktig for støtte for blant annet immunforsvaret og forsvar mot oksidativt stress, mens klorid er det viktigste uorganiske ionet i ekstracellulær væske, og er essensiell for å opprettholde væske- og elektrolyttbalansen. Innhold av natriumklorid krever konsumering av tilstrekkelig vann for å fortynne det tilsatte osmotiske innholdet til nivået funnet i plasma. Vannbehovet øker ettersom det totale antall av osmotisk aktive partikler øker i dietten (IOM 2002).

2.3 Fremstilling av nødhjelpsmat

Som tidligere nevnt kommer nødhjelpsmat i flere varianter alt etter hva som er formålet med maten. Hovedmålet med fremstillingen av de kompakte barene er at flere små partikler komprimeres til én større partikkel som vil være lettere å håndtere. Partikkelforstørring ved bruk av komprimering, enten det er gjennom ekstrudering, pelletering eller tabletering, forårsaker komplekse kjemiske og fysiske endringer i råmaterialet.

Hovedingrediensen i den kompakte nødhjelpsmaten er griljermel, som har blitt produsert av kavringer med hvetemel som hovedingrediens. Dette kommer av at stivelsen i hvetemelet må modifiseres enten i selve tablettproduksjonen eller i et forbehandlingstrinn, ettersom nativ stivelse verken er fordøyelig eller fungerer som bindemiddel i tablettene (Svihus et al. 2005). Griljermelet må dermed lages i en bakeprosess før alle ingrediensene i resepten for nødhjelpsmaten blandes sammen. Etter bakeprosessen og miksing av ingrediensene kan pulvermiksen komprimeres til tabletter. En tørking og avkjøling skjer til slutt for å redusere vannaktiviteten.

2.3.1 Baking og miksing av ingredienser

Griljermel produseres fra kavringer som har vært igjennom en bakeprosess; miksing, fermentering og steking. Under miksing blandes og hydreres ingrediensene. Luft inkorporeres så inn i deigen slik at den viskoelastiske egenskapen til gluten utvikles. Miksehastigheten og energien som tilføres må være over en gitt verdi for å kunne utvikle et godt glutennettverk; i hvetedeiger er det proteinene glutenin og gliadin som forårsaker glutennettverket som karakteriseres av en viskoelastisk egenskap. Glutenin er flerkjedete, polymere proteiner med disulfid- og hydrogenbindinger mens gliadin er enkeltkjedete polypeptider. Gluten dannes som følge av hydrering når gluteninmolekyler danner kryssforbindelser som fester seg til gliadin. Et økt vanninnhold i deigen forsterker utvikling av glutennettverket, mens en tilsetning av fett hemmer dannelse av kryssbindinger og brukes når en ønsker en sprøere tekstur. Glutennettverket er viktig under miksing, stabiliteten for gassboblene i deigen, heving og steking (Cauvain & Young 2006) Fermentering eller heving er et kritisk steg i bakeprosessen; luftboblene som ble utviklet under miksing utvides på grunn av CO₂-gass produsert av gjærcellene, noe som gir den karakteristiske luftige strukturen til brød. Ved dette steget er luftboblene adskilte og gassen er inni boblene. Etterhvert begynner boblene å koalesere, CO₂-gass begynner å unnsnippe og volumøkningen opphører (Cauvain & Young 2006).

Etter heving og elting deles deigen opp i flere og mindre emner og stekes i ovnen. Under steking blir strukturen som ble laget av gasscellene omdannet til et luftig brød med en sammenhengende svampstruktur beskyttet av et nettverk av stivelse og protein. Under steking denatureres proteinene. Proteinene slipper da vannet, mens stivelseskorn som var bundet til proteinnettverket tar opp vannet. Dette fører til svelling av stivelseskornene

og en rask økning i viskositeten av deigen, en faseendring kalt gelatinisering eller forklisting (Cauvain & Young 2006).

Strukturen til stivelse har blitt forklart av flere, blant annet Bertolini (2010) og Rahman (2009). Det er et polysakkarid formet som stivelseskorn og består av makromolekylene amylose (ca 25%) og amylopektin (ca 75%) samt små mengder proteiner (<0,5%) og lipider (ca 1%). Forskjellen mellom amylose og amylopektin er måten glukoseenhetene er bundet sammen på; amylose er en lineær glukosepolymer mens amylopektin er en forgrenet glukosepolymer. Termisk behandling av cerealbaserte råmaterialer sammen med vann fører til store endringer i den fysiokjemiske strukturen til stivelse; stivelseskornene sveller på grunn av diffusjon av vann inn i kornene. Diffusjon av vann ødelegger hydrogenbindinger og vannmolekylene fester seg til hydroksylgrupper i stivelsen; kornene sveller stivelseskornene og bindingene som holder polymerene sammen blir svakere. Når en viss temperatur nås, forklistringstemperaturen, blir svellingen irreversibel og strukturen til kornene forandret. Kornmateriale diffunderer fra kornet til vannet, amylose og amylopektin aggregerer og danner hydrogenbindinger med hverandre, noe som fører til dannelse av semikrystallinske områder. Som en effekt av dette øker viskositeten i mediet (Bertolini 2010). I de fleste tilfeller dannes det stivelsesmolekyler med mange tilfeldige strukturer (C. J. K. Henry & Chapman 2002). Dermed er forklistring av stivelseskorn en omdanning av en nokså ordnet struktur til en amorf struktur. Native stivelseskorn er uløselige i kaldt vann (Bertolini 2010), men ved oppvarming løses kornene opp gjennom forklistringsprosessen.

Under steking skjer det også en fordamping av vann fra brødet nær brødets overflate. Denne fordampingen, samt Maillard-reaksjoner, forårsaker at det dannes en mørk brun skorpe ytterst på brødet (Brennan 2006b). Videre prosessering til kavringer gjøres ved at brødet tørkes på en relativt lav temperatur i en ovn til et lavt vanninnhold. Kavringerne, med omtrent 5-6% vanninnhold, blir så malt opp til griljermel. Etter griljermelet har blitt laget blandes det med resten av ingrediensene. Under hydrering med vann endres overflateegenskapene til noen komponenter og vil dermed påvirke strukturen til det ferdige produktet (Thomas et al. 1998). Det er viktig at hver tablett inneholder likt næringsinnhold og lik sammensetning av ingredienser, dermed er det viktig at tilsetningen av ingrediensene foregår nøye og at miksingene fordeler komponentene godt.

2.3.2 Komprimering av pulver til tabletter

Partikkelstørrelsen til pulveret vil påvirke den fysiske kvaliteten i de komprimerte tablettene. Generelt gir små partikler høyere fysisk kvalitet da de kan absorbere vann lettere enn store partikler og oppnå en høyere grad av fukting. I tillegg har små partikler et større overflateområde enn større partikler, som forårsaker at bindingsevnen mellom partiklene øker da de lettere kommer i kontakt med andre partikler under komprimeringsprosessen. Dette bidrar til økt tetthet og styrke i den kompakte massen (Kaliyan & Vance Morey 2009).

I matsystemer er det essensielt å forstå den fysiske tilstanden av de faste stoffene og deres interaksjoner med vann. Grunnleggende trekk i strukturen er at proteiner og polysakkarider er hovedmaterialene og vann er hovedmediet, løsningsmiddelet og plastifiseringsmiddelet (Aguilera & Lillford 2008). Karbohydratene og proteinene er typiske hydrofile komponenter som har en tendens til å danne amorfe ikke-krystallinske strukturer ved lavt vanninnhold. Kjente matprosesseringer som resulterer i dannelsen av et materiale med en glasstilstand av amorfe eller delvis amorfe matkomponenter er blant annet baking og dehydrering (Aguilera & Lillford 2008). Glasstilstanden av mat beskriver en tilstand med en uordnet molekylstruktur, og karakteriseres som et hardt og sprøtt materiale og med et lavt vanninnhold (Aguilera & Lillford 2008).

Kompressibilitet er deformeringssevnen til pulveret for å gjøres kompakt under trykk (Busignies et al. 2012). Under komprimeringsprosessen anvendes trykkmetoder for å tvinge pulveret til å agglomerere. Komprimering involverer volumreduksjon, omorganisering av partikler og interpartikulær dannelse av bindinger. Når et pulver komprimeres blir gassfasen redusert og partiklene bragte nærmere hverandre; porøsiteten reduseres og massetettheten øker. Interpartikulære bindinger blir sterkere og bulkpulveret blir omdannet til en sammenhengende kompakt masse (Jivraj et al. 2000). Som vist i Fig. 2.1 kan komprimeringsprosessen av et pulver deles inn i tre trinn.

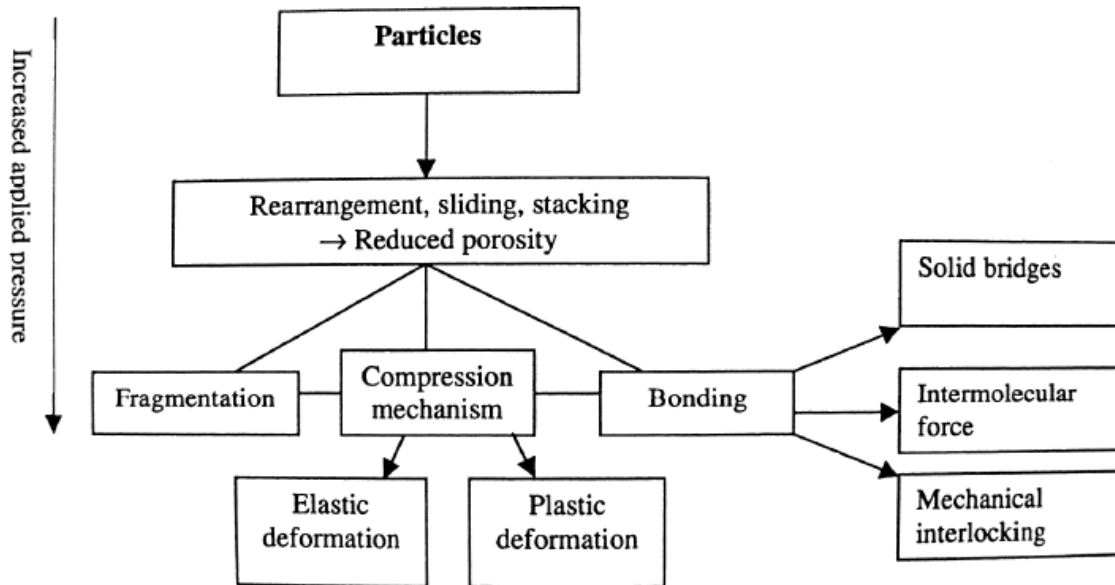


Fig. 2.1. Deformasjonsmekanismer av pulverpartikler under kompresjon (Comoglu 2007).

I det første trinnet under kompresjon skjer det en tvungen omorganisering av partikler under lavt trykk i komprimeringskammeret for å okkupere rom mellom partikler. Partiklene blir tettere pakket sammen, men beholder stort sett sine opprinnelige egenskaper (Jivraj et al. 2000). Energi spres på grunn av friksjoner som oppstår mellom partikler samt mellom veggen og partikler. En kraftig trykkøkning under det andre stadiet fører til en elastisk og plastisk deformering av partikler når partikler ikke lenger kan omorganisere seg selv; sprø partikler kan knuses og seige partikler deformeres plastisk (Shinohara 1997). Dette forårsaker at partikler flyter inn i åpne rom samt øker dets interpartikulære kontaktområde. Interpartikulære friksjoner og interaksjoner oppstår når trykket øker, noe som forårsaker en viss økning av temperaturen i massen. Som et resultat av det økte trykket og temperaturen blir bindingskrefter effektive her (Nilsson & Bernesson 2008; Pietsch 1997). Høyt trykk fortsetter frem til hele rommet i komprimeringskammeret er fylt med materiale og den ekte tettheten til materialet er nådd. Mekanismene kan oppstå samtidig og er avhengig av råmaterialets egenskaper og komprimeringsforhold (trykk, temperatur, hastighet) (Shinohara 1997). En elastisk spenningsrelaksasjon kan oppstå når trykket fjernes fra objektet som allerede har blitt plastisk deformert (Steffe 1996).

Deformering er et resultat av strekkspenning som oppstår i materialet på grunn av en påført belastning, der indre intermolekylære krefter motarbeider den påførte kraften. Under den reversible elastiske deformeringen forlenges de amorfe regionene i materialet når spenningen øker. Det elastiske området opphører idet materialet når dets flytspenning, som er den elastiske grenseverdien til materialet før en irreversibel plastisk deformering starter. Fig. 2.2 viser en spenning-tøyningskurve under kompresjon; materialer som viser en plastisk deformasjon før brudd karakteriseres som seige materialer og har en lengre tøyningsfase enn sprø materialer som viser en kort tøyningsfase før det oppstår brudd under strekkspenning (Austin & Trass 1997; Steffe 1996).

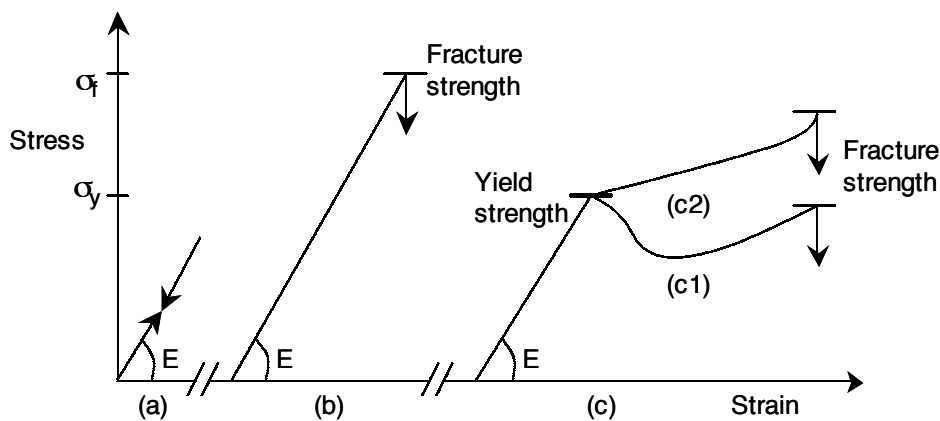


Fig. 2.2. Spenning-tøyningskurve for kompresjon: a. reversibel elastisk deformering; b. sprø atferd; c. seig atferd (c1. normal plastisk flyt; c2. tøyningsfastning) (Patel et al. 2006).

En enveis komprimering kan bestå av en samtidig varmebehandling, hvor pulveret presses sammen i en kanal til større sylindriske partikler eller andre former ved bruk av trykk (*Animal Feed Pelleting* 2012). Dette kan også kalles tabletering eller pelletering, og er en form for komprimering som kan utføres av ulike typer presser (Capes 1980). Andre trykkmetoder er ekstrudering, hvor et pulver omdannes til en plastisk tilstand og presset gjennom en åpning for å forme en kontinuerlig kompakt masse som kan kuttes til en ønskelig lengde (Capes 1980). Faktorer som fukting, partikkelstørrelse, fysiske og kjemiske egenskaper til råmaterialet vil påvirke friksjonen. Idet temperaturen i massen øker, øker spenningstøyningen samt plastisiteten, mens elastisiteten reduseres (*Animal Feed Pelleting* 2012).

2.3.3 Tørking, avkjøling og pakking

Tørking og avkjøling av tablettene er nødvendig for å redusere vannaktiviteten til $<0,4$ for å oppnå tilstrekkelig holdbarhet i nødhjelpsmaten. Dette oppnås ved å redusere vanninnholdet ved fordamping av vann. Tørking resulterer også i en redusert vekt av produktet og muligens et mer sprøtt produkt (Thomas & van der Poel 1996). I tillegg stabiliseres mye av strukturen under tørking og avkjøling. Dette forklares nærmere i kap. 2.4 for bindingsmekanismer. Tørking i en varmluftsovn skjer ved at varme overføres ved konveksjon fra lufta til overflaten til produktet, og ved varmeledning videre inn i produktet. Tabletter som ikke er ordentlig avkjølt kan vise en redusert slitestyrke grunnet spenninger i tablettene mellom det ytre laget (avkjølt) og det indre (varmere) (Thomas & van der Poel 1996). Etter fordamping av vann fra overflaten av tablettene forårsaker trykkgradienten og varmen inni tablettene en migrering av vann fra sentrum av tablettene til overflaten og så til utsiden.

En tilstrekkelig god emballering er nødvendig for å beskytte og bevare matkvaliteten (WHO et al. 2004). Det anbefalte næringsinntaket på 2100 kcal/dag bør kunne gis av én enhet som veier omtrent 450 g (IOM 2002). Denne rasjonen skal deles opp i mindre enheter; ni like porsjoner formet som barer, hvor hver bar består av to tabletter på 116 kcal hver delt på bredden. En dagsforsyning inkluderer da ni barer eller 18 tabletter. Produktet skal pakkes i flere nivåer av emballasje og sikrer matkvalitet under ekstreme forhold (IOM 2002). Emballasjen fungerer som en barriere for omgivelsene og gjør at produktet tåler en viss mekanisk påkjenning.

2.4 Bindingsmekanismer i tabletter

Hardheten til tablettene kan estimeres som summen av maksimum strekkfasthet for de individuelle interpartikulære interaksjonene (Aarseth & Prestløyken 2003), og er et mål på hvor mye kraft som skal til for å lage brudd i tablettene. Tablettene er heterogene materialer bestående av vann, gass og faste stoffer med en varierende partikkelstørrelse. Det har tidligere blitt foreslått at partikkelstørrelsen og -fordelingen sannsynligvis påvirker hardheten til fôrpelletts (Thomas et al. 1999), og at de heterogene og glassaktige pelletene gjør at produktet er av sprø karakter (Aarseth & Prestløyken 2003). Både deformasjon som forårsaker en økning av kontaktområdet mellom partikler og

fragmentering som produserer nye overflater vil fremme en sterkere binding i materialet (Jivraj et al. 2000).

2.4.1 Hydrering

Komponenter i resepten endrer deres egenskaper når vann tilsettes. Bindingsmekanismer i komprimerte masser oppstår på grunn av løselighet og påfølgende krystallisering av komponenter som stivelse, fettstoffer, sukkerer eller på grunn av kapillærkrefter. Prosesser som forklistring, denaturering og løseliggjøring oppstår som følge av vannhydrering av partikler (Kaliyan & Vance Morey 2009). Hydrering tilrettelegger dermed for naturlige bindingsmidler i råmaterialet og effekten på endringene av partiklenes egenskaper forsterkes ofte når en holdetid benyttes (Thomas et al. 1997). Vannet endrer dermed strukturen til komponenter slik at binding mellom partikler blir mulig. Varme er også ofte en forutsetning for å forbedre bindingsegenskapene ytterligere (Thomas et al. 1997), men det kan forårsake tap av næringskvaliteten for labile næringsstoffer. Under tørking og avkjøling omkrystalliseres løselige komponenter i tablett, noe som hjelper på dannelse av interpartikulære bindinger (Thomas et al. 1997).

Bindingsmekanismer som følge av vanntilsetning kan deles inn i (1) interaksjoner mellom fast stoff-partikler, (2) kapillærkrefter i et trefasesystem av vann, luft og faste stoffer; vannbroer (Fig. 2.3), samt (3) klebende og sammenhengendekrefter mellom partikler (Thomas & van der Poel 1996). For kapillærkraften er bindingskraften avhengig av overflatespenningen av den bindende væsken og radiusen til nabopartikkelen, der styrken til bindingen øker med reduserende radius av partiklene (Thomas & van der Poel 1996).

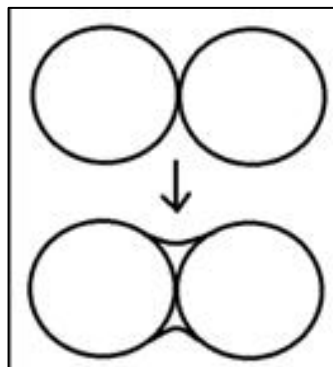


Fig. 2.3. Kapillærkrefter ved vannbroer.

Bindemiddelet, det vil si vann, mellom ulike partikler kan omorganisere seg rundt om partiklene uten at bindingen brytes. Økt temperatur kan forårsake omorganisering av vann via fordamping og kondensering, noe som øker mobiliteten av vann mellom partikler. Når fuktnivået reduseres vil vannbroene krympe. Den totale bindingskraften vil reduseres på grunn av et færre antall vannbroer, men kraft per binding vil øke da vann i de store kapillærene fordampes først, og det resterende vannet etablerer bindinger mellom mindre partikler (Thomas & van der Poel 1996).

Interaksjoner mellom faste stoffer kan forekomme når avstanden mellom partikler er korte nok, for eksempel når trykk ved komprimering påføres (Thomas & van der Poel 1996). Disse interaksjonene kan være omkrystallisering eller krystallvekst av enkelte komponenter, kjemiske reaksjoner, smelting og en videre størkning til en krystallinsk tilstand. Bindinger mellom partikler dannes hovedsakelig i tørke- og kjøleprosessen (Thomas & van der Poel 1996). Partikler og fibrer kan også foldes eller brettes rundt hverandre på grunn av komprimeringen, noe som også vil bidra til å bygge strukturen i den komprimerte massen (Thomas & van der Poel 1996).

2.4.2 Stivelse og proteiner

I nødhjelpsmaten representerer stivelse omtrent 50% av tørrstoffet i miksen, og kan dermed regnes for å dominere de fysikalske egenskapene. Stivelsen må være forklisset, det vil si ødelegge dens native struktur og tillate omorganisering av molekylene for å gi bindingsegenskaper i tablettene. Dette gjøres som ved varmebehandling i et vandig medium og forårsaker at stivelsen blir løselig og mer fordøyelig. Forklisset stivelse har et potensiale til å fungere som bindemiddel i for eksempel komprimerte produkter som pellets (Svihus et al. 2005). For å fungere som et bindemiddel må bindinger dannes på kontaktområder til partikler (Aguilera & Lillford 2008). Studier på forklistring av stivelse har blitt utført ved bruk av en relativt stor mengde vann og de er dermed tvilsomme å ta i bruk for produkter med lavere vann i prosesseringen (Zimonja & Svihus 2009).

Forklistringstemperaturen til hvetestivelse varierer avhengig av prosesseringsforhold (Dobraszczyk et al. 2006). Retrogradering av stivelse etter prosessering bør også tas i betraktning. Retrogradert stivelse er forklisset stivelse som har blitt rekrystallisert til en ufordøyelig form, og virker på mange måter å oppføre seg som kostfiber. Dess høyere amyloseinnhold, dess høyere mengde retrogradert stivelse blir produsert (C. J. K. Henry &

Chapman 2002). Under retrogradering dannes det en påfølgende aggregering av dobbelhelikser av amylose og amylopektin. Da retrogradering av amylopektin skjer meget sakt og trenger lang tid (uker/måneder) under lagring for å utvikles, anses retrogradering av amylose for å være mest kritisk (Svihus et al. 2005).

Proteiner hydreres under miksing av ingrediensene, men konkurrerer med stivelse om det tilgjengelige vannet (Dobraszczyk et al. 2006). Proteiner kan fungere som bindemiddel mellom ulike partikler i tablett, med spesielt klebende krefter. Prosessering kan føre til delvis denaturering av proteiner, og dette kan påvirke tablettens hardhet positivt (Thomas et al. 1998). Denaturering er når proteinets tredimensjonale struktur brytes ned til dens primærstruktur, ofte med varme og vann tilstede. Under kjøling omorganiserer proteinene seg og bindinger kan etableres mellom ulike partikler. Proteinfibriller kan dannes av aggregerende proteinmolekyler av hvetegluten og kan fungere som bindinger mellom partikler (Thomas et al. 1998).

2.4.3 Andre komponenter

Fettsyrer har som regel to funksjoner; de fungerer som smøremiddel og påvirker den sensoriske kvaliteten av det ferdige produktet. De er enten fordelt i små dråper eller smurt på polymerer (Dobraszczyk et al. 2006). Lipider eksisterer i separate faser og har få interaksjoner med hydrofile komponenter og funksjonelle grupper til matpolymerer. Ettersom de fleste av bindingene mellom partikler består av oppløst stivelse og proteiner, kan fettsyrene forstyrre bindingsegenskapene av de vannløselige komponentene da de er hydrofobe (Aguilera & Lillford 2008). Det har blitt vist at frie fettsyrer i miksen påvirker hardhet negativt på grunn av at de forårsaker en lavere interpartikulær friksjon under komprimeringen (Thomas et al. 1998). Andre komponenter som bidrar til bindingsmekanismer er sukker og sirup. Disse bidrar også med aroma og eventuelle bruningsreaksjoner, og er viktige for teksturen og munnfølelsen. På grunn av omkrystallisering kan interpartikulære interaksjoner mellom de faste stoffene oppstå. Dette kan danne harde og sprø bindinger mellom partiklene. Bindingsegenskapene er sterkest når sukrose-molekylene har blitt oppløst (Thomas et al. 1998).

2.5 Ernæringskvalitet

Prosessering av råmaterialer kan påvirke næringsstoffenes kvalitet og næringsverdi. Vannaktiviteten spiller en stor rolle for stabiliteten til næringsstoffene.

2.5.1 Vannaktivitetens rolle

Vann kan betraktes i to tilstander; strukturvann eller bundet vann hvor vannmolekyler er bundet i strukturen til et makromolekyl, og hydreringsvann eller fritt vann hvor vannmolekylenes bevegelse ikke er fullt begrenset (Lewicki 2004).

Løsningsmiddelegenskapene til vann er avhengig av at det er polare molekyler tilstede i systemet, mens bundet vann kan dannes ved interaksjoner mellom vann og faste stoffer med polare molekyler. Sistnevnte kan forårsake at det dannes hydrogenbindinger og at strukturen til materialet stabiliseres (Lewicki 2004). Vannet påvirker dermed fysikalske egenskaper til mat på grunn av bindingsmekanismer som kan dannes med vannet.

Omfanget og styrken til interaksjonene er avhengig av den kjemiske sammensetningen i matsystemet, og dette avgjør også tilstanden til vannet. Vannaktivitet, som er et mål på energistatusen til vannet i et system (Lewicki 2004), defineres som ratioen av det partielle damptrykket av vann i et system (p) over det partielle damptrykket for rent vann (p_0) ved den samme temperaturen og trykket:

$$a_w = \left[\frac{p}{p_0} \right]_{p,T}$$

Vannaktivitet har blitt brukt som et verktøy til å forklare tilgjengelighet av vann for kjemiske og biologiske reaksjoner. I de fleste tilfeller øker a_w ved økende temperatur (Lewicki 2004). Vann påvirker også matens trygghet, stabilitet og kvalitet, slik som ikke-enzymatiske bruningsreaksjoner, fettoksidasjon, degradering av vitaminer, forklistring og retrogradering av stivelse, enzymreaksjoner og proteindenaturering ved ulike vannaktivitetsnivåer (Fig. 2.4.).

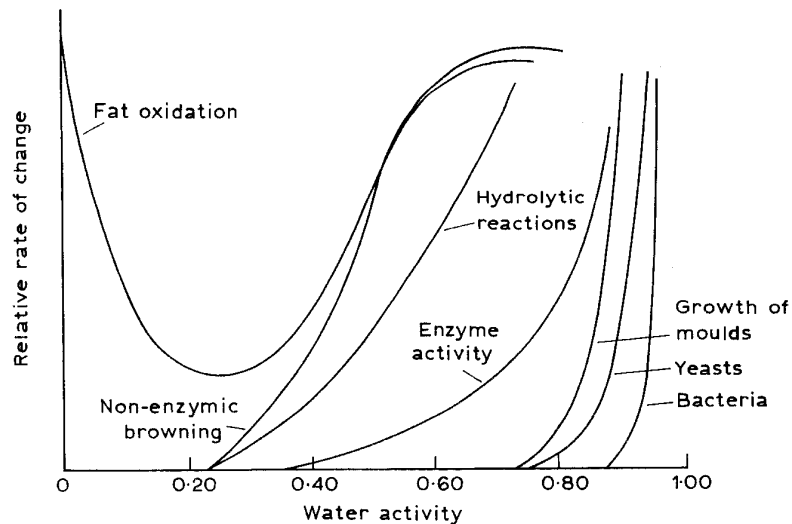


Fig. 2.4. Stabilitet av mat som funksjon av vannaktivitet (Labuza 1970).

Fettoksidasjon kan oppstå i matvarer som har både lave og høy a_w -verdier, men da grunnet ulike mekanismer. I mange matvarer er minimum fettoksidasjon ved a_w -verdier mellom 0,20 og 0,40. Hastigheten på ikke-enzymatisk bruningsreaksjoner er høyest ved a_w -verdier mellom 0,40 og 0,60, mens ved a_w -verdier under 0,40 går reaksjonen sakte grunnet mangel på vannmobilitet. Hydrolytiske reaksjoner går også raskest ved a_w -verdier mellom 0,40 og 0,70. Aktiviteten til enzymer akselererer hurtig ved en a_w -verdi over 0,80. De fleste muggsopper, gjærsopper og bakterier vokser ikke under en a_w -verdi på henholdsvis 0,70, 0,80 og 0,90, selv om halofile bakterier kan vokse ved en lavere a_w . Andre faktorer som temperatur, pH, oksygen- og næringstilgjengelighet kan påvirke mikroorganismenes aktivitet ved andre a_w -nivåer (Brennan 2006a).

Lave a_w -verdier er kritisk for å oppnå kravet for holdbarheten av nødhjelpsmaten, som skal være på 2-3 år ved 21°C (IOM 2002). Vanninnholdet i nødhjelpsmaten bør ikke være høyere enn 9,5%, og vannaktivitet ikke høyere enn 0,6. Man sikrer likevel at næringskvaliteten vedlikeholdes i større grad ved å holde a_w lavere enn 0,4; jo lavere a_w jo mer stabile vil enkelte av næringsstoffene være. For vannløselige vitaminer er det også viktig å holde a_w lav (<0,4).

2.5.2 Endringer i tørrstoffer

Mennesker og andre enmagede dyrearter fordøyer ikke nativ eller ikke-forklistret stivelse lett, og dermed bør stivelsen prosesseres før den konsumeres for å kunne utnytte energien (Camire 2002). Forklistret stivelse er mer utsatt for nedbryting på grunn av enzymet α -amylase tilstede i fordøyelsessystemet. Gjennom et studie med mennesker ble det også vist at en andel stivelse ikke ble fordøyet i tynntarmen; denne andelen ble oppkalt resistent stivelse (Berry 1986). Ulike prosesseringsmetoder kan påvirke stivelsens fordøyelighet på grunn av endring av stivelsens egenskaper eller samspill med andre komponenter i matsystemet (Svihus et al. 2005). Forklistring av stivelse kan gjøres i en bakeprosess beskrevet i kap. 2.3.1.

Matprosessering kan ha enten fordelaktig eller uheldige effekter på næringsverdien av proteinene. Endringer i proteinkvalitet er avhengig av temperatur, fukt, pH, holdetid, interaksjoner mellom dem samt den naturlige atferden til proteinene. Under prosessering kan proteiner delvis denatureres; den tredimensjonale strukturen brytes ned og bioaktiviteten til proteinet blir endret (Thomas et al. 1998). Generelt er det slik at denaturering av proteiner forbedrer ernæringskvaliteten ved at molekylene blir mer tilgjengelige for proteaser, og dermed blir mer fordøyelige. Dette gjelder ikke for Maillard-reaksjoner, som oppstår hyppig i varmebehandling av mat som inneholder både proteiner og reduserende sukkerer. Dette er en kompleks ikke-enzymatisk bruningsreaksjon og gjør at produktet endrer farge, lukt og smak. Dette kan resultere i en redusert proteinkvalitet og en reduksjon av fordøyelighet. Reduksjon av biotilgjengeligheten er forårsaket av tap av essensielle aminosyrer som lysin (IOM 2002) på grunn av dannelse av Maillard-reaksjonsprodukter som er utilgjengelig for kroppens fordøyelse (Arnoldi 2002). En sterk Maillard-reaksjon kan resultere i tap av lysin opptil omtrent 50%. Høy temperatur, lav fuktighet og høy skjærhastighet promoterer reaksjonen. Men, lysin kan preserveres dersom prosesseringsforholdene og reseptene er balanserte (Arnoldi 2002). Bruning kan oppstå også når reduserende sukkerer ikke er inkludert i reseptene, da nye reduserende sukkerer kan dannes fra hydrolyse av sukrose, stivelse og eventuelt andre polysakkarider (Dobraszczyk et al. 2006).

For nødhjelpsmat vil oksidative endringer av fett være en bekymring dersom det er umettede fettsyrer og mineraler tilstede i signifikante mengder. Fettoksidasjon oppstår ved

reaksjon av oksygen og fettsyrene i maten. Reaksjonen produserer peroksider som igjen danner aldehyder og ketoner. Denne type forringelse resulterer i tap av den opprinnelige aromaen eller dannelse av støtende smaker og lukter (Gustavo V. Barbosa-Cánovas et al. 2007), i tillegg til å produsere toksiske biprodukter og ødeleggelse av fettløselige vitaminer (Gregory 1996). Å redusere vanninnholdet i nødhjelpsmaten til en tørr tilstand (<5% vanninnhold) kan promotere fettoksidasjon (Nelson & Labuza 1992). For nødhjelpsmat kan det likevel produseres tabletter med en tørr tilstand dersom fettsyrer og prooksidanter holdes separate av en fysisk barriere, slik som kapsling. Avhengig av mengde umettede fettsyrer kan i tillegg bruk av antioksidanter være nødvendig (IOM 2002). Som nevnt tidligere har emballeringen også en viktig rolle for stabiliteten til nødhjelpsmaten.

Ingen vitaminer er fullstendig stabile i mat; noen er relativt stabile mens andre relativt ustabile. De viktigste faktorene som påvirker stabiliteten til vitaminene er varme, fukt, oksygen, pH og lys (Ottaway et al. 2002). Generelt er det slik at bioaktive stoffer er mer utsatt for degradering idet de ekstraheres fra deres naturlige kilder (Aguilera & Lillford 2008), men faktorene som påvirker stabiliteten til vitaminene vil være de samme. Imidlertid kan den formen for en syntetisk kilde (for eksempel et salt eller en ester) forbedre stabiliteten (Ottaway et al. 2002). Fettløselige vitaminer, spesielt vitamin A og E, har en stabilitet som er tilnærmet lik umettet fett, hvor degraderingshastigheten øker med økende a_w -verdi fra ~ 0 til 0,4. Temperatur kan også i stor grad påvirke degraderingen av vitamin A og E (IOM 2002). Degraderingen for vannløselige vitaminer er avhengig av tilstanden til vannet; om det er fritt til å fungere som et løsningsmiddel eller om det er bundet, i tillegg til a_w -verdien i matsystemet (IOM 2002). Vitamin C er labil og oksideres lett ved tilstedeværelse av vann, varme og lys (IOM 2002), og tap av vitamin C og A kan forekomme under tørking (Brennan 2006a). På grunn av tap av enkelte mikronæringsstoffer har IOM (2002) inkludert en viss ekstra mengde av enkelte stoffer i anbefalingene. Kommersielle kilder for næringsstoffer tilegnet mattilsetning kan fås i former som er innkapslet for å forbedre stabiliteten. Mikroinnkapsling av noen komponenter, spesielt vitamin E og flerumettede fettsyrer, askorbinsyre, jern og andre mineraler er essensielt for å minimere fettoksidasjon og næringstap (IOM 2002).

3 MATERIALER OG METODER

Alle analyser ble utført ved Institutt for matematiske realfag og teknologi samt Institutt for kjemi, bioteknologi og matvitenskap ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet, Ås.

3.1 Forsøk 1: Reseptutvikling og fremstilling av nødhjelpsmat

En resept for nødhjelpsmaten ble utviklet der ingrediensene ble kjøpt inn fra dagligvare- og helsekostbutikker. Ingrediensene var:

1. Griljermel: malte sukkerkavringer fra Wasa (hvetemel (84%), sukker, vegetabilsk fett (raps- og palmeolje), gjær og salt);
2. Raffinert Cocosolje: inneholder et høyt antall mettede fettsyrer (>90%) og er dermed stabil mot oksidasjon. En stor andel ($\approx 60\%$) av de mettede fettsyrene er dessuten mellomlange fettsyrer (C6:0, C8:0, C10:0, C12:0), som lett absorberes i kroppen og som brukes som energi i stedet for lagring i kroppen. Raffinert kokosolje har en nøytral smak og et smeltepunktet på 24,4°C (Bhatnagar et al. 2009);
3. Eldorado Melis: finmalt, raffinert sukker som består av sukrose (98%) og potetmel (antiklumpemiddel);
4. Moss Maltekstrakt: et biprodukt fra ølbrygging og består av alle de vannløselige stoffer som fås fra meskeprosessen; maltose, dekstriner, protein, salter (vesentlig fosfater), B-vitaminer og en liten mengde amylase. Det er en fordel med innhold av naturlige vitaminer og mineraler i råvarene, både kostnadmessig og for stabiliteten av næringsstoffene;
5. Erteproteinisolat (EPI) OG soyaproteinisolat (SPI): en kombinasjon av soyaprotein og erte proteiner gir en tilfredsstillende aminosyreprofil sammen med hveteproteinet;
6. Premiks av mineraler og vitaminer (Premiks Fisk): produsert hos AS Norsk Mineralnæring og levert av Dejan Dragan Miladinovic, FôrTek, Ås.

Griljermelet som ble tilsatt hadde allerede gjennomgått en bakeprosess, slik at stivelsen var forklistret i melet. Griljermelet ble laget ved å male opp sukkerkavringer til mel. Verdiene for de ulike næringsstoffene og energiinnholdet i råvarene ble hentet fra innholdsdeklarasjonen på emballasjen, og totalt mikronæringsstoffer ble kalkulert. Vanninnholdet i griljermelet, melis, proteinisolatene og premiksen ble bestemt

gravimetrisk av en vekt etter tørking over natt i en varmluftsovn (Termaks, Norway) ved 105 °C.

Hovedresepten ble produsert med tre ulike vanninnhold på totalt 6,2%, 9,6% og 12,6%. Av det oppgitte energiinnholdet i innholdsdeklarasjonen til ingrediensene ble det kalkulert totalt energiinnhold i resepten uten tilsatt vann, samt det kalkulerte energiinnholdet i de ulike reseptene med forskjellige vanninnhold. Det understrekes at disse energiinnholdene var kalkulerte verdier og ikke målte verdier.

Det ble også kalkulert andel energiprosent (E%) gitt av fett, karbohydrater og proteiner i resepten, basert på energiinnholdet i næringsstoffene;

- 1 g fett = 9 kcal
- 1 g protein = 4 kcal
- 1 karbohydrat = 4 kcal

Partikkelstørrelsesfordeling ble bestemt av en blanding med kun tørre ingredienser (griljermel, melis, proteinisolater samt vitaminer og mineraler) ved bruk av en partikkelstørrelsesanalysator, Malvern Mastersizer 3000, som anvender laserdiffraksjon (Malvern, UK). Intensiteten av lysspredningen måles idet en laserstråle passerer gjennom en dispergert partikulær prøve. Disse dataene blir analysert til å kalkulere størrelsen til partiklene som dannet spredningsmønsteret. Detaljerte beskrivelser av pelleteringsenheten og virkemåte ble gitt tidligere av Stojanovic og Markovic (2012). Resultatene er oppgitt i en størrelsesfordelingskurve med gjennomsnittsverdier av 20 prøver, med prosentvise ulike størrelser av partikler (μm). Det ble forsøkt å gjennomføre analysen ved å inkludere olje, vann og maltekstrakt i pulvermiksen, men dette lot seg ikke gjennomføre på grunn av granulering av miksene.

Nødhjelpsmaten ble fremstilt som vist i Fig. 3.1. nedenfor.

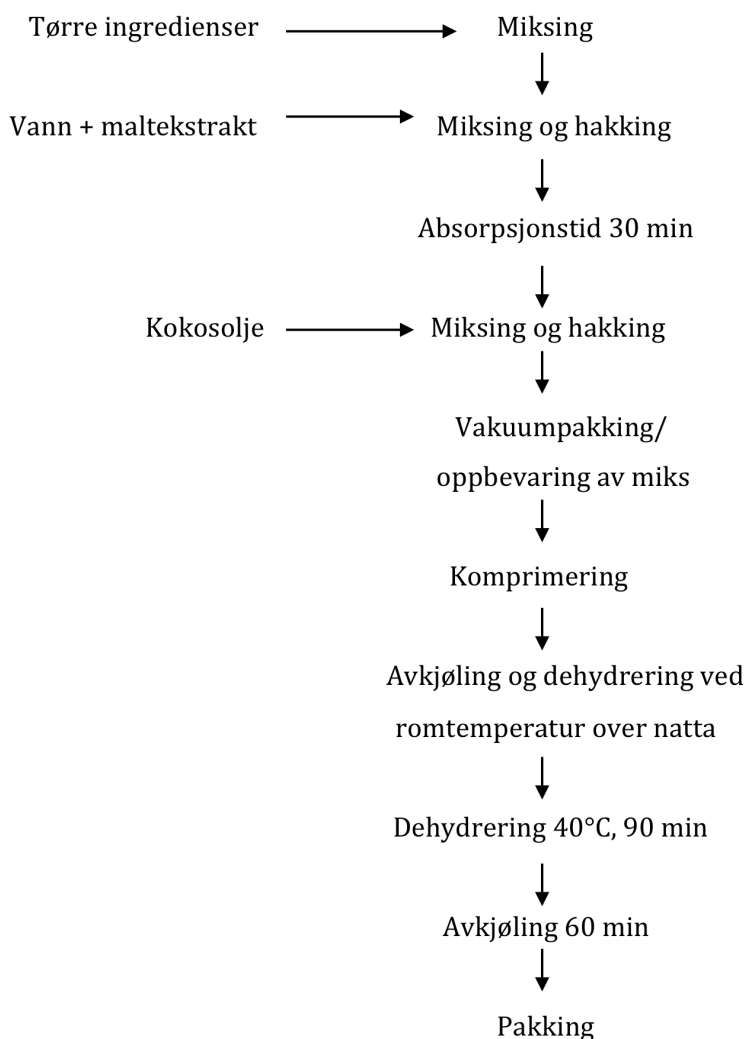


Fig. 3.1. Flytdiagram for fremstilling av nødhjelpsmat.

Ingrediensene ble mikset til en pulverblanding før miksen ble komprimert til tablett. En dehydrering og avkjøling av tablettene ble så gjennomført.

Forbehandling: miksing av ingredienser

Resepten ble produsert i blandinger på 400g på med tre ulike vanninnhold på totalt 6,2%, 9,6% og 12,6%. De tørre ingrediensene ble først blandet godt en mikser (Diosna Mixer Granulator P 1-6, DIOSNA Dierks & Söhne GmbH, Tyskland) ved en miksehastighet på 3,1 m/s i 40 sekunder (mikser: 400 rpm, hakker: 500 rpm). Videre ble vannet og maltekstrakten målt opp og blandet sammen før de ble tilsatt de tørre ingrediensene ved bruk av dysen som ble plassert i mikseren. Det ble brukt en miksehastigheten på 1,4 m/s

(mikser: 180 rpm, hakkeren: 700 rpm). Disse ingrediensene ble mikset igjen ved 3,5 m/s i 60 sekunder (mikser: 450 rpm, hakker: 700 rpm) etter alt vannet og maltekstrakten var tilsatt. Pulvermiksen hadde så en holdetid på 30 minutter for partikulær absorpsjon av vann. Pulvermiksen ble så blandet i 70 sekunder med en miksehastighet på 5,5 m/s (mikser: 700 rpm, hakker: 1500 rpm). Kokosoljen ble så målt opp og gjort flytende ($>24^{\circ}\text{C}$) ved å holde måleglasset under varmt vann. Oljen ble tilsatt miksen ved bruk av dysen på mikseren. Miksehastigheten var på 1,4 m/s (mikser: 180 rpm, hakker: 700 rpm). Pulvermiksen med alle ingrediensene ble så blandet i 60 sekunder ved 4,7 m/s (mikser: 600 rpm, hakker: 2000 rpm), før den ble vakuumpakket for oppbevaring fram til komprimeringen. Ved tilsetning av væsker ble først slangen som førte til mikseren fylt opp med den aktuelle væsken. Deretter ble det væsken tilsatt miksen ved at slangen ble plassert i en målesylinder med en målt opp mengde væske. Pumpen ble stoppet idet målesylinderen var tom. Etter miksing ble pulveret vakuumpakket for å holde pulveret mest mulig kjemisk stabilt fram til komprimering.

Komprimering av pulver til tablett

Det ble produsert tablett av de tre ulike reseptene med 6,2%, 9,6% og 12,6% totalt vanninnhold (vektbasert) 4 dager etter miksing. Pulvermiksen ble komprimert i en enkeltpellettpresse (Fig. 3.2) til små sylindriske tablett med 8 mm i diameter på omtrent 0,5 g ved temperaturer på 22, 35 og 50°C . Enkeltpellettpressen består av en stålsylinder med en konsentrisk plassert komprimeringskanal på 8 mm i diameter. Et varmeapparat (450 W) var koblet til pelleteringsenheten med en tilhørende temperaturkontrolleringsenhet. En stang av hardmetall ble brukt for kompresjon. En kompresjonskraft ble tilført stangen ved bruk av en Instron 5800R 100 kN teksturanalysator (U.K.). Pelleteringsenheten ble utviklet ved Norges miljø og biovitenskapelige universitetet (Ås, Norge). Detaljerte beskrivelser av pelleteringsenheten og virkemåte har blitt gitt tidligere av Salas-Bringas et al. (2010a). Tablettene ble produsert med en kompresjonshastighet på 10 mm/min ved ulike trykk mellom 4 MPa og 338 MPa. Etter komprimeringen ble tablettene plassert i romtemperatur over natten slik at alle tablettene hadde samme utgangspunkt for videre prosessering.

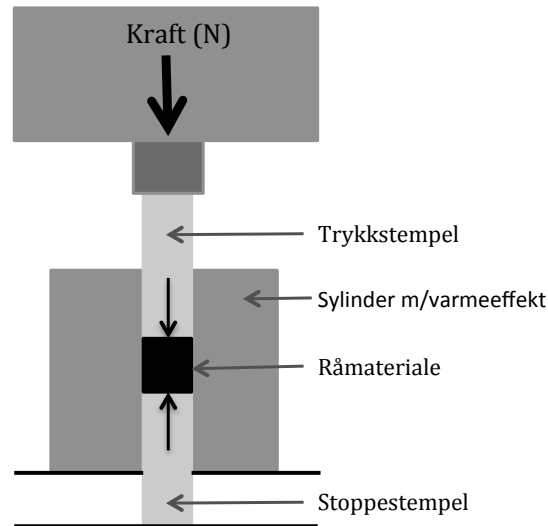


Fig. 3.2. Skisse av en enkeltpellettpresse med råmateriale (pulver).

Dagen etter komprimering ble tablettene dehydrert i en varmluftsovn (Termaks, Norge) ved 40°C i 90 minutter og avkjølt 60 minutter ved romtemperatur for å redusere vanninnhold og vannaktivitet. Tablettene ble lagt i små plastposer mellom alle analysene som ble gjennomført.

3.2 Forsøk 2a: Effekt av kompresjonstrykk og –temperatur

Effekt av komprimeringstrykk og –temperatur på fysiske egenskaper til tabletter etter tørking og avkjøling ble studert, da det var ønskelig å finne et hensiktsmessig komprimeringsområde å produsere tabletter på i forsøk 2b. Vanninnholdet var på totalt 9,6% i dette forsøket (konstant). Det ble produsert tabletter ved tre ulike temperaturer (22, 35 og 50°C) og ti ulike kompresjonstrykk (4, 20, 35, 70, 105, 139, 195, 250, 295 og 338 MPa), og responsvariablene var vanninnhold, vannaktivitet, massetetthet og strekkfasthet. Det ble valgt romtemperatur som lavest kompresjonstemperatur da dette vil påvirke næringsstoffenes kvalitet i minst grad. 50°C ble valgt som høyeste temperatur da det var ønskelig å unngå mest mulig tap av næringsverdi, spesielt lysin og labile vitaminer.

3.2.1 Fysiske analyser av tablettene

Vanninnhold og vannaktivitet

Det totale vanninnholdet av ingrediensene, bulk og tabletter ble bestemt ved tørking av prøvene over natt i en varmluftsovn (Termaks, Norge) ved 105°C (EN 14774-1). Vekttapet av prøvene ble målt gravimetrisk ved bruk av en vekt. Vannaktivitet ble målt av bulk og tabletter etter tørking og avkjøling ved bruk av en Rotronic Hygrolab C1 digital vannaktivitetsmåler (Sveits). Målinger av vanninnhold og vannaktivitet i Forsøk 2a ble utført med ett gjentak.

Massetetthet

Massetettheten ble bestemt av bulk og tablettene før spenningsanalysene ved

$$\rho = \frac{m}{V}$$

der ρ er tettheten (kg/m³), m er massen (kg) og V er volumet (m³). Tettheten av de ulike bulkmiksene ble bestemt ved å måle vekt (g) samt volum (ml), og tettheten til tablettene ble bestemt like etter avkjøling ved å måle vekt (g) samt diameter og lengde (mm). Målinger av massetettheten i forsøk 2a ble utført med to gjentak.

Spenningsanalyse

Bruddet etter diametral kompresjon (Fig. 3.3.) indikerte sprøbrudd forårsaket av strekkspenninger i materialet. Dermed var det mulig å kalkulere strekkfasthet (Sinka et al. 2007) basert på likningen for sylindriske gjenstander gitt ved:

$$\sigma \approx \frac{F}{\pi r L}$$

hvor F er det første toppunktet for kraft i Newton under en diametral kompresjon (normalkraft), L er tablettens lengde og r er tablettens radius. I noen tabletter ble det observert mer enn ett krakk. Strekkfastheten til tablettene ble målt 12 timer etter tørking og avkjøling ved diametral komprimering av en Lloyd LR5K Plus teksturanalysator (Lloyd Instruments, U.K.), anvendt på samme vis som Salas-Bringas et al. (2010b). Lengde og diameter av hver tablett ble målt med en digital kaliper før tablettene ble plassert diametralt (liggende) mellom to plater slik som vist i Fig. 3.3. Komprimeringshastigheten ble satt til 1 mm/min, og maksimum normalkraft ved brudd i tablettene ble registrert.

Spenningsanalysen i forsøk 2a ble utført med ett gjentak.

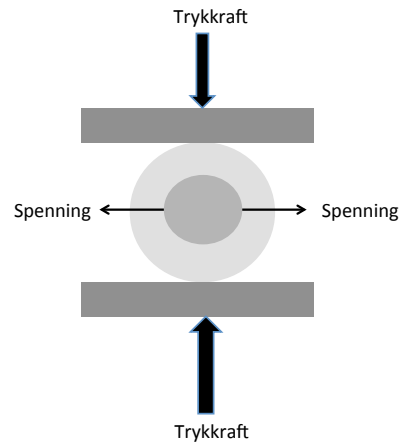


Fig. 3.3. Diametral kompresjon; en tablett ligger mellom to plater og komprimeres ved konstant forskyvningshastighet (1 mm/min); brudd forårsakes på grunn av strekkspenning inni tablett, trekkraftvolumet V_T ; denne vises som et mørkere område i sentrum av tablett (Aarseth & Prestløyken 2003).

3.3 Forsøk 2b: Effekt av vanninnhold i resepten og kompresjonstemperatur

Effekt av total vanninnhold i resepten (6,2%, 9,6% og 12,6%) og kompresjonstemperatur (22, 35 og 50°C), som var forklarende variabler i forsøk 2b (Tabell 3.1), ble studert på fysiske egenskaper til tabletter etter tørking og avkjøling. Kompresjonstemperaturene var de samme som i forsøk 2a.

Tabell 3.1. Forsøksparametere i forsøk 2b; total vanninnhold i resept (6,2%, 9,6%, 12,6%) og kompresjonstemperatur (22°C, 35°C, 50°C).

Vanninnhold resept (%)	Kompresjonstemperatur (°C)	Tablettnavn	Forkortet tablettnavn
6,2	22	Lavest vanninnhold - Lavest temperatur	LV-LT
	35	Lavest vanninnhold - Middels temperatur	LV-MT
	50	Lavest vanninnhold - Høyest temperatur	LV-HT
9,6	22	Middels vanninnhold - Lavest temperatur	MV-LT
	35	Middels vanninnhold - Middels temperatur	MV-MT
	50	Middels vanninnhold - Høyest temperatur	MV-HT
12,6	22	Høyest vanninnhold - Lavest temperatur	HV-LT
	35	Høyest vanninnhold - Middels temperatur	HV-MT
	50	Høyest vanninnhold - Høyest temperatur	HV-HT

3.3.1 Fysiske analyser av tablettene

Måling av det totale vanninnholdet, vannaktiviteten, strekkfastheten og massetettheten ble utført som beskrevet i forsøk 2a (kapittel 3.2), men der resultatene for forsøk 2b er rapportert som gjennomsnittsverdier av triplikater med standardavvik.

Vannløselighet

Måling av tablettenes vannløselighet ble utført på samme vis som av Salas-Bringas et al. (2010c). 10 dager etter komprimering ble hver tablett i 100 ml destillert vann i romtemperatur i 20 minutter i beholderne vist i Fig. 3.4. Beholderne som tablettene ble lagt i hadde en åpen bunn og topp, med et glassmikrofiberfilter med en porestørrelse på 47 μm i diameter veid på forhånd var plassert i bunnen. Beholderen og filteret var koblet til et rørsystem der vakuum ble påført av en pumpe.



Fig. 3.4. Utstyrsoppsett for måling av tablettenes vannløselighet.

En drenering ble utført etter testen på 20 minutter. Etter drenering av vannet fra beholderne ble filterene plassert i små metallbeholdere som var veid på forhånd, og tørket i en varmluftsovn ved 105°C over natt. Mengde materiale (vektbasert) igjen på filteret ble kalkulert. Resultatene er rapportert som gjennomsnittsverdier av triplikater med standardavvik.

Energitetthet

Energitettheten av tablettene ble målt ved bruk av bombekalorimetri (Parr 1341, Plain Oxygen Bomb Calorimeter, Parr Instrument Co., Moline, IL) som måler temperaturendringer generert av tablettene etter forbrenning. For å måle dette ble prøven plassert i en eksplosjonssikker beholder, kalt bomben. Bomben ble påført et konstant trykk

på 20 atmosfære og prøven inni bomben var i kontakt med en ledningstråd (Parr 45C10 nikkelkrom). Kalorimeteret ble så nedsenket i 200 ml destillert vann i en beholder med isolerte vegger, hvor vannet absorberer varmeenergien fra forbrenningen. En rører i vannet ble aktivert for å jevne ut vanntemperaturen, og temperaturen ble notert etter hvert minutt. Etter 4-5 minutter ble en antennesreaksjon på prøven initiert.

Temperaturdifferansen ble så målt før og etter reaksjonen. Ettersom volumet er konstant, måler et bombekalorimeter varmeenergien som utvikles under konstant volum, q_v ;

$$q_v = dE = C \cdot dT,$$

hvor q_v som måles er endringen i indre energi, dE , dT er temperaturøkningen og C er varmekapasiteten til kalorimeteret; varmeenergien som kreves for å øke temperaturen av hele kalorimeteret med 1 K. Energimålingene ble målt i kcal per gram tørrstoff.

Energitettheten i det ferdige produktet inkludert vann ble kalkulert ved å trekke fra det gjennomsnittlige vanninnholdet som ble målt for ulike tabletter etter tørking. Energitetthet er oppgitt i kcal per gram tørrstoff. Energitalpet (%) ble også kalkulert for tablettene produsert ved de ulike produksjonsforholdene. Resultater er rapportert som gjennomsnittsverdier av triplikater med standardavvik.

3.4 Statistiske analyser

Variansanalyser ble utført for å undersøke om det var signifikante forskjeller mellom tabletter produsert ved ulike komprimeringsforhold. Variansanalysen forutsetter at observasjonene i hver gruppe eller prøve er uavhengige av hverandre og normalfordelte (Løvås 1999). Alle variansanalysene ble utført ved bruk av den statistiske programvaren Minitab (Minitab Inc, USA).

I forsøk 2a ble det brukt toveis variansanalyse (General linear modell, GLM) med kompresjonstemperatur og -trykk som forklarende variabler, der massetetthet (2 gjentak), strekkfasthet (1 gjentak), vanninnhold (1 gjentak) og vannaktivitet (1 gjentak) til tabletter var responsvariabler.

I forsøk 2b ble det brukt toveis variansanalyse (GLM) der forklarende variabler var vanninnhold i resept og kompresjonstemperatur. Responsvariablene var tablettenes vanninnhold, vannaktivitet, massetetthet, strekkfasthet, energitetthet og vannløselighet,

hver med 3 gjentak. Tukeys metode ble brukt for å skille mellom ulike gruppeforskjeller. Det ble testet for samspillseffekter mellom vanninnholdet i resepten og kompresjonstemperatur på responsvariablene. Kun hovedeffekter ble studert i oppgaven og interaksjonseffekter ble forklart av feilledet. Enveis variansanalyse ble brukt for å undersøke om gjennomsnittene av ulike kategoriske uavhengige variabler var forskjellige for en forklarende variabel.

Alle analyser ble testet på 5%-nivå og enkeltobservasjoner med høye residualverdier og/eller observasjoner som ikke ga vitenskapelig mening (uteliggere) ble fjernet fra datasettet (Vedlegg 14).

4 RESULTATER

4.1 Forsøk 1: Reseptutvikling og fremstilling av nødhjelpsmat

En resept for nødhjelpsmaten ble utviklet med ingredienser og tilhørende næringsinnhold, vanninnhold og energiinnhold gitt av de energigivende næringsstoffene (Tabell 4.1).

Tabell 4.1. Ingredienser og næringsinnhold i resepten per 100 g produkt, samt kalkulert andel energi (%) gitt av karbohydrater, proteiner og fett. Resepten gjelder for uten vanntilsetning.

Ingrediens	Masse (g)	Energi (kcal)	Tørrstoff (g)	Vann (g)	Karbohydrat (g)	Protein (g)	Fett (g)	Kostfiber (g)	Mikronæringsstoffer (mg)
Griljermel	70,0	287,0	66,1	3,9	46,9	9,1	6,7	2,1	411,0
Kokosolje, raffinert	11,0	99,0	11,0				11,0		0,1
Melis	10,0	40,0	10,0		10,0				
Maltekstrakt	4,0	13,0	3,2	0,8	2,9	0,2			0,9
Erteproteinisolat	2,0	7,0	1,8	0,2	0,1	1,6			
Soyaproteinisolat	2,0	7,0	1,9	0,1	0,1	1,7			0,6
Vitaminer og mineraler	1,0		1,0						973,8
Totalt per 100 g	100,0	453,0	94,9	5,1*	59,9	12,7	17,7	2,1	412,6
Energiandel (%)					52,9	11,2	35,1		

* Totalt vanninnhold varierte vanninnholdet varierte mellom 6,2%, 9,6% og 12,6% for tre ulike resepter.

Resepten bestod av 94,9% tørrstoff med et totalt energiinnhold på 453 kcal per 100 g, der karbohydrater ga omtrent 53% energi, proteiner 11% og fett 35%. Ulike vanntilsetninger i resepten, totalt vanninnhold, vannaktivitet, massetetthet og forventet energitetthet i de ulike reseptene før komprimering er presentert i Tabell 4.2.

Tabell 4.2. Vanntilsetning, totalt vanninnhold, vannaktivitet, massetetthet og kalkulert energitetthet i ulike resepter (bulk).

Resept	Tilsatt vann (%)	Totalt vann (%)	Vannaktivitet (a_w)	Massetetthet (kg/m^3)	Kalkulert energitetthet* (kcal/g bulk)
LV	1,1	6,2	0,487	579	4,48
MV	4,5	9,6	0,622	576	4,32
HV	7,5	12,6	0,711	572	4,19

* Kalkulert energitetthet basert på energiinnhold oppgitt på varedeklarasjonene til ingrediensene.

Vannaktiviteten i bulk steg med økende vanninnhold i resepten. Massetettheten av bulk var omtrent den samme for alle tre resepter. Den kalkulerte energitettheten som var forventet i bulk, kalkulert fra innholdsdeklarasjonen til ingrediensene, økte med reduserende vanninnhold i reseptene.

Partikkelstørrelsesfordelingen av en blanding av tørre ingredienser (griljermel, melis, proteinisolater, vitaminer og mineraler) er presentert i Fig. 4.1. Størrelsesklassene varierte fra omtrent 16 μm til 976 μm . 10% av volumet av pulverpartiklene var 63,1 μm eller mindre, 50% var 243 μm eller mindre og 90% var 523 μm eller mindre.

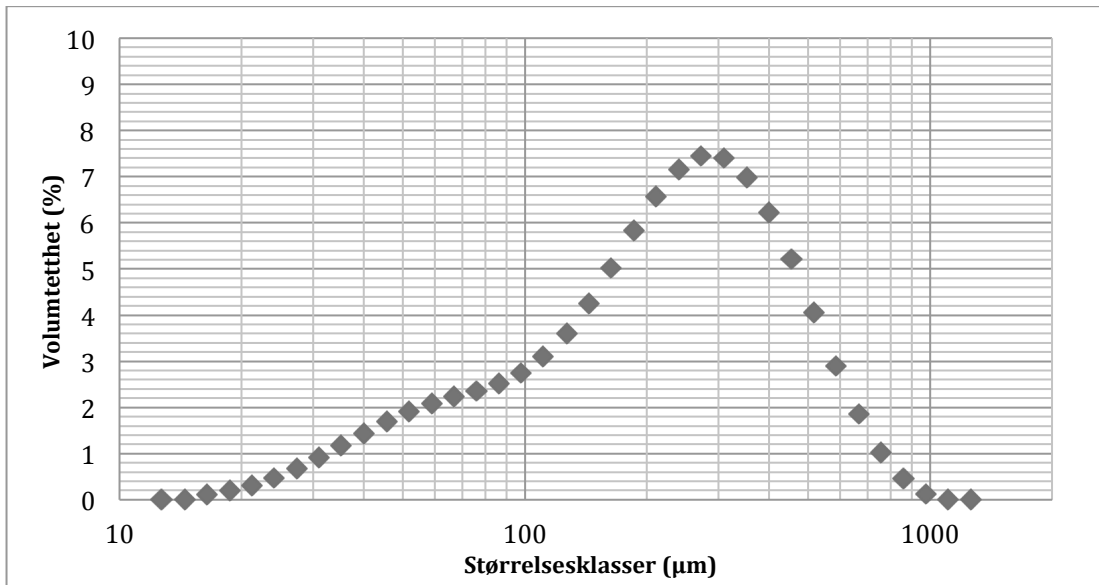


Fig. 4.1. Partikkelstørrelsesfordeling (sekvensfordeling) av tørre ingredienser bestemt av laserdiffraksjon, med volumtetthet for ulike størrelsesklasser i pulverblandingen. $n = 20$, der hvert punkt representerer gjennomsnittet av 20 prøver.

Ferdigproduserte tabletter er presentert i Fig. 4.2. Lengden på tablettene som ble produsert varierte fra 8,3 til 11,9 mm.



Fig. 4.2. Nødhjelpsmat i tablettform (diameter ca. 8 mm, lengde ca. 10 mm) produsert ved bruk av en enkeltpellettpresse.

4.2 Forsøk 2a: Effekt av kompresjonstrykk og –temperatur

Totalt vanninnhold og vannaktivitet av tabletter etter tørking

Det totale vanninnholdet i tablettene varierte fra 4,7 til 6,5%, og vannaktiviteten varierte fra 0,24 til 0,31 (Fig. 4.3). Kompresjonstemperaturen hadde en signifikant effekt ($p < 0,05$) på tablettenes vanninnhold, mens komprimeringsstrykket ikke hadde en signifikant effekt på tablettenes vanninnhold eller vannaktivitet ($p > 0,05$). Vanninnholdet og vannaktiviteten var høyest for HT-tabletter og lavest i LT-tabletter.

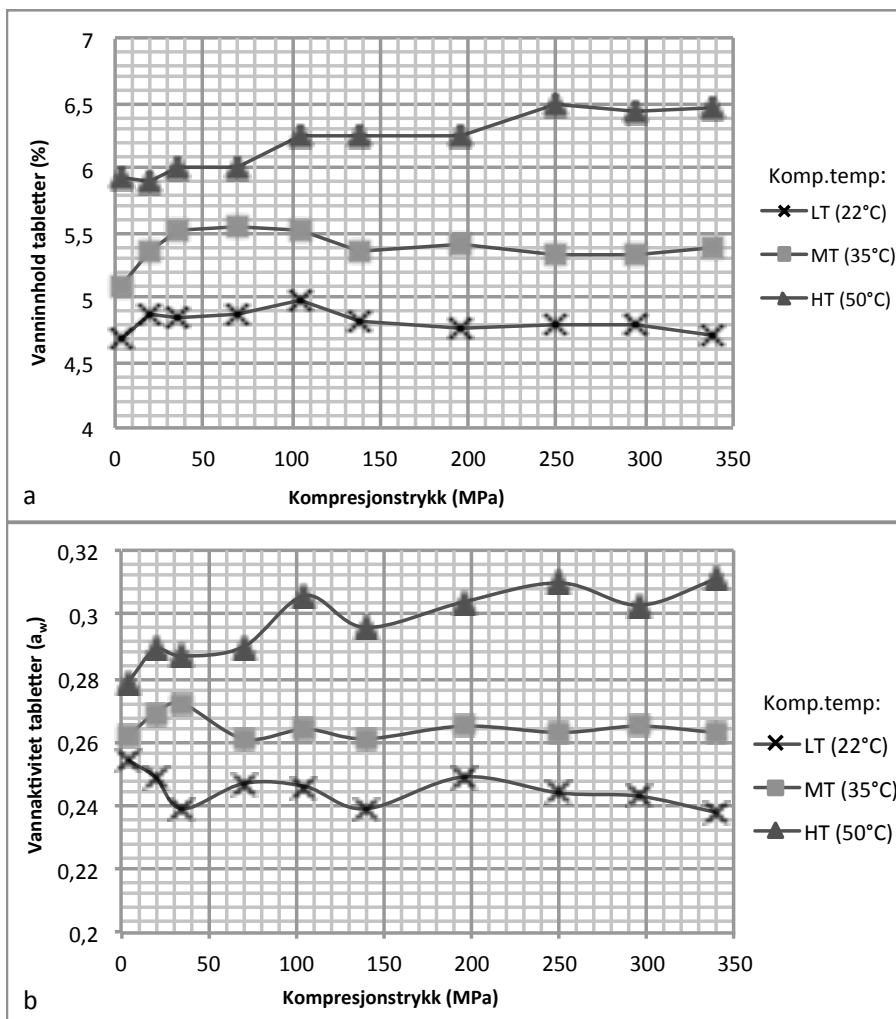


Fig. 4.3. a) Vanninnhold og b) vannaktivitet av tabletter etter tørking, komprimert ved ulike trykk og temperaturer. $n = 1$, der n er antall tabletter ved hvert komprimeringsforhold.

Massetetthet av tabletter

Massetettheten varierte fra 886 til 1225 kg/m³ (Fig. 4.4). Kompresjonstrykket (4-338 MPa) og kompresjonstemperaturen hadde begge en signifikant effekt ($p < 0,05$) på massetettheten. Massetettheten økte med økende kompresjonstemperatur.

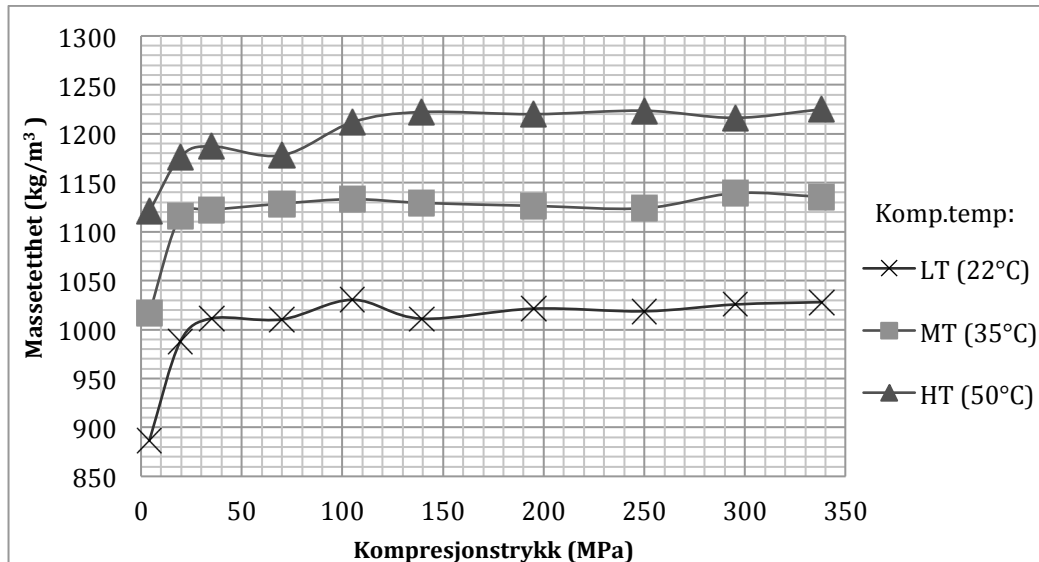


Fig. 4.4. Massetetthet av komprimerte tabletter produsert ved ulike temperaturer og trykk. $n = 2$, der n er antall tabletter ved hvert komprimeringsforhold.

Tettheten til tablettene økte med økende kompresjonstrykk fra 4 til 20 MPa, der den største økningen kan observeres fra 4 til 20 MPa. Kompresjonstrykk >105 MPa hadde ikke en signifikant effekt ($p > 0,05$) på massetettheten.

Spenningsanalyse av tabletter

Under spenningsanalysen ble det observert at tablettene ble delt i to fragmenter (Fig. 4.5), og på grunn av sprøbrudd var det mulig å beregne strekkfastheten til tablettene.

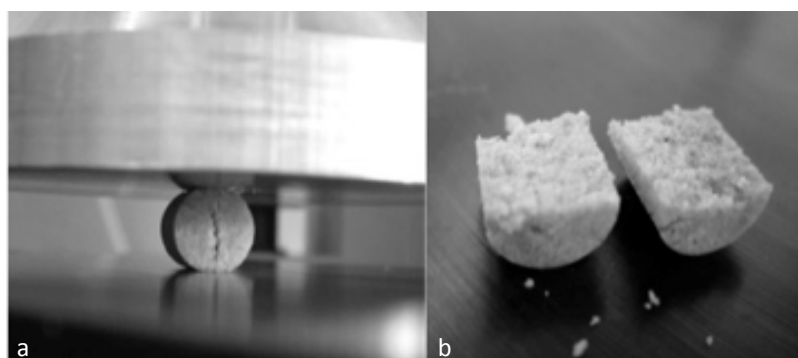


Fig. 4.5. Tablettenes brudd a) under og b) etter diametral kompresjon.

Strekfastheten varierte fra 46 kPa til 2159 kPa (Fig. 4.6). Kompresjonstemperaturen og – trykk fra 4 til 338 MPa hadde begge signifikant effekt ($p < 0,05$) på strekkfastheten til tablettene. Strekkfastheten økte med økende kompresjonstemperatur.

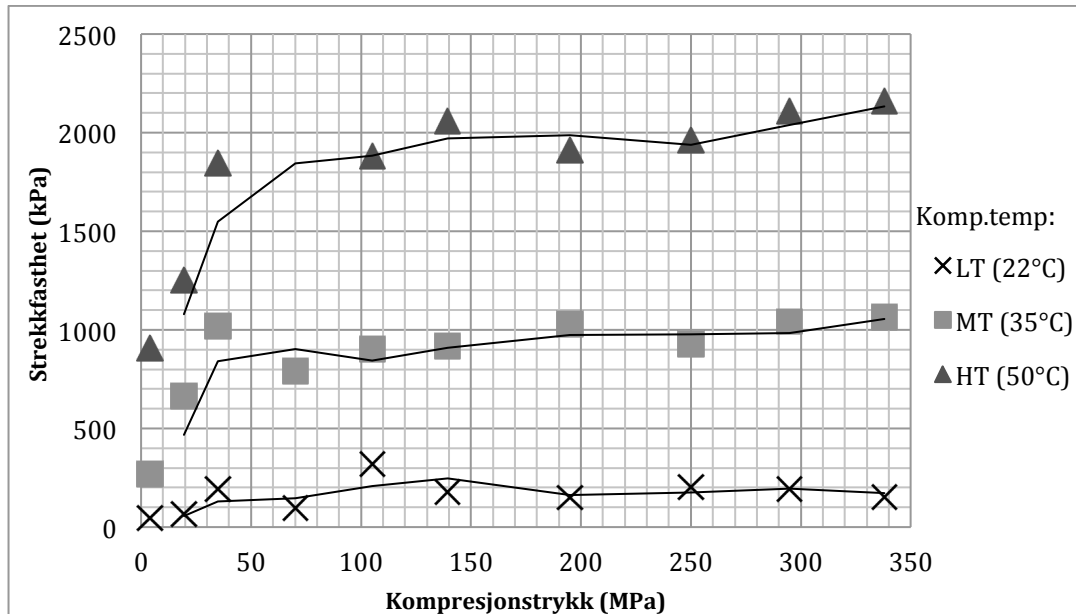


Fig. 4.6. Strekkfasthet til tabletter produsert ved ulike temperaturer og kompresjonstrykk. $n = 1$, der n er antall tabletter testet ved hvert komprimeringsforhold.

Den største økningen for strekkfastheten til tablettene var mellom 4 og 35 MPa. Det var ikke en signifikant effekt ($p > 0,05$) av kompresjonstrykket mellom 105 og 338 MPa.

4.3 Forsøk 2b: Effekt av vanninnhold i resept og kompresjonstemperatur

Toveis variansanalyse viste at det var signifikante samspillseffekter ($p < 0,05$) mellom vanninnholdet i resepten og kompresjonstemperatur på alle responsvariablene, bortsett fra for energitetthet. Kun hovedeffekter ble studert.

Totalt vanninnhold og vannaktivitet av tabletter etter tørking

Vanninnholdet i tablettene etter tørkeprosessen varierte fra 4,13 til 6,05%, og vannaktiviteten varierte fra 0,16 til 0,31 (Fig. 4.7). Både vanninnholdet i resepten og kompresjonstemperaturen hadde signifikant effekt ($p < 0,05$) på tablettenes vanninnhold og vannaktivitet etter tørking. Vanninnholdet i tablettene økte lineært med kompresjonstemperaturen ($R^2 = 0,96-0,99$) og for vannaktiviteten for LV- og MV-tabletter

($R^2 = 0,96-0,98$), og ikke-lineært for HV-tabletter ($R^2 = 0,65$). MV-tabletter hadde størst økning av vannaktiviteten ved stigende kompresjonstemperatur.

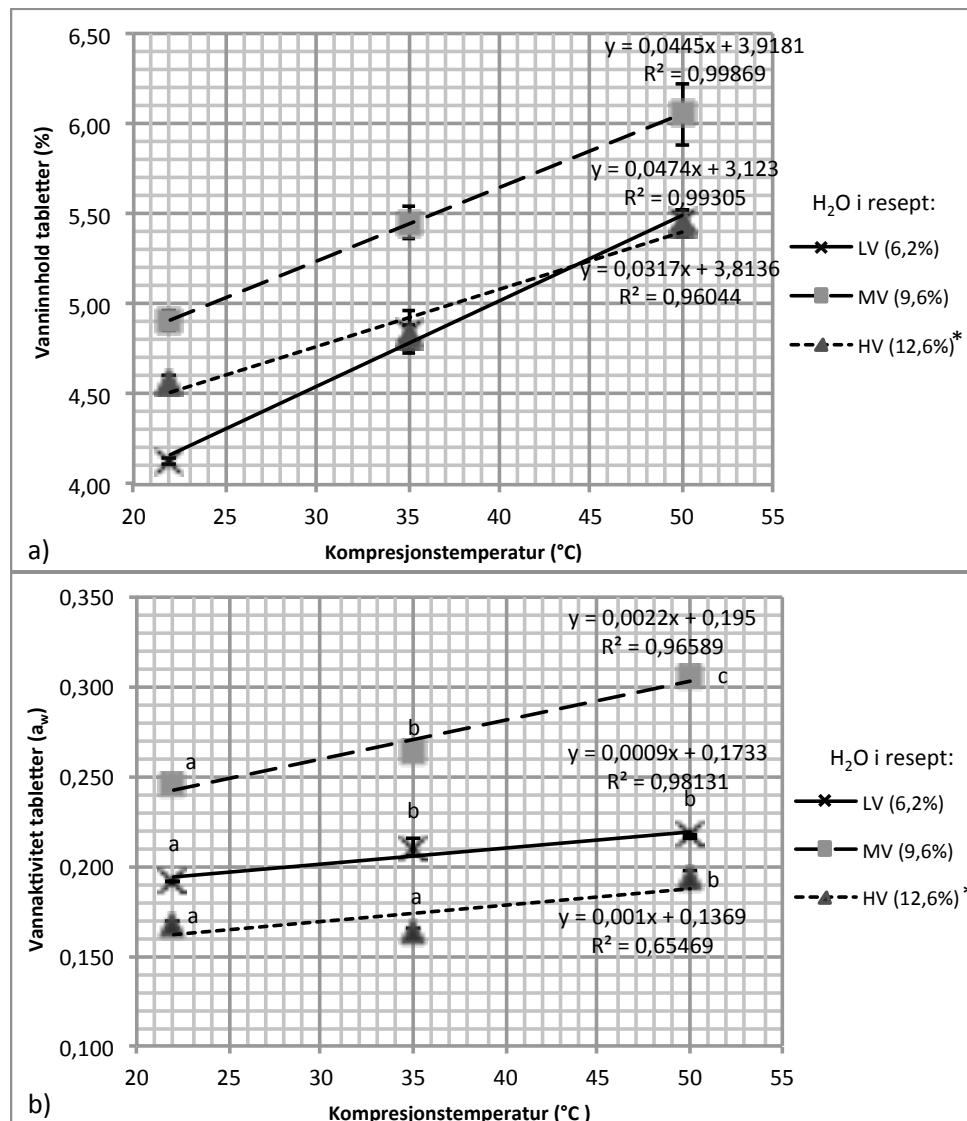


Fig. 4.7. a) Vanninnhold og b) vannaktivitet av tabletter etter tørking, komprimert med ulike vanninnhold i resepten og kompresjonstemperaturer. Enveis variansanalyse mhp. vanninnhold i resepten er inkludert i b), der $a < b < c$. $n = 3$, der n er antall tabletter ved hvert komprimeringsforhold. *Mest olje i HV-resepten: En kalkulert overdosering av oljetilsetning viste at HV-resepten inneholdt høyest andel olje.

Basert på gjennomsnittlige verdier for vanninnholdet i tablettene var MV-tablettene signifikant forskjellige ($p < 0,05$) fra LV- og HV-tablettene som var signifikant like ($p > 0,05$), der $MV > LV = HV$. Det var også en signifikant forskjell ($p > 0,05$) mellom de tre ulike LT-tablettene, der $LV < HV < MV$. Basert på gjennomsnittlige verdier for vannaktiviteten til tablettene var LV-, MV- og HV-tablettene signifikant forskjellige ($p < 0,05$), der $MV > LV > HV$.

Massetetthet av tabletter

Massetettheten av tabletter varierte fra 906 kg/m³ til 1212 kg/m³ (Fig. 4.8), og økte lineært med kompresjonstemperatur ($R^2 = 0,96-0,98$). Massetettheten til LT-tabletter økte med reduserende vanninnhold i resepten ($R^2 = 0,98$). Både vanninnholdet i resepten og kompresjonstemperaturen hadde signifikant effekt på massetettheten til tablettene ($p < 0,05$).

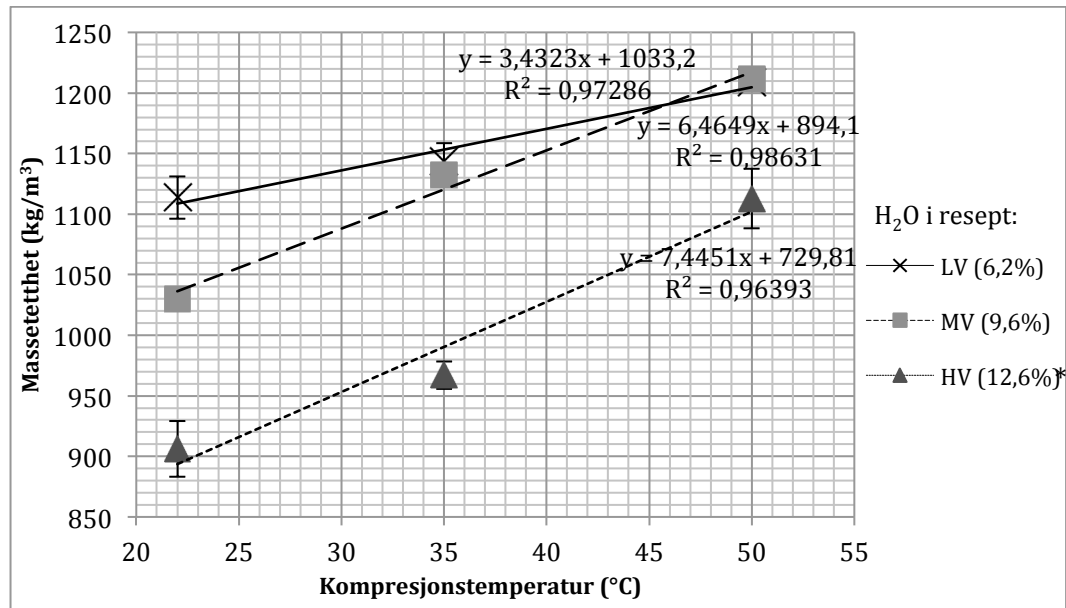


Fig. 4.8. Massetetthet av tabletter komprimert med ulike vanninnhold i resepten og kompresjonstemperaturer. $n = 3$, der n er antall tabletter ved hvert komprimeringsforhold. *Mest olje i HV-resepten: En kalkulert overdosering av oljetilsetning viste at HV-resepten inneholdt høyest andel olje.

Alle LT-tabletter var signifikant forskjellige ($p < 0,05$), mens LV- og MV-tabletter produsert ved 35°C og 50°C var signifikant like ($p > 0,05$). Basert på gjennomsnittlige verdier for tablettene massetettheten var HV-tablettene signifikant forskjellige ($p < 0,05$) fra LV- og MV-tablettene som var signifikant like ($p > 0,05$), der $HV < LV = MV$. LV-tabletter viste en lavere påvirkning av kompresjonstemperaturen enn MV- og HV-tabletter.

Spenningsanalyse av tabletter

Strekfastheten til tablettene varierte fra 49 til 1857 MPa (Fig. 4.9), og økte lineært med økende kompresjonstemperatur ($R^2 = 0,94-0,99$). LT-tabletter hadde dermed lavest strekkfasthet, og HT-tabletter høyest strekkfasthet. Både vanninnholdet i resepten og kompresjonstemperaturen hadde signifikant effekt ($p < 0,05$) på strekkfasthet.

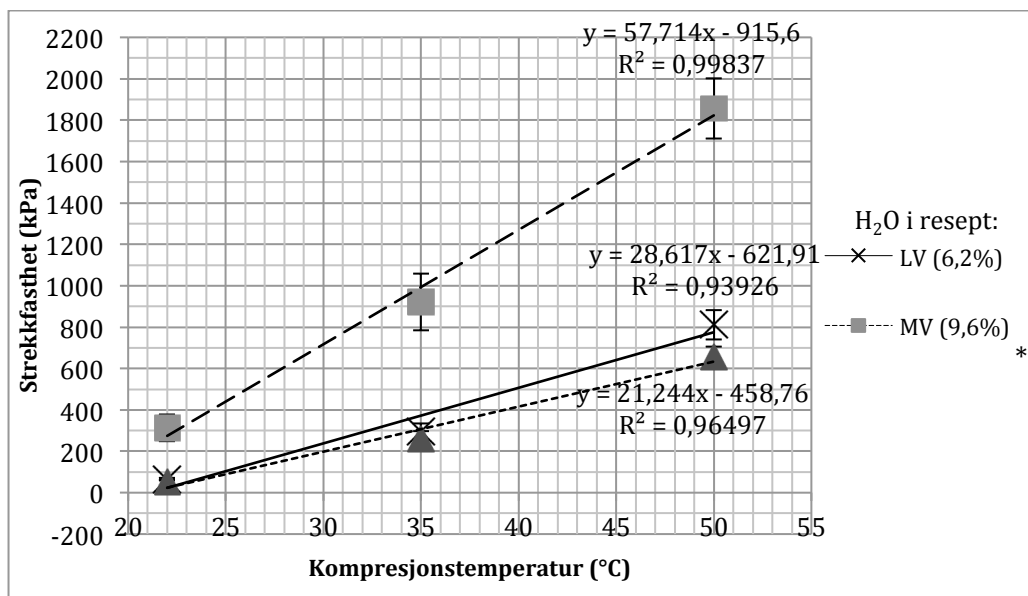


Fig. 4.9. Strekkfastheten til tabletter komprimert med ulike vanninnhold i resepten og kompresjonstemperaturer. $n = 3$, der n er antall tabletter ved hvert komprimeringsforhold.

*Mest olje i HV-resepten: En kalkulert overdosering av oljetilsetning viste at HV-resepten inneholdt høyest andel olje.

MV-tabletter hadde størst økning av strekkfasthet ved økende kompresjonstemperatur. Basert på gjennomsnittlige verdier for tablettenes strekkfasthet var MV-tablettene signifikant forskjellige ($p < 0,05$) fra LV- og HV-tablettene som var signifikant like ($p > 0,05$), der $MV > LV = HV$.

Vannløselighet av tabletter

Mengde oppløst materiale varierte fra 14% til 32% (Fig. 4.10). Det var en ikke-lineær sammenheng mellom mengde oppløst materiale og forsøksparameterne. Både vanninnholdet i resepten og kompresjonstemperaturen hadde en signifikant effekt ($p < 0,05$) på løseligheten til tablettene.

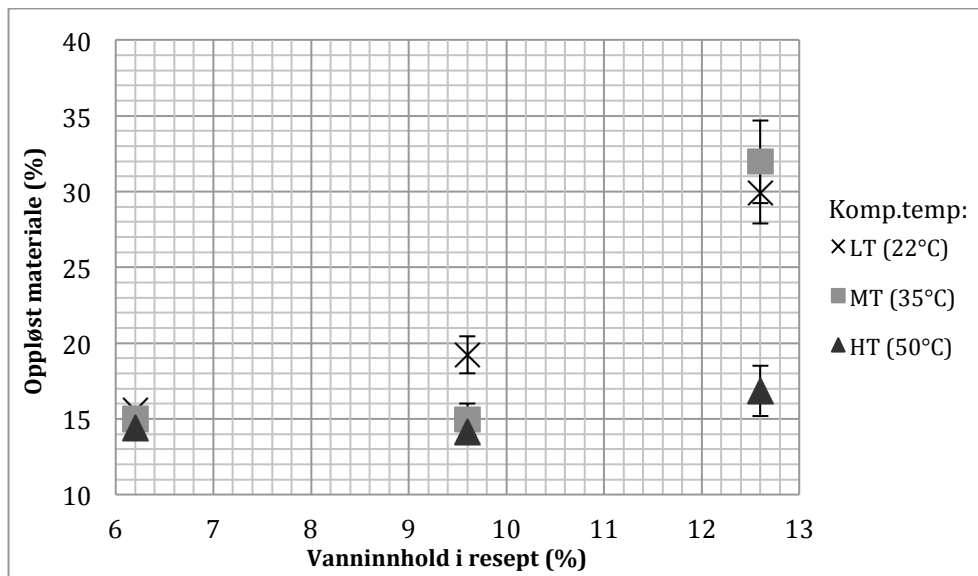


Fig. 4.10. Oppløst materiale under ulike produksjonsforhold. $n = 3$, der n er antall tabletter ved hvert komprimeringsforhold.

Basert på gjennomsnittlige verdier for oppløst materiale er HV-tablettene signifikant forskjellige ($p < 0,05$) fra LV- og MV-tablettene som er signifikant like ($p > 0,05$), der $HV > LV = MV$. I tillegg er HT-tablettene signifikant forskjellig ($p < 0,05$) fra LT- og MT-tablettene som er signifikant like ($p > 0,05$), der $HT < LT$ og MT .

Energitetthet av tabletter og energitap under kompresjon

Energitettheten varierte fra 4,1 – 4,6 kcal/g avhengig av produksjonsbetingelser (Fig. 4.11). Både vanninnholdet i resepten og kompresjonstemperaturen hadde en signifikant effekt ($p < 0,05$) på energitettheten til tablettene. Det var ingen signifikant forskjell mellom noen av LT- eller HT-tablettene, mens for MT-tablettene var det en signifikant forskjell mellom LV- og MV-tabletter, mens HV-tablettene var signifikant lik både LV- og MV-tablettene. Basert på gjennomsnittlige verdier for energitettheten til tablettene var MV-tablettene signifikant forskjellige ($p < 0,05$) fra LV- og HV-tablettene som var signifikant like ($p > 0,05$), der $MV < LV = HV$. Det var ikke signifikante forskjeller ($p > 0,05$) mellom LT-tabletter.

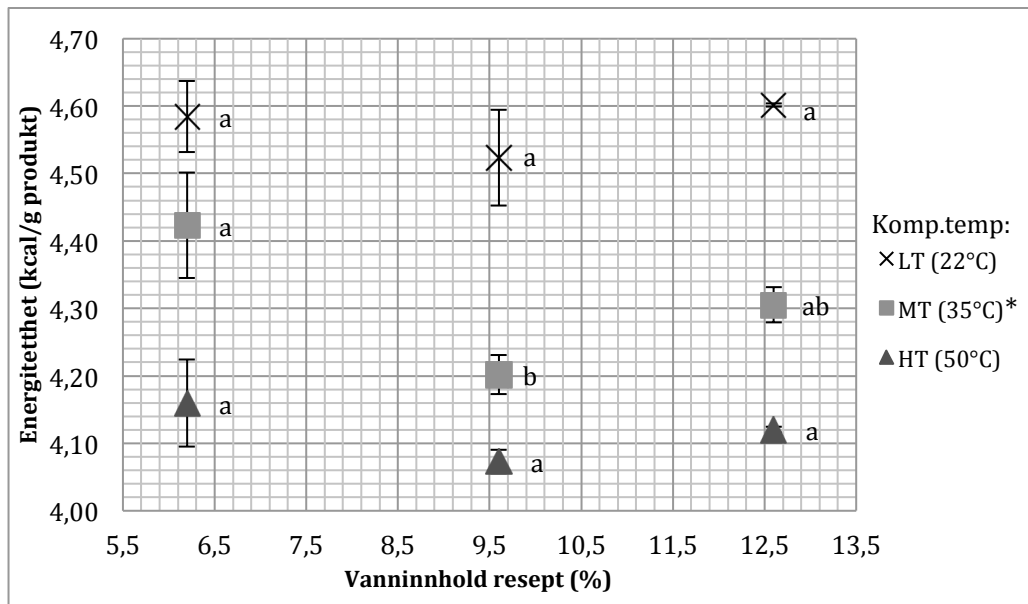


Fig. 4.11. Energitetthet til tabletter komprimert med ulike vanninnhold i resepten og kompresjonstemperaturer. Enveis variansanalyse mhp. kompresjonstemperatur er inkludert i figuren (a > b). $n = 3$, der n er antall tabletter ved hvert komprimeringsforhold. *Høyest vanninnhold ble målt i MT-tabletter etter tørking.

Basert på målingene for energitetthet av de ulike tablettene ble massen av én dagsporsjon nødhjelpsmat à 2100 kcal kalkulert dersom energitettheten er 4,5 kcal/g produkt:

$$\frac{2100 \text{ kcal}}{4,5 \text{ kcal/g}} = 466 \text{ g}$$

Dette gir at: $466 \text{ g} = 1 \text{ enhet} = 9 \text{ barer} = 18 \text{ tabletter}$

Det ble observert oljelekkasje under komprimeringen ved temperaturer >22°C. Det kalkulerte energitapet varierte fra omtrent 0% for LT-tabletter til 9,8-11,6% for HT-tabletter (Fig. 4.12). Både kompresjonstemperaturen og vanninnholdet i resepten hadde signifikant effekt på energitapet ($p < 0,05$), og energitapet økte lineært med økende kompresjonstemperatur ($R^2 = 0,94-0,98$). Det var også en signifikant forskjell ($p > 0,05$) mellom de ulike reseptene, der energitapet for LV-tablettene var lavest; $LV < MV = HV$.

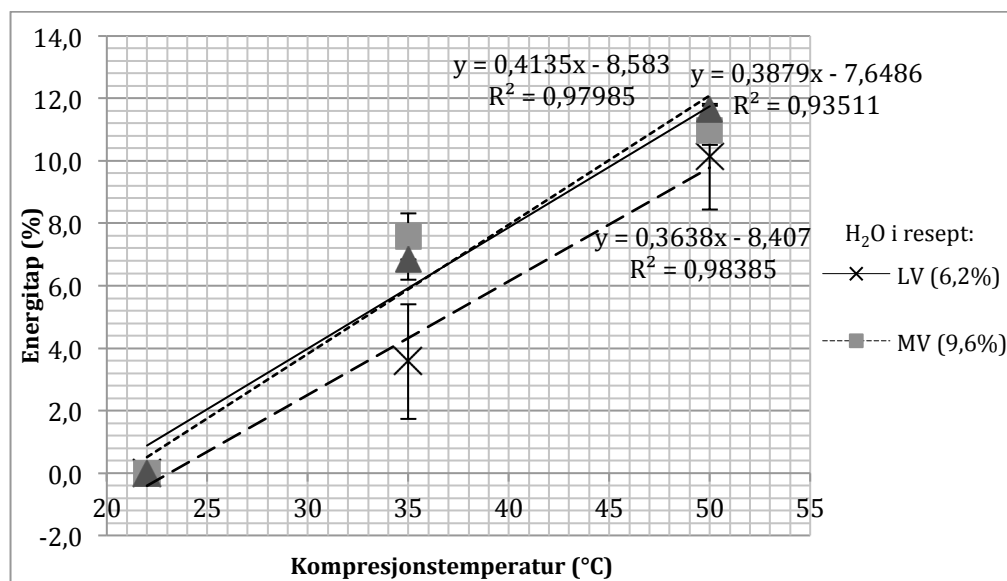


Fig. 4.12. Energitap for tabletter produsert med ulike vanninnhold i resepten og kompresjonstemperaturer. $n = 3$, der n er antall tabletter ved hvert komprimeringsforhold.

En kalkulert energitetthet av de ulike bulkreseptene (LV, MV og HV) sammenlignes med energitettheten for tabletter produsert ved romtemperatur, og ble brukt til å kalkulere økningen i energitetthet og dermed overdoseringen av kokosolje i bulk (Tabell 4.3).

Tabell 4.3. Kalkulerte verdier for energitetthet i bulkresepter samt kalkulert overdosering av kokosolje og totalt fettinnhold i ulike bulkresepter basert på energitettheten av LT-tabletter.

Målinger og kalkyler	LV-resept	MV-resept	HV-resept
Kalkulert energitetthet i bulk (kcal/g)*	4,48	4,32	4,19
Energitetthet av LT-tabletter (kcal/g)	4,58	4,52	4,60
Kalkulert økning i energitetthet (%)**	2,2	4,5	9,8
Kalkulert tilsatt kokosolje i bulk (%)***	11,2	11,5	12,1
Kalkulert totalt fettinnhold i bulk (%)****	17,9	18,2	18,8

*Kalkulert energitetthet i bulk ut i fra varedeklarasjonene til ingrediensene.

**Den økte estimert energitettheten i alle tabletter ble antatt å skyldes på grunn av overdosert oljetilsetting, og er basert på den kalkulerte energitettheten.

*** Kalkulert fra estimert økning i energitetthet fra bulk til LT-tabletter.

**** Totalt fettinnhold = fett% griljermel + kalkulert tilsatt kokosolje.

En økning av estimert energitetthet for LT-tabletter varierte fra 2,2 til 9,8%, , der det var en størst økning for HV-tabletter. Energitettheten i HV- og LV-tabletter produsert ved romtemperatur var omtrent likt; henholdsvis 4,58 og 4,60 kcal/g. Det estimerte totale fettinnholdet i LV-, MV-, og HV-reseptene var dermed henholdsvis 11,2%, 11,4% og 12,1% i stedet for den målte mengden på 11%.

Sammenlikning av LT-tabletter

Resultater og kalkuleringer for tabletter produsert ved romtemperatur med ulike vanninnhold i resepten (LV, MV og HV) er sammenlignet (Tabell 4.4) da det var ~0% oljelekkasje under kompresjonen ved romtemperatur.

Tabell 4.4. Resultater og kalkuleringer av LV-, MV- og HV-resepter for bulk og tabletter komprimert ved romtemperatur (LT).

Målinger og kalkyler	LV-resept	MV-resept	HV-resept
Bulk			
Vanninnhold (%)	6,2	9,6	12,6
Vannaktivitet (a_w)	0,487	0,622	0,711
Kalkulert totalt fettinnhold* (%)	17,9	18,2	18,8
Massetetthet (kg/m^3)	572	576	579
LT-tabletter			
Vanninnhold (%)	4,1	4,9	4,6
Vannaktivitet (a_w)	0,191	0,246	0,168
Energitetthet LT-tabl (kcal/g)	4,58	4,52	4,60
Økning av massetetthet fra bulk (%)	92,4	78,8	57,3
Strekfasthet (kPa)	65	313	49
Vannløselighet (%)	15	19	30

* Totalt fettinnhold = fett% griljermel + kalkulert tilsatt kokosolje. Kalkulert fra en estimert økning i energitetthet fra bulk til LT-tabletter.

Resultatene og kalkylene i Tabell 4.4 viser blant annet at LT-tablettene har omtrent lik energitetthet (signifikant like), at LV-resepten gir størst økning i massetetthet, HV-resepten lavest økning i massetetthet, og at strekkfastheten er desidert høyest for tabletter produsert fra MV-resepten. Det er en ikke-lineær sammenheng mellom de ulike LT-tablettenes strekkfasthet ved økende vanninnhold i resepten, da strekkfastheten høyest for MV-resepten. Det er likevel en økende massetetthet av tabletter med reduserende vanninnhold i resepten. I tillegg har HV-tabletter produsert ved romtemperatur en høyest vannløselighet.

5 DISKUSJON

5.1 Reseptutvikling og fremstilling av nødhjelpsmat

Eksakte verdier for karbohydrater, proteiner og fett i resepten ble ikke målt, men kalkulert fra innholdsdeklarasjonen for de ulike råvarene. Verdiene stemmer dermed ikke nøyaktig med den totale mengden tørrstoff som ble kalkulert ut i fra det målt totalt vanninnhold av de ulike ingrediensene. For LT-tabletter var andel energi fra fett og proteiner i resepten innenfor spesifikasjonene gitt av (IOM 2002), dersom de kalkulerte verdiene for energiinnhold er de faktiske verdiene. For tabletter komprimert ved høyere temperaturer ble det tapt fra omtrent 3,5 til 11% energi under komprimeringen, og disse verdiene ligger dermed utenfor spesifikasjonene. Det ble forsøkt å holde verdiene av de essensielle mikronæringsstoffene innenfor anbefalingene gitt for nødhjelpsmatprodukter, men på grunn av forholdet mellom mikronæringsstoffene i premiksen ble ikke dette fullstendig oppfylt. Mengde mikronæringsstoffer som ble tilsatt var veldig liten (1%), og det antas at analysene gjennomført i dette forsøket ikke ble påvirket eller ville hatt store utslag av et annerledes forhold mellom mikronæringsstoffene.

Effekt av prosessering på næringsstoffenes kvalitet tas særlig i betraktning ved produksjon av nødhjelpsmat, da innhold av antinæringsstoffer helst skal unngås. Av anbefalinger gitt av IOM (2002) ble det anbefalt å mikroinnkapsle spesifikke vitaminer, mineraler samt umettede fettsyrer for å bevare næringsverdien og unngå degradering av næringsstoffer. Dette ble ikke oppfylt i dette forsøket, men burde i alle fall implementeres dersom det skal tilsettes umettede fettsyrer. Kostnader ved bruk av mikroinnkapsling og umettede fettsyrer bør også tas i betraktning. Da nødhjelpsmaten kun skal konsumeres over maksimum 15 dager vil det ikke forårsake kritiske helseeffekter ved inntak av kun mettede fettsyrer (IOM 2002). Det oppstår ikke oksidasjon av kokosfettet under prosesseringen da den inneholder >90% mettede fettsyrer og fordi høyere temperaturer (>200°C) må til for å forårsake en eventuell oksidering (Gunstone 2002). Rapsoljen i griljermelet vil være ønskelig å skifte ut med en mer mett fettsyre for å unngå oksidasjon. Ifølge Labuza (1970) er minimum fettoksidasjon ved a_w -verdier mellom 0,20 og 0,40 i mange matvarer, men dette vil også være avhengig av andre faktorer slik som oksygen og temperatur. Ved a_w -verdier mellom 0,3 og 0,6 er reaksjonene minimert. Med hensyn på vannaktiviteten kan

det optimale a_w -området ligge i dette sjiktet. Tablettenes vannaktivitet varierte fra 0,16 til 0,3, slik at det vil ikke være gunstig å tilsette fettsyrer som kan oksideres lett da fettoksidasjonen kan akselerere i dette a_w -området (Nelson K. A. & P. 1992; Nelson & Labuza 1992). Vakuumpakkingen antas å hemme denne reaksjonen en god del ved utelukkelse av oksygen, men produktet skal ifølge spesifikasjonene være holdbare i minst 2-3 år ved 21°C.

For stivelse er det motstridende resultater på om den fysiske kvaliteten av fôrpellets laget av preforklistret stivelse gir bedre eller dårligere kvalitet sammenlignet med fôr produsert fra nativ stivelse (Aarseth & Prestløkken 2003; *Animal Feed Pelleting* 2012).

Retrogradering av amylose, som er mer kritisk enn retrogradering av amylopektin, krever et vanninnhold på over 20% og er en prosess som vanligvis trenger flere dager på å utvikles, avhengig av temperatur (Svihus et al. 2005). Dermed antas ikke at retrogradering oppstår i nødhjelpsmat og heller ikke ved produksjon av griljermel ettersom kavringer tørkes ved en relativt lav temperatur i en kortere tidsperiode enn det retrogradering av amylose vil kreve.

Det ble observert en brun skorpe på kavringene som ble malt opp til griljermel. Dette bør en prøve å unngå under bakeprosessen, da disse Maillard-reaksjonene fører til at produktet vil ha en lavere næringsverdi enn hva som kreves i nødhjelpsmaten (Arnoldi 2002). Ifølge Thomas et al. (1998) foreligger det en konflikt mellom den fysiske og ernæringsmessige kvaliteten av fôrpellets; de forholdene som ofte skaper best fysisk kvalitet gir en redusert næringskvalitet. Dette mener de er på grunn av at ett av Maillard-reaksjonens produkt, melanoider (kombinasjon av fritt aldehyd og aminogrupeer), kan polymerisere, bli viskøs og fungere som fyllstoff – noe som er positivt for binding i tablettene. Men, ettersom Maillard-reaksjoner fører reduksjon av fordøyelighet er ikke dette ønskelig for nødhjelpsmat.

Resultatene fra partikkelstørrelsesfordelingen i pulveret (uten vann, olje eller maltekstrakt) viste at 10% av volumet av pulverpartiklene var 63,1 μm eller mindre, 50% var 243 μm eller mindre og 90% var 523 μm eller mindre. Små partikkelstørrelser vil hjelpe på tettpakkingen av partikler, og en bred partikkelstørrelsesfordeling kan også hjelpe på å øke massetettheten fordi en blanding av forskjellige partikkelstørrelser vil

danne interpartikulære bindinger med omtrent null rom imellom seg (Kaliyan & Vance Morey 2009). Da denne analysen ble foretatt uten væsketilsetninger, vil hydrofile partikler i pulvermiksen sannsynligvis få en større partikkelstørrelse etter vanntilsetning.

Resultatene viser uansett at det var en viss variasjon i partikkelstørrelser i pulvermiksen, og dette vil være gunstig for massetettheten og strekkfastheten til tabletter.

Ved tilsetning av væsker under mikseprosessen, spesielt olje, var det et visst doseringsavvik. Som ventet ble det observert adhesjon som følge av oljetilsetningen og det vil si at det var vanskelig å tilsette eksakte mengder av olje i resepten. Det var ønskelig at det skulle være omtrent like store doseringsavvik ved tilsetning av olje i de ulike reseptene, men ut i fra kalkulasjonene for tilsatt kokosolje¹ var det variasjoner som kan ha påvirket resultatene. Det vil dermed være ønskelig å oppnå en høyere doseringsnøyaktighet i fremtidig arbeid ved forbedring av tilsetningsmetoden. Det ble tilsatt relativt lite olje i utgangspunktet (44 g per 400 g batch), slik at noen få gram over ønskelig tilsatt mengde dermed kan gi store utslag på kvaliteten til tablettene. Ved storskalaproduksjon vil det derimot bli et lavere avvik på grunn av større mengder per batch som produseres.

Ved vakuumpakking etter miksing ble det oppnådd en liten prekomprimering på 0,1MPa. Det ble observert at pulveret var blitt noe sammenbundet etter vakuumpakkingen. Under vakuumpakkingen er det antakeligvis vann i de store kapillærene, og det dannes sannsynligvis vannbroer mellom partikler som får klebende krefter. Det er under tørking, når vannbroene krymper grunnet redusert fuktnivå, at den totale bindingskraften vil reduseres på grunn av et færre antall vannbroer. Kraft per binding vil øke da vann i de store kapillærene fordampes først, og det resterende vannet etablerer bindinger mellom mindre partikler (Thomas & van der Poel 1996). Vannbroene blir dermed mer stabile under tørking, slik at det antas at selve trykket ved vakuumpakking ikke hadde en signifikant betydning for fysiske kvaliteter til de ferdigproduserte tablettene. Det ville likevel vært optimalt å komprimere pulveret samme dag som miksing, da noe binding oppsto i vakuumpakkingen.

¹ Tilsatt olje ble kalkulert fra en kalkulert økning i energitetthet fra bulk til LT-tabletter.

5.2 Effekt av kompresjonstrykk

Resultatene viste at kompresjonstrykket hadde en signifikant effekt på tablettenes massetetthet og strekkfasthet <105 MPa, men ikke >105 MPa. Det var forventet at en økning i trykk skulle forårsake en økt partikkeltetthet i den kompakte massen som et resultat av deformasjon av partikler (Kaliyan & Vance Morey 2009; Mani et al. 2006). Dette kan observeres i kompressibilitetsplottet (Fig. 4.4) fra 4 til 105 MPa. Under kompresjonen blir pulvermassen påført et høyt trykk som fortsetter frem til tettheten når den ekte tettheten til materialet, når all plassen i komprimeringskammeret er fylt med materiale (Salas-Bringas et al. 2011). Dette kan observeres i kompressibilitetsplottet når tettheten kommer opp på et platå ved komprimeringstrykk på ~ 105 MPa. Det samme kan observeres for strekkfasthet. Ved et trykk over en viss spenning i materialet øker ikke lenger effekten av trykket da den maksimale tettheten mellom partikler er nådd. Komprimeringstrykket hadde ikke signifikante effekter på tablettenes vanninnhold eller vannaktivitet. Ettersom alle responsvariablene viste en konstant effekt av komprimeringstrykket fra 105 MPa til 338 MPa er det grunn til å påstå at disse tablettene er fysisk tilnærmet like, dog ulike mellom de forskjellige kompresjonstemperaturene. Effekt av kompresjonstemperatur på ulike fysiske egenskaper diskuteres nærmere under kap. 5.3.

5.3 Effekt av kompresjonstemperatur

Tablettenes vanninnhold, vannaktivitet (bortsett fra HV-tabletter), massetetthet og strekkfasthet økte lineært med økende kompresjonstemperatur ($R^2 = 0,94-0,99$), mens tablettenes energitetthet økte lineært med reduserende kompresjonstemperatur.

5.3.1 Energitetthet i tabletter

Energitettheten varierte fra 4,1 til 4,6 kcal/g og tilfredsstiller spesifikasjonene for nødhjelpsmaten som sier at energiinnhold per gram bør ligge på 4-5 kcal/gram (IOM 2002). Det ble observert oljelekkasje under komprimeringen av tabletter ved temperaturer $>22^\circ\text{C}$, der energitapet økte med økende kompresjonstemperatur. Energiinnholdet i de ulike reseptene ble dermed beregnet til å være tilnærmet likt energiinnholdet i de respektive tablettene produsert ved romtemperatur. For et mer nøyaktig resultat på energitapet, samt en bedre oversikt over reseptene, burde energiinnholdet av de ulike bulkmiक्सene også ha blitt målt. Når temperaturen ved kompresjonen av pulveret økte til

over 24,4°C, som er smeltetemperaturen til kokosoljen, blir fettsyrene flytende og mindre viskøse, noe som antakeligvis forårsaket oljelekkasjen over en viss temperatur. Her kan det også ha fulgt med fettløselige vitaminer. Ved ekstrudering brukes generelt et fettinnhold på <10%, men enkeltskrueekstrudere kan håndtere fettnivåer på 12-17% og dobbelskrueekstrudere kan håndtere fettinnhold på opptil 22% (Camire 2002). Det kan dermed være hensiktsmessig å anvende denne produksjonsmetoden når fettinnholdet må være såpass høyt som 17%, eventuelt holde kompresjonstemperaturen ved romtemperatur. Ved ekstrudering bør det forsikres at graden av forklistret stivelse er minst like høyt som ved baking, da forklistring av stivelse kan hemmes ved tilstedeværelsen av fettsyrer eller krever høyere forklistringstemperatur (Eliasson et al. 1981).

5.3.2 Vanninnhold og vannaktivitet av tabletter etter tørking

Som en effekt av tørking ble vanninnholdet og vannaktiviteten i tablettene redusert. Tørkeprosessen var tilstrekkelig til å få $a_w < 0,4$ for alle tabletter, noe som var kritisk for nødhjelpmaten for å oppnå en holdbarhet på 2 til 3 år (IOM 2002) – dersom ikke umettede fettsyrer tilstede. Prinsippet for tørking er at vann blir en begrensende faktor for forringelse og mikrobiell vekst i mat når det er redusert til tilstrekkelige lave nivåer. Det er likevel mulig at tablettene er hygroskopisk, slik at emballering like etter avkjøling vil sannsynligvis være nødvendig. Reduksjon av vanninnhold og vannaktivitet bør dermed etterfølges av en reduksjon av oksygen ved vakuumpakking som skaper en oksygenbarriere i tillegg til en barriere mot lys, fukt og kontaminering fra omgivelsene (IOM 2002).

Tablettenes vanninnhold og vannaktivitet økte med stigende kompresjonstemperatur. Dette var uventet da en økning kompresjonstemperatur i teorien skulle ha ført til fordampning av vann. Dette ble ikke målt i dette forsøket da vanninnholdet i tablettene kun ble målt etter tørking og avkjøling. Årsaken til resultatene kan ha skyldtes på grunn av at fettinnholdet i tablettene ble redusert ved økende kompresjonstemperatur, noe som dermed økte forholdet mellom vann og tørrstoff i tablettene, som kan ha ført til et høyere andel vanninnhold og dermed en høyere vannaktivitet.

MV-tablettene hadde høyest vanninnhold og vannaktivitet. En årsak til dette kan være at vannet i større grad var bundet i MV-tablettene og at vanntilsetningen på 9,6% er nærmere det optimale for bindingsmekanismer til hydrofile komponenter i råmaterialet.

Temperatur endrer vannaktiviteten på grunn av vannbinding, løselighet i vannløsninger eller tilstanden til matsystemet (Wrolstad et al. 2005), ettersom vannaktivitet er temperaturavhengig. Vannaktiviteten i noen produkter øker med økende temperatur, mens for andre produkter blir vannaktiviteten redusert. Da vannaktivitet er avhengig av temperatur og hvordan temperaturen påvirker faktorer som kontrollerer vannaktiviteten (Wrolstad et al. 2005), kan det være vanskelig å forutsi hvilken retning vannaktiviteten endres i med temperaturendringer.

5.3.3 Massetetthet og strekkfasthet av tabletter

Resultatene viste at massetettheten økte med økende kompresjonstemperatur. Dette kan ses i sammenheng med det økende oljetapet med økende kompresjonstemperatur, og tilsier at fettsyrene har en lavere massetetthet enn de andre komponentene i pulvermassen som vil oppta plassen til fettsyrene. Olje har for eksempel en lavere tetthet enn vann, som det vil bli en større andel av totalt i produktet ved økende kompresjonstemperatur (Fig. 4.7), og dette bidra til en økende massetetthet. LV-resepten ble minst påvirket av kompresjonstemperaturen da stigningstallet var betraktelig lavere for denne resepten sammenlignet med MV- og HV-resepten. Dette kan skyldes at LV-resepten hadde det laveste vanninnholdet og at resepten dermed blir mindre påvirket av temperatur; altså at dette kan skyldes en samspillseffekt mellom vanninnholdet i resepten og kompresjonstemperatur.

Når kompresjonstemperaturen øker vil viskositeten av råmaterialet synke. En reduksjon av viskositet og en økning i temperatur forårsaker sannsynligvis også at olje lettere kan migrere lettere ut av komprimeringskammeret, noe som ble observert. Når temperaturen reduseres igjen etter kompresjonen vil viskositeten til den komprimerte massen øke igjen, og strukturen i tablettene vil stabiliseres (Thomas et al. 1998). Dette tilsier at når temperaturen økes reduseres oljeinnholdet i massen, og partikler får i større grad kontakt med hverandre, noe som fører til høyere interpartikulære friksjoner og interaksjoner, da fettsyrene forårsaker en redusert interpartikulær friksjon og interaksjon grunnet smøremiddeleffekten (Thomas et al. 1998). En større grad av deformering av partikler kan

oppstå, både plastiske og sprøbrudd, som fører til mindre partikler med en større kontaktoverflate, som resulterer i en mer tettpakket struktur – spesielt etter tørking og avkjøling da strukturen stabiliseres.

Strekkfastheten varierte fra 49 til 1857 kPa, og tabletter fremstilt med ulike vanninnhold i resepten og med ulike kompresjonstemperaturer tålte forskjellige spenninger før brudd oppsto. Salas-Bringas et al. (2010c) målte strekkfasthet for kjernemelkepulverpellets og melkepulverpellets som varierte fra <50 kPa til omtrent 500 kPa. Strekkfastheten til tablettene økte med økende kompresjonstemperatur, slik som for massetetthet. Sett i sammenheng med at oljetapet også økte med økende kompresjonstemperatur vil effekten av temperatur på strekkfastheten være ventet, da det er kjent at olje har en negativ effekt på styrken til kompakte masser (Thomas et al. 1998). Det har blitt vist at fettsyrer påvirker bindingsegenskapene til stivelse og protein ved å hindre kontakt mellom de vannløselige komponentene på grunn av deres hydrofobe karakter (Kaliyan & Vance Morey 2009). Oljen fungerer som smøremiddel under komprimeringen og reduserer friksjonen mellom partikler, noe som hindrer i interaksjoner mellom partiklene. Det er dermed grunn til å anta at den økte strekkfastheten ved økende temperatur ble forårsaket av et redusert fettinnhold, noe som vil fremme interpartikulær friksjon og interaksjon i pulveret under komprimeringen. I tillegg øker vannmobiliteten når temperaturen økes på grunn av kapillær absorpsjon av partiklene. Som følge av dette kan en større andel klebende krefter mellom partikler, spesielt proteiner (Thomas & van der Poel 1996). Dette kan være en medvirkende årsak til den økte massetettheten og strekkfastheten ved økende kompresjonstemperatur.

5.4 Effekt av vanninnhold i resepten

Bortsett fra vanninnholdet var alle reseptene ment å være like. Strukturen til komponentene i de tre ulike reseptene var sannsynligvis noe forskjellige da en forventer mer vannabsorpsjon av karbohydrater og proteiner i HV-resepten, noe mindre i MV-resepten og minst absorpsjon i LV-resepten. Det kan være nyttig å kartlegge partikkelstørrelsesfordelingen mellom de tre ulike pulvermiksene for videre forskning.

5.4.1 Energitetthet i tabletter

Kalkulasjoner for tilsatt fettinnhold i de ulike reseptene, basert på energitettheten til LT-tabletter, viste at LV-resepten inneholdt 17,9% fett, MV-resepten 18,1% og HV-resepten 18,8%. I utgangspunktet var det ventet at LV-miksen skulle inneholde høyest fettandel og HV-resepten lavest fettandel da økt vanninnhold i teorien skulle gi en lavere andel fettinnhold. En økning av kalkulert energitetthet for tabletter produsert ved romtemperatur for LV-, MV- og HV-tabletter var henholdsvis 2,2%, 3,4% og 9,8%. Det største avviket er dermed energiinnholdet i HV-tablettene. Dette stemte ikke overens med den kalkulerte energitettheten for reseptene, da det var forventet at energitettheten i LT-tablettene skulle reduseres lineært med økende vanninnhold i resepten. Dette skyldes mest sannsynlig at tilsetningen av olje i HV-resepten ble høyere enn for LV- og HV-reseptene under mikseprosessen. Da det ble funnet at MV-tabletter hadde en gjennomsnittlig lavere energitetthet enn LV- og HV-tablettene er det en effekt av både tilsatt olje og vanninnholdet i de ferdigproduserte tablettene. Vanninnholdet var nemlig høyest for MV-tabletter etter tørking. Energitettheten i HV- og LV-tabletter produsert ved romtemperatur var omtrent likt; henholdsvis 4,58 og 4,60 kcal/g. Den største forskjellen mellom disse to reseptene var dermed vanninnholdet.

5.4.2 Vanninnhold og vannaktivitet av tabletter etter tørking

Resultatene viste at vanninnholdet var høyest i MV-tabletter og lavest i LV-tabletter etter tørking. Det var ventet at det høyeste vanninnholdet og vannaktiviteten skulle være i HV-tablettene og det laveste i LV-tablettene, ettersom det i utgangspunktet kun skulle være vanninnholdet som varierte mellom de tre reseptene. Den gjennomsnittlige energitettheten for MV-tabletter var lavest, noe som kan ha en sammenheng med at MV-tablettene hadde høyest vanninnhold – da vann ikke bidrar til å gi energi. Det ble også funnet at fettinnholdet i HV-resepten var høyere enn i de andre reseptene, og forholdet mellom vann og fett var dermed noe redusert i denne resepten.

Årsaken til at MV-tabletter hadde høyest vanninnhold og vannaktivitet kan komme av en høyere andel bundet vann i disse tablettene; et for høyt andel vann i en resept kan muligens svekke sterke interpartikulære bindinger og gi en negativ effekt på fysiske kvaliteter, da Li og Liu (2000) og Thek og Obernberger (2004) fant at det optimale vanninnholdet for å komprimere av tremasse var på rundt 8%, verdt over eller under

8% ga en lavere, men god kvalitet. Dette kan relateres til fôrpelletts og tablettene som ble produsert i dette forsøket, der poenget er at det finnes et optimalt vanninnhold i resepten for å oppnå en optimal fysisk kvalitet. Det er dermed en mulighet for at MV-resepten ble tilsatt en mer optimal mengde vann med henhold på fysiske egenskaper, og at en vanntilsetning på 9,6% befinner seg i en sone hvor bindingsmekanismer er optimale. Om det er én topp eller et større platå vil kanskje være av interesse å studere i fremtidig arbeid. I tillegg hadde MV-tablettene et noe lavere fettinnhold enn HV-tabletter, som var ventet å ha høyest andel vann etter tørking. Det er dermed mulig at mindre vann ble bundet i HV- og LV-tabletter, og at partikler dermed ikke oppnådde like sterke bindingskrefter som i MV-tabletter.

Resultatene for tablettens vanninnhold og vannaktivitet var ikke samspilte; LV-tablettene hadde lavest vanninnhold etter tørking, mens HV-tablettene hadde lavest vannaktivitet etter tørking. Dette kan skyldes at ved ulike vanninnhold oppstår ulike interaksjoner mellom vann og faste stoffer, slik at en økning av vanninnhold kan føre til en økning av vannaktivitet i et ikke-lineært forhold (Mathlouthi 2001). En annen årsak kan være at tablettene er meget hygroskopiske og dermed har endret sin sammensetning over tid. Tablettene ble pakket i små plastposer mellom analysene, men noen kan ha blitt mer eksponert for luft enn andre, og dermed absorbert noe fukt fra omgivelsene. En tredje mulig årsak kan være at HV-resepten inneholdt et høyere andel fettinnhold slik at denne resepten kanskje forstyrrer totalbildet noe. I tillegg inneholdt LV-resepten det laveste vanninnholdet og ble kanskje dermed påvirket i mindre grad av temperatur. For HV-tabletter var det ikke en lineær sammenheng mellom kompresjonstemperatur og vannaktivitet. Det kan være nødvendig med flere kategoriske variabler for kompresjonstemperaturer mellom 22 og 50°C for å avdekke om dette stemmer eller ikke.

5.4.3 Massetetthet og strekkfasthet av tabletter

Massetettheten varierte fra 906 til 1212 kg/m³. Porøsiteten ble redusert og tettheten økte for alle tabletter sammenlignet med bulk tettheten i de tre ulike reseptene. Dette sier noe om evnen til de ulike reseptene å gjøres kompakte i enkeltpellettpressen ved de ulike komprimeringsforholdene. Salas-Bringas et al. (2010c) målte massetetthet for kjernemelkepulverpellets og melkepulverpellets som varierte fra omtrent 1000 til 1175 kg/m³.

Massetettheten av tabletter produsert ved romtemperatur ($\sim 0\%$ oljelekkasje) økte lineært med reduserende vanninnhold i resepten, og disse var de eneste resultatene som viste en lineær effekt av vanninnholdet i resepten. Tettheten og strekkfastheten av komprimerte pulvere bestemmes hovedsakelig av interpartikulært kontaktområde og bindingsstyrken mellom individuelle partikler (Pai & Okos 2013). Ved tilsetning av minst vann i resepten var det forventet færrest hydrogenbindinger, færre interpartikulære interaksjoner samt en lavere interpartikulær friksjon under komprimering på grunn av en høyere andel fett i resepten. HV-resepten var derimot forventet å gi en motsatt effekt grunnet høyest vanntilsetning, og dermed vise høyest strekkfasthet; flere interpartikulære interaksjoner etter hydrering og påfølgende hydrogenbindinger, som fører til at strukturen stabiliseres (Lewicki 2004). Resultatene viste at dette ikke var tilfellet. Dette kan enten være på grunn av et for høyt vanninnhold i HV-resepten og/eller at det var en effekt av en overdosert oljetilsetning i HV-resepten. Interpartikulære bindinger var dermed muligens lavere i HV-tabletter på grunn av disse faktorene. Forholdet mellom vann og olje i MV-tablettene var derimot kalkulert til å være høyest på grunn av størst overdosering i HV-resepten. I MV-tabletter kan det dermed tenkes at det var en høyere interpartikulære interaksjoner og friksjon mellom partikler, noe som forårsaket mer deforming av partikler og flere små partikler med en større kontaktoverflate.

Under tørking dannes det kanskje en sterkere struktur av MV-tabletter, som følge av en økning av kraft per binding ved dehydrering (Thomas & van der Poel 1996), noe som også kan bidra til å forklare den høye strekkfastheten for MV-tabletteer. I tillegg kan det være at HV-resepten representerte tabletter med størst partikkelstørrelse, noe som kanskje kan bidra til å gi en lavere hardhet på grunn av et lavere interpartikulær kontaktområde (Aguilera & Lillford 2008). I LV-resepten kan det være at vanntilsetningen var for lav til å hydrere partikler med bindingsegenskaper tilstrekkelig. I dette tilfelle dannes det færre hydrogenbindinger med faste stoffer som kan forårsake en lavere styrke av tablettene. En resept med en mindre partikkelstørrelse gir i teorien en høyere strekkfasthet på grunn av sterkere kapillærkrefter, det vil si at bindinger mellom nabopartikler er sterkere med reduserende radius (Thomas & van der Poel 1996). Partiklenes bindingsmekanismer aktiveres likevel ved vanntilsetning.

Det er trolig at både vanninnholdet og fettinnholdet hadde en betydning for massetettheten, da HV-tabletter, med høyest fett- og vanninnhold, hadde lavest massetetthet. Dette kan vise til at faste stoff-partikler oppnår en høyere tetthet og en lavere porøsitet med reduserende vanninnhold i resepten, spesielt da LV-tabletter hadde høyest massetetthet når komprimert ved romtemperatur. En annen årsak til at HV-tabletter hadde lavest massetetthet kan komme av at en størst andel vann av disse tablettene ble fordampet under tørkeprosessen da de også viste lavest vannaktivitet. Dette fører til at tablettene var mer porøse sammenlignet med de andre tablettene. Ved tilsetning av 12,6% vann tyder det dermed på at bindingsstyrken med vann blir svekket, noe som påvirker massetettheten og strekkfastheten.

Massetettheten kan også måles etter en lagringsperiode på én uke til én måned for å bestemme dens dimensjonale stabilitet, assosiert med transporterings- og lagringskostnader (Adapa et al. 2010; Kaliyan & Vance Morey 2009). Adapa et al. (2010) rapporterte at en reduksjon i tetthet til pellets vanligvis kan forventes på grunn av spenningsrelaksasjon i pelletene etter kompresjon. En spenningsrelaksasjonen kan ha oppstått i tablettene etter komprimering. Spenningsrelaksasjonen til materialet etter kompresjon er avhengig av elastisitet, viskositet og bruddegenskaper til råmaterialet, og vil påvirke utvidelsen av tablettene (Thomas et al. 1998).

Fra spenningsanalysen, som er forbundet med egenskapene til de indre delene av tablettene, viste tablettene sprøbrudd, noe som var forventet da både karbohydrater og proteiner er hydrofile og har en tendens til å danne amorfe, ikke-krystallinske strukturer ved lavt vanninnhold (Aguilera & Lillford 2008). Resultatene viste at strekkfastheten var høyest for MV-tabletter og lavest for LV- og HV-tabletter. Dette viser til at bindingsegenskapene sannsynligvis påvirkes av både fett- og vanninnholdet; HV-tabletter med høyest fettinnhold viste lavest strekkfasthet. MV-resepten inneholdt et høyere vanninnhold enn LV-resepten, men omtrent en like stor andel fett dersom de kalkulerte fettinnholdene er de faktiske fettinnholdene. Dermed kan det tenkes at det var vanninnholdet i reseptene som utgjorde forskjellen på strekkfastheten. Det har tidligere blitt vist at deformasjonsegenskaper av ingredienser kan påvirkes av vanninnhold, selv små forskjeller på 1,8% vanninnhold (Thomas et al. 1998). Dermed kan en økt mengde vann i resepten på 3,4% ha en stor effekt på fysiske egenskaper som strekkfasthet.

Som et resultat var det altså en sterkere struktur i MV-tablettene. De faste, løselige stoffene i pulvermassen som i hovedsak kan danne bindinger og påvirke kompressibiliteten og strekkfastheten, inkluderer stivelse, proteiner og sukkere. Maltekstrakten fungerer som bindemiddel og påvirker hardheten positivt ettersom en stor del av sukkeret allerede er oppløst (Aguilera & Lillford 2008). Antakeligvis var det flere interpartikulære bindinger og/eller sterkere bindingskreftene i MV-tablettene. Selv om det ikke kan ses bort i fra at MV-tabletter inneholdt en lavere andel olje enn HV-tabletter, kan det likevel tenkes at MV-resepten inneholdt et nærmere optimalt vanninnhold med henhold på bindingsmekanismer og strekkfasthet, ettersom strekkfastheten var såpass mye høyere for MV-tabletter. Gjennomsnittlig maksimal bitestyrke for menn har blitt rapportert til å være 490 N og for kvinner 418 N, men reduseres med alder for voksne (Jianshe Chen & Engelen 2012). Kraften som måtte til for å knuse tablettene var lavere enn de gjennomsnittlig bitestyrke; 5-233 N.

5.5 Vannløselighet av tabletter

Det var ønskelig å undersøke tablettenes evne til å løse seg i romtemperert vann ettersom det bør kunne lages en grøt av tablettene sammen med vann. Testen ble gjennomført uten mekanisk påkjenning av løsningen, slik at denne analysen kan anvendes til å vurdere hvilke tabletter som løses lettest i vann. Det kan være av fremtidig interesse å undersøke løselighet ved bruk av mekanisk påvirkning for å bedre kunne relatere resultatene til formålet med løselighet av tablettene. Det er også mulig at mange partikler ble oppløst uten å bli beregnet med i kalkuleringen av oppløst materiale, da løselige partikler kan ha vært større enn porene til glassmikrofiberfilter som oppløste partikler kunne dreneres igjennom. Løseligheten varierte fra omtrent 15 til 30%, og var best for tabletter komprimert ved lav kompresjonstemperatur (22 og 35°C) og et høyt vanninnhold i resepten (12,6%). Dette kan ha en sammenheng med massetettheten til tablettene, da det var disse tablettene, altså HVL- og HVMT-tablettene, som hadde den laveste massetettheten. Det kan dermed tenkes disse tablettene var mest porøse og at vann dermed trengte lettere igjennom og hydrerte partikler i tablettene. Det ble også observert en lavere vannløselighet for HV-tabletter komprimert ved 50°C sammenlignet med HV-tabletter komprimert ved 22 og 35°C. Sannsynligvis var dette fordi tablettene komprimert ved 50°C hadde sterkere bindinger – noe som kan observeres av resultatene for massetetthet og strekkfasthet. Dermed var disse tablettene mer kompakte og mindre porøse enn tabletter komprimert

ved lavere temperaturer. Det kunne også tenkes at en høyere andel olje i tablettene ville ha forårsaket en mindre oppløsning da tablettene ville ha vært mer hydrofobe, men dette ble ikke observert. Av råmaterialesammensetningen var det dermed vanninnholdet i resepten som hadde størst effekt på løseligheten. En lavere løselighet for LV- og MV-tabletter kan skyldes at massetettheten for disse tablettene var høyere og porøsiteten dermed lavere når de sammenlignes med HV-tabletter.

5.6 Sammenlikning av tabletter komprimert ved romtemperatur

Ettersom det ble observert oljelekkasje under kompresjon ved 35 og 50°C, var det nyttig å sammenligne resultater for tabletter produsert ved romtemperatur med de ulike vanninnholdene i reseptene (LV, MV og HV). Hovedmålene med nødhjelpsmaten er å oppnå en høy energi- og massetetthet. Energitettheten for de ulike LV-tablettene var signifikant like. Her påvirket overdoseringen av olje sannsynligvis resultatene noe, da det var ventet at LV-resepten skulle ha høyest energitetthet, i alle fall i bulk. Med henhold på massetetthet vil LV-resepten være mest gunstig å produsere dersom kalkylene som ble utført omtrent er de faktiske verdiene. Dette kommer av at LV-resepten hadde en størst økning av massetetthet fra bulk til ferdigproduserte tabletter. I tillegg forbrukes det minst vann ved produksjon av LV-resepten. LV-tabletter produsert ved romtemperatur viste seg derimot å ha en lav strekkfasthet sammenlignet med MV-tabletter. Som tidligere nevnt ble pulvermiksene vakuumpakket etter miksing og før komprimering til tabletter, noe som kan ha hatt en effekt på fysiske egenskaper.

6 KONKLUSJON

- Det ble utviklet nødhjelpsmat som tabletter med høy energi- og næringstetthet basert på komprimering ved bruk av en enkeltpelletpresse.
- Basert på målinger for energitetthet ble det kalkulert at oljetilsetningen under fremstillingen av pulvermiksene var noe overdosert i alle resepter, og den kalkulerte variasjonen av oljetilsetningen i reseptene kan ha påvirket andre resultater.
- Kompresjonstrykket (4-338 MPa) hadde ikke en signifikant effekt på tablettenes vanninnhold eller vannaktivitet, og kompresjonstrykk >105 MPa viste ikke en signifikant effekt på massetetthet eller strekkfasthet.
- En økning i kompresjonstemperatur førte til en lineær økning av tablettenes vanninnhold, vannaktivitet (bortsett fra én resept), massetetthet og strekkfasthet.
- Det ble observert oljelekkasje ved temperaturer på 35 og 50°C, og energitettheten til tablettene ble dermed redusert med økende temperatur.
- Massetettheten for tabletter komprimert ved romtemperatur økte lineært med reduserende vanninnhold i resepten.
- En økning av massetetthet fra bulk til komprimerte tabletter økte med reduserende vanninnhold i resepten
- Strekkfastheten var høyest for tabletter komprimert med 9,6% vanninnhold i resepten ved de ulike temperaturene, mens strekkfastheten var signifikant like for tabletter komprimert med 6,2 og 12,6% vanninnhold i resepten.
- Vannløseligheten var størst for tabletter produsert med høyest vanninnhold i resepten (12,6%) og ved lavere kompresjonstemperaturer (22 og 35°C).

I oppgaven ble det fokusert mest på fysiske egenskaper, men undertegnede er klar over at sensoriske egenskaper også vil være avgjørende for råvaresammensetningen i nødhjelpsmaten.

7 REFERANSELISTE

- Aarseth, K. A. & Prestløyken, E. (2003). Mechanical Properties of Feed Pellets: Weibull Analysis. *Biosystems Engineering*, 84 (3): 349-361.
- Adapa, P. K., Tabil, L. G. & Schoenau, G. J. (2010). Pelleting Characteristics of Selected Biomass with and without Steam Explosion Pretreatment. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 3 (3): 62-79.
- Aguilera, J. M. & Lillford, P. J. (red.). (2008). *Food Materials Science; Principles and Practice*: Springer.
- Animal Feed Pelleting*. (2012). California Pellet Mill Co.
- Arnoldi, A. (2002). Thermal processing and nutritional quality. I: Henry, C. J. K. & Chapman, C. (red.) *The nutrition handbook for food processors*, s. 265-286. England: Woodhead Publishing Ltd.
- Austin, L. G. & Trass, O. (1997). Size Reduction of Solids Crushing and Grinding Equipment. I: Fayed, M. E. & Otten, L. (red.) *Handbook of Powder Science and Technology*, s. 586-631. NY: International Thomson Publishing.
- Berry, C. S. (1986). Resistant starch: Formation and measurement of starch that survives exhaustive digestion with amylolytic enzymes during the determination of dietary fibre. *Journal of Cereal Science*, 4 (4): 301-314.
- Bertolini, A. C. (red.). (2010). *Starches: Characterization, Properties, and Applications*: Taylor & Francis Group, CRC Press. 290 s.
- Bhatnagar, A. S., Gopala Krishna, A. G., Hemavathy, J. & Prasanth Kumar, P. K. (2009). Fatty Acid Composition, Oxidative Stability, and Radical Scavenging Activity of Vegetable Oil Blends with Coconut Oil [electronic resource]. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 86 (10): 991-999.
- Brennan, J. G. (2006a). Evaporation and Dehydration. I: Brennan, J. G. (red.) *Food Processing Handbook*, s. 71-121. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
- Brennan, J. G. (red.). (2006b). *Food Processing Handbook*. Weinheim, Germany: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
- Busignies, V., Mazel, V., Diarra, H. & Tchoreloff, P. (2012). Prediction of the compressibility of complex mixtures of pharmaceutical powders. *International Journal of Pharmaceutics*, 436 (1-2): 862-868.
- C. J. K. Henry & Chapman, C. (red.). (2002). *Nutrition Handbook for Food Processors*. England: Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC.
- Camire, M. E. (2002). Extrusion cooking. I: Henry, C. J. K. & Chapman, C. (red.) *The nutrition handbook for food processors*, s. 314-326. England: Woodhead Publishing Ltd.
- Capes, C. E. (1980). *Handbook of powder technology, vol. 1: Particle Size Enlargement*. Amsterdam - New York: Elsevier Scientific Publishing Company. 192 s.
- Cauvain, S. P. & Young, L. S. (2006). *Baked Products: Science, Technology and Practice*. UK: Blackwell Publishing.
- Comoglu, T. (2007). An Overview of Compaction Equations. *Journal of Faculty of Pharmacy, Ankara*, 36 (2): 123-133.
- Dobraszczyk, B. J., Ainsworth, P., Ibanoglu, S. & Bouchon, P. (2006). Baking, Extrusion and Frying. I: Brennan, J. G. (red.) *Food Processing Handbook*, s. 237-290. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
- Eliasson, A. C., Larsson, K. & Y., M. (1981). On the possibility of modifying on gelatinization properties of starch by lipid surface coating. *Starch*, 33 (7): 231-235.

- GC Rieber BP-5-product description. GC Rieber Compact AS. Tilgjengelig fra: http://gcrieber-compact.com/page/2613/Emergency_food (lest 10.01.2014).
- Gregory, J. F. I. (1996). Vitamins. I: Fennema, O. R. (red.) *Food Chemistry*, s. 545–559. New York: CRC Press.
- Gunstone, F. D. (red.). (2002). *Vegetable Oils in Food Technology: Composition, Properties and Uses*. USA og Canada: Blackwell Publishing.
- Gustavo V. Barbosa-Cánovas, Anthony J. Fontana, J., Shelly J. Schmidt & Labuza, T. P. (red.). (2007). *Water Activity in Foods: Fundamentals and Applications*: IFT Press, Blackwell Publishing.
- IOM. (2002). High-Energy, Nutrient-Dense Emergency Relief Food Product. Washington, D.C.: Institute of Medicine.
- Jianshe Chen & Engelen, L. (red.). (2012). *Food Oral Processing: Fundamentals of Eating and Sensory Perception*: Wiley-Blackwell.
- Jivraj, M., Martini, L. G. & Thomson, C. M. (2000). An overview of the different excipients useful for the direct compression of tablets. *Pharmaceutical Science & Technology Today*, 3 (2): 58-63.
- Kaliyan, N. & Vance Morey, R. (2009). Factors affecting strength and durability of densified biomass products. *Biomass and Bioenergy*, 33 (3): 337-359.
- Labuza, T. P. (1970). *Properties of water as related to the keeping quality of foods*. Proceedings of the Third International Congress of Food Science & Technology Washington, DC.
- Lewicki, P. P. (2004). Water as the determinant of food engineering properties. A review. *Journal of Food Engineering*, 61 (4): 483-495.
- Li, Y. & Liu, H. (2000). High-pressure densification of wood residues to form an upgraded fuel. *Biomass and Bioenergy*, 19 (3): 177-186.
- Løvås, G. G. (1999). *Statistikk for universiteter og høyskoler*. Tøyen, Oslo: Universitetsforlaget.
- Mani, S., Tabil, L. G. & Sokhansanj, S. (2006). Effects of compressive force, particle size and moisture content on mechanical properties of biomass pellets from grasses. *Biomass and Bioenergy*, 30 (7): 648-654.
- Mathlouthi, M. (2001). Water content water activity water structure on the stability of foodstuffs. *Food Control*, 12: 409-417.
- Nelson K. A. & P., L. T. (1992). Understanding the relationship between water and lipid oxidation rates using aw and glass transition theory. I: M, S. A. (red.) ACS Symposium Series *Lipids and Food Stability*, s. 93–103. Washington, DC: American Chemical Society.
- Nelson, K. A. & Labuza, T. P. (1992). Relationship between water and lipid oxidation rates—Water activity and glass transition theory I: St. Angelo, A. J. (red.) ACS Symposium Series, *Lipid Oxidation in Food*. Washington, DC: American Chemical Society.
- Nilsson, D. & Bernesson, S. (2008). Processing biofuels from farm raw materials - A system study. Uppsala: Department of energy and technology.
- Ottaway, P. B., Ottaway, B. & Ltd., A. (2002). The stability of vitamins during food processing. I: Henry, C. J. K. & Chapman, C. (red.) *The nutrition handbook for food processors*, s. 247-264. England: Woodhead Publishing Ltd.
- Pai, D. A. & Okos, M. R. (2013). Predicting the density and tensile strength of viscoelastic soy powder compacts. *Journal of Food Engineering*, 116 (1): 184-194.
- Patel, S., Kaushal, A. M. & K., B. A. (2006). Compression Physics in the Formulation Development of Tablets. *Therapeutic Drug Carrier Systems*, 23 (1): 1-65.

- Pietsch, W. (1997). Size Enlargement by Agglomeration. I: Fayed, M. E. & Otten, L. (red.) b. 2 *Handbook of Powder Science and Technology*, s. 202-377. NY: International Thomson Publishing.
- Rahman, M. S. (red.). (2009). *Food Properties Handbook, Second Edition*: CRC Press.
- Salas-Bringas, C., Filbakk, T., Skjevraak, G., Lekang, O.-I., Høibø, O. & Schüller, R. B. (2010a). Assessment of a new laboratory die pelleting rig. *Annual Transactions of the Nordic Rheology Society* 18: 77-85.
- Salas-Bringas, C., Filbakk, T., Skjevraak, G., Lekang, O.-I., Høibø, O. & Schüller, R. B. (2010b). Compression rheology and physical quality of wood pellets pre-handled with four different conditions. *Annual transactions of the nordic rheology society*, 18.
- Salas-Bringas, C., Rukke, E. O., Saga, L., Lekang, O.-I. & Schüller, R. B. (2010c). Rheological properties of buttermilk pellets manufactured by a new die pelleting rig of a texture analyzer. *Annual transactions of the nordic rheology society*, 18.
- Salas-Bringas, C., Mišljenović, N., Wicklund, T., Lekang, O.-I. & Schüller, R. B. (2011). Influence of particle size on strength of pelleted feed. *Annual transactions of the nordic rheology society*, 19.
- Shinohara, K. (1997). Fundamental and Rheological Properties of Powders. I: Fayed, M. E. & Otten, L. (red.) *Handbook of Powder Science and Technology*, s. 96-145. NY: International Thomson Publishing.
- Sinka, I. C., Pitt, K. G. & Cocks, A. C. F. (2007). The strength of pharmaceutical tablets. I: Agba, D., Salman, M. G. & Michael, J. H. (red.) *Handbook of Powder Technology*, s. 941-970. Amsterdam, Netherlands: Elsevier Science B.V.
- Special Nutritional Products*. World Food Programme. Tilgjengelig fra: <http://www.wfp.org/nutrition/special-nutritional-products> (lest 15.04.2014).
- Steffe, J. F. (1996). *Rheological Methods in Food Process Engineering*. Second utg. USA: Freeman Press.
- Stojanovic, Z. & Markovic, S. (2012). *Determination of Particle Size Distribution by Laser Diffraction*.
- Svihus, B., Uhlen, A. K. & Harstad, O. M. (2005). Effect of starch granule structure, associated components and processing on nutritive value of cereal starch: A review. *Animal Feed Science and Technology*, 122 (3-4): 303-320.
- Thek, G. & Obernberger, I. (2004). Wood pellet production costs under Austrian and in comparison to Swedish framework conditions. *Biomass and Bioenergy*, 27: 671-693.
- Thomas, M. & van der Poel, A. F. B. (1996). Physical quality of pelleted animal feed 1. Criteria for pellet quality. *Animal Feed Science and Technology*, 61 (1-4): 89-112.
- Thomas, M., van Zuilichem, D. J. & van der Poel, A. F. B. (1997). Physical quality of pelleted animal feed. 2. contribution of processes and its conditions. *Animal Feed Science and Technology*, 64 (2-4): 173-192.
- Thomas, M., van Vliet, T. & van der Poel, A. F. B. (1998). Physical quality of pelleted animal feed 3. Contribution of feedstuff components. *Animal Feed Science and Technology*, 70 (1-2): 59-78.
- Thomas, M., Huijnen, P. T., van Vliet, T., van Zuilichem, D. J. & van der Poel, A. F. (1999). Effects of process conditions during expander processing and pelleting on starch modification and pellet quality of tapioca. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 79: 1481-1494.
- WHO, UNHCR, UNICEF & WFP. (2004). *Food and nutrition needs in emergencies*. Geneva, Switzerland: World Health Organization.

- Wrolstad, R. E., Decker, E. A., Schwartz, S. J. & Sporns, P. (2005). *Handbook of Food Analytical Chemistry: Water, Proteins, Enzymes, Lipids, and Carbohydrates*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Zimonja, O. & Svihus, B. (2009). Effects of processing of wheat or oats starch on physical pellet quality and nutritional value for broilers. *Animal Feed Science and Technology*, 149 (3-4): 287-297.

8 VEDLEGG

Vedlegg 1. Kalkyler for totalt innhold av mikronæringsstoffer.

Vitaminer	mg/70 g griljermel	mg/2 g Maltekstrakt	mg/16g Kokosolje	Totalt i råvarer (mg/100g)
Vit A (mg)	0,0595			0,06
Vit D3 (mg)				0,00
Vit E (mg)	1,1200		0,0144	1,13
Vit C (mg)				0,00
Vit B1/Tiamin (mg)	0,2520	0,0003		0,25
Vit B2/Riboflavin (mg)	0,1260	0,0117		0,14
Vit B6 (mg)	0,2100	0,0150		0,23
Vit B12 (mg)	0,0001			0,00
Vit B3/Niacin (mg)	2,8000	0,2430		3,04
Pantotensyre/Vit B5 (mg)		0,0051		0,01
Vit B9/Folat (mg)	0,0105	0,0004		0,01
Biotin/Vit B8 (mg)				0,00
Vit K (mg)			0,0001	0,00
Mineraler				
Kalsium (mg)	21,0000	1,8300	0,3200	23,15
Jern (mg)	1,1200	0,0288	0,0320	1,18
Natrium (mg)	210,0000	1,0500		211,05
Kalium (mg)	70,0000	9,6000	0,3200	79,92
Magnesium (mg)	18,9000	2,1600		21,06
Sink (mg)	0,7700	0,0042		0,77
Selen (mg)	0,0014	0,0004		0,00
Kopper (mg)	0,2800	0,0060		0,29
Fosfor (mg)	88,9000	7,0800		95,98
Jod (mg)				0,00
Mangan (mg)		0,0030		0,00
Kobolt				
Totalt mikrostofer (mg)	415,55	22,04	0,69	438,27
Totalt mikrostofer (g)	0,42	0,02	0,00	0,44

Vedlegg 2. Produktblad for premiks Fisk (vitaminer og mineraler).

DEKLARASJON AV PREMIKS	
Premiks Fisk	
Premiksen er beregnet til: fisk	Nettvekt: 25 kg
NÆRINGSINNHOOLD: Kalsium (Ca) 22,0 %	BRUKSANVISNING: For tilsetning i fullfør til fisk. Dosering: 0,5 %
TILSETNINGSSTOFFER: Mangan (Mn) som mangan(II)sulfat 3.000 mg/kg Sink (Zn) som sinkulfat 24.000 mg/kg Kobber (Cu) som kobber(II)sulfat 1.000 mg/kg Kobolt (Co) som kobolt(II)sulfat 200 mg/kg Jod (I) som kalsiumjodat 600 mg/kg Vitamin A 500 IE/gram Vitamin D3 300 IE/gram Vitamin E 40.000 mg/kg Vitamin K3 2.000 mg/kg Vitamin B1 (tiamin) 3.000 mg/kg Vitamin B2 (riboflavin) 5.000 mg/kg Vitamin B6 (pyridoksin) 3.000 mg/kg Vitamin B12 (cobalamin) 4 mg/kg Vitamin B5 (pantotensyre) 6.000 mg/kg Vitamin B9 (folinsyre) 1.000 mg/kg Vitamin B3 (niacin) 15.000 mg/kg Biotin 50 mg/kg Vitamin C (monofosfat) 25.000 mg/kg	MERKNADER: Dosering av små mengder av råvarer og tilsetningsstoffer krever dertil egnet utstyr for korrekt dosering og innblanding.
RÅVARER: Kalksteinsmel 66,3 % Diamol 2,5 % Tangmel 2,5 %	
Produksjonsdato: 17.02.2014	Produksjonsnummer: 13019
Skal helst brukes innen 6 måneder etter produksjonsdato	
AS Norsk Mineralnæring Hensmoen, 3516 Hønefoss Tlf 32 14 01 00 www.normin.no	Godkjeningsnummer: αNO00000445BI

Vedlegg 3. Resultater fra måling av vanninnhold til ingredienser i resepten (forsøk 1), samt vanninnhold og vannaktivitet (a_w) i ulike resepter (forsøk 2b).

Råvare/Resept	m1 (beholder)	m2 (beholder+råmat.)	m3 (tørket)	Vanninnhold (g)	Vanninnhold (%)	a_w
EPI	23,5982	25,7144	25,5398	0,0825	8,2506	
	24,7432	26,9432	26,7614	0,0826	8,2636	
	24,9182	26,6607	26,5161	0,0830	8,2984	
SPI	22,5987	24,1333	24,0594	0,0482	4,8156	
	22,6839	24,3082	24,2300	0,0481	4,8144	
	22,9409	24,5274	24,4502	0,0487	4,8661	
Premiks min+vit	23,1899	25,2319	25,1663	0,0321	3,2125	
	23,2562	25,3905	25,3205	0,0328	3,2798	
	21,3149	23,1645	23,0997	0,0350	3,5035	
Melis	22,9418	24,8566	24,8521	0,0024	0,2350	
	22,6377	24,7459	24,7412	0,0022	0,2229	
	21,3158	23,6704	23,6651	0,0023	0,2251	
Griljermel	23,8351	25,2904	25,2088	0,0561	5,6071	
	21,6133	23,6953	23,5787	0,0560	5,6004	
	21,9392	23,5623	23,4721	0,0556	5,5573	
LV-resept	19,4403	20,8270	20,7420	0,0613	6,1297	0,485
	33,6471	35,0806	34,9922	0,0617	6,1667	0,487
	19,5708	21,0762	20,9834	0,0616	6,1645	0,490
MV-resept	23,1171	24,9379	24,7630	0,0961	9,6057	0,620
	22,6481	24,5363	24,3536	0,0968	9,6759	0,626
	24,2271	25,9759	25,8086	0,0957	9,5666	0,621
HV-resept	22,7251	25,8136	25,4211	0,1271	12,7087	0,713
	23,4461	25,3524	25,1135	0,1253	12,5304	0,711
	23,5672	25,5650	25,3130	0,1261	12,6127	0,708

Vedlegg 4. Resultater fra måling av vanninnhold og vannaktivitet i ferdigproduserte tabletter, forsøk 2a.

Komp.temp. (°C)	Komp.trykk (MPa)	m1	m2	m3	Vanninnhold tabl (g)	Vanninnhold tabl (%)	A_w tabl
LT (22°C)	4	22,942	23,436	23,412	0,0469	4,7	0,254
	20	22,941	24,527	24,450	0,0487	4,9	0,249
	35	22,638	23,201	23,174	0,0484	4,8	0,239
	70	22,454	24,477	24,321	0,0487	4,9	0,247
	105	21,316	21,763	21,740	0,0497	5,0	0,246
	139	23,835	24,264	24,243	0,0482	4,8	0,239
	195	21,613	22,141	22,116	0,0477	4,8	0,249
	250	21,940	22,390	22,369	0,0478	4,8	0,244
	295	22,155	22,760	22,731	0,0479	4,8	0,243
338	23,117	23,677	23,651	0,0472	4,7	0,238	
MT (35°C)	4	22,648	23,131	23,106	0,0510	5,1	0,262
	20	21,316	21,805	21,778	0,0542	5,4	0,269
	35	24,227	24,781	24,750	0,0553	5,5	0,272
	70	22,061	22,910	22,443	0,5498	5,5	0,261
	105	23,254	23,773	23,744	0,0554	5,5	0,264
	139	23,025	23,492	23,467	0,0536	5,4	0,261
	195	22,061	22,600	22,571	0,0542	5,4	0,265
	250	23,498	23,870	23,850	0,0535	5,3	0,263
	295	22,090	22,551	22,526	0,0535	5,3	0,265
338	24,431	24,975	24,945	0,0538	5,4	0,263	
HT (50°C)	4	22,750	23,342	23,307	0,0592	5,9	0,279
	20	22,800	23,323	23,292	0,0586	5,9	0,289
	35	24,261	24,836	24,801	0,0620	6,0	0,287
	70	21,613	23,694	23,569	0,0603	6,0	0,29
	105	24,485	25,050	25,013	0,0654	6,2	0,306
	139	23,890	24,401	24,369	0,0624	6,2	0,296
	195	22,060	22,652	22,615	0,0626	6,3	0,304
	250	22,725	23,260	23,225	0,0649	6,5	0,310
	295	23,446	24,040	24,001	0,0644	6,4	0,303
338	23,567	24,310	24,262	0,0647	6,5	0,311	

Vedlegg 5. Resultater fra måling av massetetthet til ferdigproduserte tabletter, forsøk 2a.

Kom.temp (°C)	Komp.trykk (MPa)	Kraft (N)	Lengde (mm)	Diameter (mm)	Masse (g) før tørking	Masse (g) etter tørking	Volum (m3)	Tetthet (kg/m3)
Romtemp (Bulk density)	0	0			12,360		0,00002	618
50	4,0	200	10,80	7,98	0,640	0,609	5,40156E-07	1128,006906
	4,0	200	11,83	7,98	0,690	0,659	5,91671E-07	1113,2873
	19,5	980	8,20	7,93	0,490	0,472	4,04995E-07	1165,198371
	19,5	980	6,92	7,93	0,425	0,406	3,41777E-07	1187,325219
	35,0	1759	9,65	7,95	0,600	0,573	4,79018E-07	1195,780749
	35,0	1759	10,01	7,95	0,610	0,586	4,96888E-07	1178,737249
	70,0	3519	8,86	7,93	0,538	0,525	4,37593E-07	1200,203087
	70,0	3519	7,87	7,93	0,470	0,449	3,88697E-07	1155,656481
	105,0	5278	9,40	7,96	0,590	0,567	4,67782E-07	1211,460734
	105,0	5278	9,53	7,95	0,600	0,573	4,73061E-07	1212,106135
	139,3	7000	7,02	7,90	0,440	0,425	3,44097E-07	1235,987864
	139,3	7000	8,54	7,94	0,540	0,514	4,22852E-07	1215,317806
	195,0	9802	8,64	7,96	0,550	0,531	4,29962E-07	1234,761177
	195,0	9802	10,00	7,96	0,630	0,602	4,97641E-07	1209,707782
	250,0	12566	11,91	7,99	0,760	0,731	5,97166E-07	1224,114875
	250,0	12566	8,74	8,00	0,560	0,537	4,3932E-07	1223,025614
	295,0	14828	10,46	7,98	0,670	0,642	5,23151E-07	1227,942932
	295,0	14828	9,83	8,02	0,620	0,598	4,96583E-07	1204,631666
	338,2	17000	10,93	7,99	0,540	0,669	5,48029E-07	1220,555674
	338,2	17000	12,13	7,99	0,700	0,748	6,08197E-07	1229,535917
35	4,0	200	8,60	8,05	0,470	0,446	4,37704E-07	1019,639834
	4,0	200	9,69	8,07	0,530	0,502	4,95634E-07	1013,248526
	19,5	980	8,62	8,01	0,509	0,488	4,34372E-07	1122,539204
	19,5	980	7,82	7,99	0,456	0,435	3,92094E-07	1109,682891
	35,0	1759	9,82	8,04	0,590	0,559	4,98555E-07	1122,041695
	35,0	1759	8,76	7,99	0,550	0,525	4,39226E-07	1195,741139
	70,0	3519	8,07	7,99	0,484	0,458	4,04629E-07	1132,395436
	70,0	3519	9,69	8,00	0,574	0,548	4,87073E-07	1124,883815
	105,0	5278	8,97	8,02	0,530	0,518	4,53139E-07	1142,696731
	105,0	5278	8,86	8,03	0,550	0,504	4,48699E-07	1123,694221
	139,3	7000	8,20	8,03	0,490	0,468	4,15274E-07	1127,448167
	139,3	7000	7,83	8,03	0,470	0,449	3,96536E-07	1131,296739
	195,0	9802	10,01	8,06	0,600	0,568	5,10733E-07	1112,714157
	195,0	9802	9,34	8,04	0,560	0,541	4,74186E-07	1140,05863
	250,0	12566	6,68	8,01	0,400	0,378	3,36613E-07	1122,058781
	250,0	12566	11,43	8,06	0,690	0,657	5,83185E-07	1125,886685
	295,0	14828	8,07	8,02	0,490	0,463	4,07673E-07	1134,732453
	295,0	14828	7,98	8,03	0,490	0,462	4,04133E-07	1143,931529
	338,2	17000	9,64	8,03	0,580	0,554	4,882E-07	1135,189893
	338,2	17000	11,71	8,06	0,720	0,679	5,97471E-07	1135,954638
22	4,0	200	13,11	8,11	0,650	0,601	6,77227E-07	887,2947718
	4,0	200	11,29	8,11	0,560	0,516	5,83211E-07	885,4431895
	19,5	980	10,36	8,18	0,570	0,540	5,44448E-07	992,1979736
	19,5	980	12,16	8,19	0,665	0,630	6,40606E-07	983,4432178
	35,0	1759	8,49	8,13	0,470	0,445	4,40736E-07	1009,220621
	35,0	1759	11,16	8,14	0,620	0,589	5,80768E-07	1013,485109
	70,0	3519	13,83	8,16	0,771	0,732	7,23257E-07	1012,227257
	70,0	3519	11,22	8,15	0,621	0,590	5,85326E-07	1008,497503
	105,0	5278	8,29	8,09	0,470	0,440	4,26129E-07	1033,019651
	105,0	5278	11,90	8,16	0,680	0,640	6,22325E-07	1027,759015
	139,3	7000	8,39	8,12	0,470	0,440	4,34474E-07	1013,178902
	139,3	7000	13,23	8,15	0,737	0,696	6,90184E-07	1009,006164
	195,0	9802	10,17	8,16	0,570	0,541	5,31852E-07	1017,199442
	195,0	9802	12,21	8,10	0,680	0,645	6,29181E-07	1025,460121
	250,0	12566	13,04	8,15	0,740	0,705	6,80272E-07	1036,20294
	250,0	12566	9,25	8,14	0,520	0,482	4,81372E-07	1001,097789
	295,0	14828	12,07	8,19	0,680	0,644	6,35865E-07	1012,950782
	295,0	14828	9,88	8,09	0,560	0,527	5,0786E-07	1038,278598
	338,2	17000	11,22	8,11	0,640	0,596	5,79595E-07	1028,822285
	338,2	17000	11,37	8,12	0,630	0,605	5,88793E-07	1027,186677

Vedlegg 6. Resultater fra måling av strekkfasthet til ferdigproduserte tabletter, forsøk 2a.

Komp.temp (°C)	Komp.trykk (MPa)	Lengde (mm)	Diameter (mm)	Sprøbrudd	Maks kraft (N)	Hardhet (kN/m)	Strekkfasthet** (KPa)
22	4	11,22	8,11	Ja, smuldrer lett	6,5	0,6	46
	20	12,16	8,19	Ja, smuldrer litt	10,4	0,9	67
	35	11,16	8,14	Ja	28,0	2,5	196
	70	11,54	8,15	Ja	14,5	1,3	98
	105	8,29	8,09	Ja	33,64	4,1	319
	139	8,39	8,12	Ja	18,8	2,2	176
	195	10,17	8,16	Ja	19,6	1,9	151
	250	9,24	8,16	Ja	23,8	2,6	201
	295	12,07	8,19	Ja	29,6	2,5	191
35	338	11,22	8,11	Ja	22,0	2,0	154
	4	9,69	8,07	Ikke midt på: (I)	33,1	3,4	270
	20	9,57	8	Ja	79,9	8,3	664
	35	9,82	8,04	Ja	126,4	12,9	1019
	70	9,6	8	Ja	95,1	9,9	788
	105	8,85	8,04	ja	100,7	11,4	901
	139	8,2	8,03	Ja	95,0	11,6	919
	195	9,34	8,04	Ja	121,3	13,0	1028
	250	6,68	8,01	Ja	78,1	11,7	929
50	295	7,98	8,03	Ja	104,8	13,1	1041
	338	9,64	8,03	Ja	129,7	13,5	1066
	4	10,8	7,98	Ja, litt smuldring	122,6	11,4	906
	20	6,88	7,93	ja	107,4	15,6	1253
	35	9,65	7,95	Ja (to-tre krakk)	222,3	23,0	1844
	70	7,78	7,93	ja	110,9	14,3	1144
	105	9,51	7,91	ja	222,6	23,4	1884
	139	8,54	7,94	Ja	219,3	25,7	2059
	195	10	7,96	Ja	239,0	23,9	1912
250	8,74	8	Ja	215,8	24,7	1965	
295	9,83	8,02	Ja	261,2	26,6	2109	
338	12,13	7,99	Ja	328,7	27,1	2159	

Vedlegg 7. Resultater fra måling av vanninnhold og vannaktivitet til ferdigproduserte tabletter, forsøk 2b.

Komp.temp (°C)	Komp.trykk (MPa)	m1	m2	m3	Vanninnhold (g)	Vanninnhold (%)	aw	
22	105	22,9418	23,5999	23,5728	0,0411	4,11	0,191	
		22,6380	23,3139	23,2860	0,0414	4,14	0,192	
		21,3162	21,9716	21,9444	0,0415	4,15	0,191	
35		23,8356	24,3890	24,3625	0,0478	4,78	0,205	
		21,6132	22,2315	22,2019	0,0477	4,77	0,212	
		21,9398	22,5866	22,5544	0,0498	4,98	0,213	
50		22,1549	22,7200	22,6888	0,0552	5,52	0,215	
		23,1175	23,7229	23,6901	0,0542	5,42	0,217	
		22,6482	23,2325	23,2007	0,0545	5,45	0,218	
22		105	21,3161	21,7625	21,7403	0,0497	4,97	0,246
			22,6381	23,0998	23,0772	0,0489	4,89	0,245
			22,9417	23,3869	23,3652	0,0487	4,87	0,246
35	23,2544		23,7729	23,7442	0,0554	5,54	0,264	
	21,3160		21,7916	21,7657	0,0545	5,45	0,263	
	23,8353		24,3522	24,3245	0,0536	5,36	0,263	
50	23,89049		24,40121	24,36932	0,0624	6,24	0,306	
	21,6131		22,1517	22,1199	0,0590	5,90	0,306	
	21,9395		22,4613	22,4299	0,0601	6,01	0,305	
22	105		22,9413	23,2019	23,1899	0,0461	4,61	0,165
			22,6376	23,0845	23,0643	0,0452	4,52	0,170
			21,3157	21,7757	21,7546	0,0458	4,58	0,168
35		23,8352	24,3525	24,3271	0,0490	4,90	0,160	
		21,6126	22,1905	22,1627	0,0481	4,81	0,166	
		21,9389	22,5046	22,4777	0,0475	4,75	0,162	
50		22,1544	22,7239	22,6924	0,0553	5,53	0,192	
		23,1170	23,7005	23,6691	0,0539	5,39	0,197	
		22,6475	23,2380	23,2060	0,0543	5,43	0,188	

Vedlegg 8. Resultater fra måling av massetetthet til bulk, forsøk 2b.

H2O resept (%)	Masse (g)	Volum (mm ³)	Bulktetthet (kg/m ³)
6,2	59,36	0,1	594
	57,53	0,1	575
	56,68	0,1	567
9,6	60,67	0,1	607
	56,12	0,1	561
	55,87	0,1	559
12,6	52,41	0,1	524
	60,13	0,1	601
	59,08	0,1	591

Vedlegg 9. Resultater fra måling av massetetthet til ferdigproduserte tabletter, forsøk 2b.

H2O resept (%)	Komp.temp (°C)	Lengde (mm)	Diameter (mm)	Masse (g) etter 1,5t tørking 40°C	Volum (m ³)	Tetthet tabl (kg/m ³)
6,2% H2O	22	11,56	8,21	0,6707	6,11975E-07	1096,0
		11,05	8,18	0,647	5,80709E-07	1114,2
		9,98	8,11	0,583	5,1554E-07	1130,9
	35	10,34	8,22	0,6193	5,48724E-07	1128,6
		10,88	8,12	0,6524	5,63418E-07	1157,9
		9,40	8,10	0,5549	4,84382E-07	1145,6
	50	9,83	8,07	0,6098	5,02794E-07	1212,8
		9,78	8,09	0,6064	5,0272E-07	1206,2
		9,61	8,11	0,5998	4,96427E-07	1208,2
9,6% H2O	22	8,29	8,09	0,440	4,26129E-07	1033,0
		9,85	8,10	0,522	5,0757E-07	1028,4
		11,90	8,16	0,640	6,22325E-07	1027,8
	35	8,97	8,02	0,518	4,53139E-07	1142,7
		8,86	8,03	0,504	4,48699E-07	1123,7
		9,74	8,05	0,561	4,95725E-07	1131,7
	50	9,25	7,97	0,559	4,61475E-07	1211,3
		9,40	7,96	0,567	4,67782E-07	1211,5
		9,53	7,95	0,573	4,73061E-07	1212,1
12,6% H2O	22	11,50	8,08	0,525	5,89672E-07	890,8
		11,13	8,05	0,528	5,6647E-07	932,6
		11,83	8,04	0,537	6,00602E-07	894,8
	35	9,57	8,01	0,461	4,82244E-07	954,9
		10,05	8,01	0,491	5,06432E-07	968,9
		9,81	8,01	0,483	4,94338E-07	977,5
	50	8,71	7,88	0,473	4,24776E-07	1113,5
		9,19	7,91	0,491	4,51605E-07	1087,9
		10,19	7,87	0,564	4,95694E-07	1137,2

Vedlegg 10. Resultater fra måling av strekkfasthet til ferdigproduserte tabletter, forsøk 2b.

H2O resept (%)	Komp.temp (°C)	Lengde (mm)	Diameter (mm)	Maks kraft (N)	Hardhet (kN/m)	Strekkfasthet (kPa)
6,2% H2O	22	11,54	8,27	10,60	0,9	71
		11,87	8,34	10,42	0,9	67
		11,47	8,16	8,55	0,7	58
	35	10,89	8,11	36,35	3,3	262
		10,28	8,09	36,79	3,6	282
		9,28	8,16	40,30	4,3	339
	50	9,37	8,11	103,08	11,0	864
		9,75	8,08	90,41	9,3	731
		9,05	8,05	96,22	10,6	841
9,6% H2O	22	8,29	8,09	39,43	4,8	374
		11,93	8,14	37,54	3,1	246
		8,29	8,09	33,64	4,1	319
	35	8,97	8,02	120,54	13,4	1067
		9,74	8,05	98,02	10,1	796
		8,85	8,04	100,71	11,4	901
	50	9,40	7,96	233,61	24,9	1988
		9,25	7,97	196,73	21,3	1699
		9,51	7,91	222,60	23,4	1884
12,6% H2O	22	11,65	8,11	6,48	0,6	44
		11,15	8,06	9,59	0,9	68
		11,86	8,09	5,34	0,5	35
	35	11,89	8,07	33,06	2,8	219
		11,68	8,04	39,29	3,4	266
		10,28	8,01	38,18	3,7	295
	50	10,10	7,89	79,34	7,9	634
		10,12	7,91	89,63	8,9	713
		11,05	7,95	85,44	7,7	619

Vedlegg 11. Resultater fra måling av vannløselighet til tabletter, forsøk 2b.

H2O i resept (%)	Komp.temp (°C)	m1	m2	m3	Konsentrasjon (w/w%)	Oppløst mat. (g)	Vannløselighet (% v.b.)
6,2% H2O	22	1,5842	2,2320	2,1300	0,65	0,1575	15,75
		1,5844	2,1766	2,0842	0,59	0,1560	15,60
		1,5759	2,1599	2,0704	0,58	0,1533	15,33
	35	1,5806	2,1201	2,0386	0,54	0,1511	15,11
		1,5770	2,1593	2,0726	0,58	0,1489	14,89
		1,5830	2,1103	2,0315	0,53	0,1494	14,94
	50	1,5867	2,0865	2,0153	0,50	0,1425	14,25
		1,5708	2,0779	2,0048	0,51	0,1442	14,42
		1,5697	2,0451	1,9759	0,48	0,1456	14,56
9,6% H2O	22	0,0895	0,5863	0,4962	0,50	0,1814	18,14
		0,0898	0,5112	0,4312	0,42	0,1898	18,98
		0,0912	0,6059	0,5001	0,51	0,2056	20,56
	35	0,0907	0,5484	0,4804	0,46	0,1486	14,86
		0,0905	0,5719	0,5049	0,48	0,1392	13,92
		0,0898	0,5414	0,4690	0,45	0,1603	16,03
	50	0,0926	0,4972	0,4391	0,40	0,1436	14,36
		0,0898	0,4797	0,4247	0,39	0,1411	14,11
		0,0895	0,5574	0,4921	0,47	0,1396	13,96
12,6% H2O	22	1,5912	2,1733	2,0110	0,58	0,2788	27,88
		1,5841	2,2199	2,0295	0,64	0,2995	29,95
		1,5717	2,1505	1,9657	0,58	0,3193	31,93
	35	1,5727	2,1118	1,9243	0,54	0,3478	34,78
		1,5775	2,0685	1,9246	0,49	0,2931	29,31
		1,5803	2,0055	1,8702	0,43	0,3182	31,82
	50	1,5714	2,0433	1,9699	0,47	0,1555	15,55
		1,5714	2,0630	1,9831	0,49	0,1625	16,25
		1,5684	2,0069	1,9249	0,44	0,1870	18,70

Vedlegg 12. Resultater fra måling av energitetthet per g tørrstoff til tabletter, forsøk

2b.

Målinger	LVL1	LVL2	LVL3	LVMT1	LVMT2	LVMT3	LVHT1	LVHT2	LVHT3
a	5	5	5	5	5	5	5	5	5
b	6,75	6,75	6,75	6,75	6,75	6,75	6,75	6,75	6,75
c	14	14	16	16	14	14	14	14	14
ta	19,26	20,44	18,95	19,40	19,77	20,17	19,99	20,43	20,57
tc	20,63	21,87	19,86	20,52	20,93	21,18	21,05	21,52	21,11
r1	0,0062	0,0014	0,0052	0,0014	0,0002	0,0014	0,0008	0,0022	0,0016
r2	0,0004	0,0022	0,0024	0,0006	0,001	0,0016	0,0016	0,0018	0,0006
c3	8,4	5,6	7,5	8,5	9,5	8,7	3,05	8,8	9
W	2355,76	2355,76	2355,76	2355,76	2355,76	2355,76	2355,76	2355,76	2355,76
M	0,6526	0,6963	0,4299	0,5549	0,5729	0,5124	0,5515	0,5737	0,2813
t	1,350	1,412	0,873	1,115	1,150	0,999	1,051	1,074	0,528
e3	19,32	12,88	17,25	19,55	21,85	20,01	7,015	20,24	20,7
Hg	4845	4757	4743	4699	4693	4554	4477	4375	4347

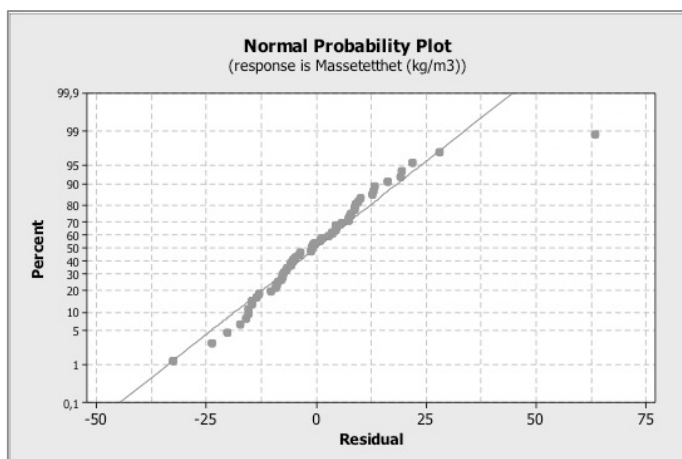
Målinger	MVL1	MVL2	MVL3	MVMT1	MVMT2	MVMT3	MVHT1	MVHT2	MVHT3
a	5	5	5	5	5	5	5	5	5
b	6,5	6,5	6,5	6,75	6,75	6,75	6,5	6,5	6,75
c	13	12	13	14	13	14	15	15	13
ta	20,99	20,71	20,94	19,52	20,22	21,40	19,79	20,39	22,06
tc	22,38	21,85	22,07	20,41	21,22	22,49	20,81	21,21	22,98
r1	0,0012	0,0016	0,0008	0,002	0,0014	0,0032	0,0008	0,0044	0,0038
r2	0,002	0,002	0,0002	0,0004	0,001	0,0006	0,0006	0,0024	0,0006
c3	4,45	8,7	6,7	8,8	8,8	9	8,8	9	8,8
W	2355,76	2355,76	2355,76	2355,76	2355,76	2355,76	2355,76	2355,76	2355,76
M	0,7243	0,6035	0,5534	0,4624	0,5219	0,5679	0,5420	0,4241	0,4903
t	1,370	1,126	1,120	0,884	0,985	1,085	1,010	0,790	0,907
e3	10,24	20,01	15,41	20,24	20,24	20,70	20,24	20,70	20,24
Hg	4672	4692	4738	4458	4409	4465	4351	4339	4315

Målinger	HVL1	HVL2	HVL3	HVMT1	HVMT2	HVMT3	HVHT1	HVHT2	HVHT3
a	5	5	5	5	5	5	5	5	5
b	6,75	6,5	6,75	6,75	6,75	6,75	6,75	6,75	6,75
c	15	14	14	15	14	14	14	14	14
ta	19,52	19,63	19,75	19,62	19,48	19,86	20,22	20,45	20,45
tc	20,56	20,55	20,46	20,48	20,63	20,94	21,10	21,33	21,46
r1	0,0034	0,0006	0,0006	0,0016	0,0022	0,0002	0,0022	0,0028	0,0016
r2	0,0006	0,0002	0,0004	0,0004	0,0008	0,0006	0,0006	0,0006	0,001
c3	7,15	8,9	8,3	5,7	5,95	7,4	8,85	8,7	9,5
W	2355,76	2355,76	2355,76	2355,76	2355,76	2355,76	2355,76	2355,76	2355,76
M	0,5021	0,4877	0,3433	0,4413	0,5949	0,5600	0,4676	0,4679	0,5384
t	1,035	0,917	0,711	0,859	1,144	1,078	0,874	0,875	1,004
e3	16,45	20,47	19,09	13,11	13,69	17,02	20,36	20,01	21,85
Hg	4823	4385	4824	4555	4509	4506	4359	4362	4353

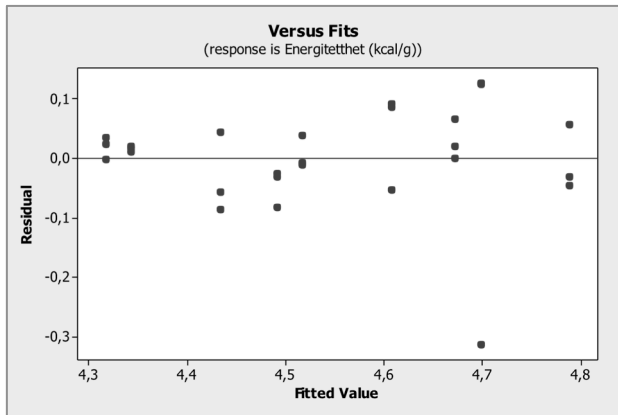
Vedlegg 13. Resultater fra kalkulering av energitetthet per g produkt samt energitap, forsøk 2b.

H2O resept (%)	Komp.temp (°C)	H2O tabl. (%)	Energitetthet (kcal/g TS)	Energitetthet (kcal/g prod)	Energitap (kcal/g)	Energitap (%)
LV (6,2%)	22	4,13	4,84	4,64	0,00	0,0
			4,76	4,56	0,00	0,0
			4,74	4,55	0,00	0,0
	35	4,85	4,70	4,47	0,11	2,4
			4,69	4,47	0,11	2,6
			4,55	4,33	0,25	5,7
	50	5,46	4,48	4,23	0,35	8,2
			4,38	4,14	0,44	10,7
			4,35	4,11	0,47	11,5
MV (9,6%)	22	4,91	4,69	4,46	0,00	0,0
			4,67	4,44	0,00	0,0
			4,74	4,51	0,00	0,0
	35	5,45	4,46	4,22	0,25	6,0
			4,41	4,17	0,30	7,2
			4,46	4,22	0,25	5,9
	50	6,05	4,32	4,05	0,42	10,3
			4,35	4,09	0,38	9,3
			4,34	4,08	0,39	9,7
HV (12,6%)	22	4,57	4,82	4,60	0,00	0,0
			4,82	4,60	0,00	0,0
			4,39	4,18	0,00	0,0
	35	4,82	4,56	4,34	0,26	6,1
			4,51	4,29	0,31	7,2
			4,51	4,29	0,31	7,3
	50	5,45	4,36	4,12	0,48	11,6
			4,36	4,12	0,48	11,5
			4,35	4,12	0,48	11,8

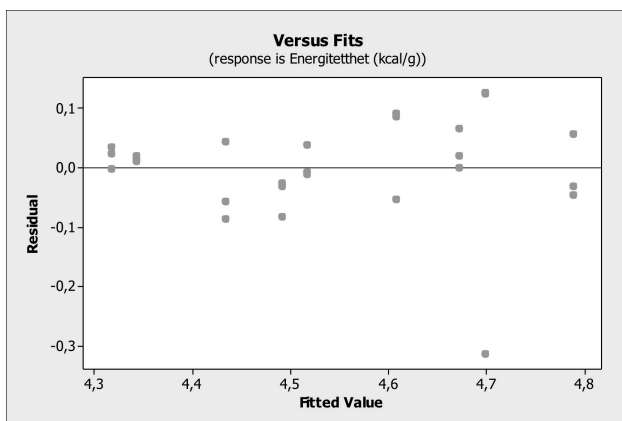
Vedlegg 14. Residualplott som viser uteliggere, forsøk 2a og 2b.



Residualplott for massetetthet i forsøk 2a viser uteligger med uventet høy residualverdi (35°C/35 MPa)



Residualplott for strekkfasthet i forsøk 2a viser uteligger med uventet høy residualverdi (50°C/70 MPa).



Residualplott for energitetthet i forsøk 2b som viser en uteligger med uventet høy residualverdi.

Vedlegg 13. Resultater fra toveis variansanalyse, forsøk 2a.

General Linear Model: Vanninnhold, aw, massetetthet, strekkfasthet

Trykk: 4-338 MPa

Factor	Type	Levels	Values
Komp.temp. (°C)	fixed	3	22; 35; 50
Komp.trykk (MPa)	fixed	10	4; 20; 35; 70; 105; 139; 195; 250; 295; 338

Analysis of Variance for Vanninnhold tabletter (%), using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Komp.temp. (°C)	2	9,79289	9,79289	4,89644	222,89	0,000
Komp.trykk (MPa)	9	0,31253	0,31253	0,03473	1,58	0,195
Error	18	0,39542	0,39542	0,02197		
Total	29	10,50084				

S = 0,148216 R-Sq = 96,23% R-Sq(adj) = 93,93%

Analysis of Variance for Vannaktivitet (aw), using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Komp.temp. (°C)	2	0,0141813	0,0141813	0,0070906	109,45	0,000
Komp.trykk (MPa)	9	0,0002565	0,0002565	0,0000285	0,44	0,895

Error	18	0,0011661	0,0011661	0,0000648
Total	29	0,0156039		

S = 0,00804869 R-Sq = 92,53% R-Sq(adj) = 87,96%

Unusual Observations for Vannaktivitet (aw)

Vannaktivitet					
Obs	(aw)	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
1	0,254000	0,240867	0,005090	0,013133	2,11 R
21	0,279000	0,293567	0,005090	-0,014567	-2,34 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

General Linear Model: Vanninnhold, aw, massetetthet, strekkfasthet

Trykk: 4-338 MPa

Factor	Type	Levels	Values
Komp.temp. (°C)	fixed	3	22; 35; 50
Komp.trykk (MPa)	fixed	10	4,0; 19,5; 35,0; 70,0; 105,0; 139,0; 195,0; 250,0; 295,0; 338,0

Analysis of Variance for Massetetthet (kg/m3), using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Komp.temp. (°C)	2	392117	392078	196039	1270,76	0,000
Komp.trykk (MPa)	9	71556	71556	7951	51,54	0,000
Error	47	7251	7251	154		
Total	58	470924				

S = 12,4205 R-Sq = 98,46% R-Sq(adj) = 98,10%

Unusual Observations for Massetetthet (kg/m3)

Massetetthet					
Obs	(kg/m3)	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
40	1128,01	1101,21	5,56	26,80	2,41 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Factor	Type	Levels	Values
Komp.temp. (°C)	fixed	3	22; 35; 50
Komp.trykk (MPa)	fixed	10	4,0; 19,5; 35,0; 70,0; 105,0; 139,0; 195,0; 250,0; 295,0; 338,0

Factor	Type	Levels	Values
Komp.temp. (°C)	fixed	3	22; 35; 50
Komp.trykk (MPa)	fixed	6	105; 139; 195; 250; 295; 338

Analysis of Variance for Massetetthet (kg/m3), using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Komp.temp. (°C)	2	236563	236563	118282	998,90	0,000
Komp.trykk (MPa)	5	270	270	54	0,46	0,805
Error	28	3316	3316	118		

Total 35 240149

S = 10,8817 R-Sq = 98,62% R-Sq(adj) = 98,27%

Factor	Type	Levels	Values
Komp.temp. (°C)	fixed	3	22; 35; 50
Komp.trykk (MPa)	fixed	6	105; 139; 195; 250; 295; 338

Analysis of Variance for Strekkfasthet (kPa), using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Komp.temp. (°C)	2	9958894	9958894	4979447	632,01	0,000
Komp.trykk (MPa)	5	28763	28763	5753	0,73	0,617
Error	10	78788	78788	7879		
Total	17	10066445				

S = 88,7626 R-Sq = 99,22% R-Sq(adj) = 98,67%

Unusual Observations for Strekkfasthet (kPa)

Obs	Strekkfasthet (kPa)	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
1	319,33	168,61	59,18	150,72	2,28 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Analysis of Variance for Strekkfasthet (kPa), using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Komp.temp. (°C)	2	12587792	12135346	6067673	171,60	0,000
Komp.trykk (MPa)	9	1423499	1423499	158167	4,47	0,004
Error	17	601116	601116	35360		
Total	28	14612407				

S = 188,042 R-Sq = 95,89% R-Sq(adj) = 93,22%

Unusual Observations for Strekkfasthet (kPa)

Obs	Strekkfasthet (kPa)	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
1	45,74	-367,42	119,20	413,16	2,84 R
21	905,76	1253,21	120,02	-347,44	-2,40 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Vedlegg 14. Resultater fra toveis variansanalyse, Tukeys metode og enveis variansanalyse, forsøk 2b.

General Linear Model: Vanninnhold, aw, massetetthet, strekkfasthet, energitetthet, løselighet

Factor	Type	Levels	Values
Vanninnhold miks (%)	fixed	3	6,2; 9,6; 12,6
Komp.temp. (°C)	fixed	3	22; 35; 50

Analysis of Variance for Vanninnhold tabletter (%), using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Vanninnhold miks (%)	2	2,1734	2,1734	1,0867	141,02	0,000
Komp.temp. (°C)	2	5,6483	5,6483	2,8241	366,47	0,000
Vanninnhold miks (%) * Komp.temp. (°C)	4	0,2113	0,2113	0,0528	6,85	0,002
Error	18	0,1387	0,1387	0,0077		
Total	26	8,1717				

S = 0,0877853 R-Sq = 98,30% R-Sq(adj) = 97,55%

Unusual Observations for Vanninnhold tabletter (%)

Obs	Vanninnhold tabletter (%)	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
16	6,24000	6,05255	0,05068	0,18745	2,62 R
17	5,90420	6,05255	0,05068	-0,14835	-2,07 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Analysis of Variance for Vannaktivitet (aw), using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS
Vanninnhold miks (%)	2	0,0443434	0,0443434	0,0221717
Komp.temp. (°C)	2	0,0064234	0,0064234	0,0032117
Vanninnhold miks (%) * Komp.temp. (°C)	4	0,0018290	0,0018290	0,0004573
Error	18	0,0001173	0,0001173	0,0000065
Total	26	0,0527132		

Source	F	P
Vanninnhold miks (%)	3401,34	0,000
Komp.temp. (°C)	492,70	0,000
Vanninnhold miks (%) * Komp.temp. (°C)	70,15	0,000
Error		
Total		

S = 0,00255314 R-Sq = 99,78% R-Sq(adj) = 99,68%

Unusual Observations for Vannaktivitet (aw)

Obs	Vannaktivitet (aw)	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
4	0,205000	0,210000	0,001474	-0,005000	-2,40 R
26	0,197000	0,192333	0,001474	0,004667	2,24 R
27	0,188000	0,192333	0,001474	-0,004333	-2,08 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Analysis of Variance for Massetetthet (kg/m3), using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Vanninnhold miks (%)	2	130089	130089	65045	307,80	0,000
Komp.temp. (°C)	2	118712	118712	59356	280,88	0,000
Vanninnhold miks (%) * Komp.temp. (°C)	4	13210	13210	3302	15,63	0,000
Error	18	3804	3804	211		
Total	26	265815				

S = 14,5369 R-Sq = 98,57% R-Sq(adj) = 97,93%

Unusual Observations for Massetetthet (kg/m3)

Obs	Massetetthet (kg/m3)	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
20	932,62	906,07	8,39	26,54	2,24 R
26	1087,90	1112,87	8,39	-24,97	-2,10 R
27	1137,19	1112,87	8,39	24,32	2,05 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Analysis of Variance for Strekkfasthet (kPa), using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F
Vanninnhold miks (%)	2	2750779	2750779	1375389	224,43
Komp.temp. (°C)	2	4300583	4300583	2150292	350,88
Vanninnhold miks (%) * Komp.temp. (°C)	4	772318	772318	193079	31,51
Error	18	110309	110309	6128	
Total	26	7933989			

Source	P
Vanninnhold miks (%)	0,000
Komp.temp. (°C)	0,000
Vanninnhold miks (%) * Komp.temp. (°C)	0,000
Error	
Total	

S = 78,2834 R-Sq = 98,61% R-Sq(adj) = 97,99%

Unusual Observations for Strekkfasthet (kPa)

Obs	Strekkfasthet (kPa)	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
13	1066,71	921,22	45,20	145,48	2,28 R
16	1987,61	1856,78	45,20	130,83	2,05 R
17	1698,83	1856,78	45,20	-157,95	-2,47 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Analysis of Variance for Energitetthet (kcal/g), using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F
Vanninnhold miks (%)	2	0,067334	0,067334	0,033667	3,71
Komp.temp. (°C)	2	0,569716	0,569716	0,284858	31,39
Vanninnhold miks (%) * Komp.temp. (°C)	4	0,020772	0,020772	0,005193	0,57
Error	18	0,163333	0,163333	0,009074	
Total	26	0,821153			

Source	P
Vanninnhold miks (%)	0,045
Komp.temp. (°C)	0,000
Vanninnhold miks (%) * Komp.temp. (°C)	0,686
Error	

Total

S = 0,0952577 R-Sq = 80,11% R-Sq(adj) = 71,27%

Unusual Observations for Energitetthet (kcal/g)

Energitetthet						
Obs	(kcal/g)	Fit	SE Fit	Residual	St Resid	
20	4,38525	4,67748	0,05500	-0,29223	-3,76	R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Analysis of Variance for Vannløselighet (% v.b.), using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F
Vanninnhold miks (%)	2	692,64	692,64	346,32	182,48
Komp.temp. (°C)	2	217,84	217,84	108,92	57,39
Vanninnhold miks (%) * Komp.temp. (°C)	4	233,43	233,43	58,36	30,75
Error	18	34,16	34,16	1,90	
Total	26	1178,07			

Source	P
Vanninnhold miks (%)	0,000
Komp.temp. (°C)	0,000
Vanninnhold miks (%) * Komp.temp. (°C)	0,000
Error	
Total	

S = 1,37761 R-Sq = 97,10% R-Sq(adj) = 95,81%

Unusual Observations for Vannløselighet (% v.b.)

Vannløselighet						
Obs	(% v.b.)	Fit	SE Fit	Residual	St Resid	
22	34,7802	31,9693	0,7954	2,8108	2,50	R
23	29,3075	31,9693	0,7954	-2,6618	-2,37	R

Analysis of Variance for Energitetthet (kcal/g), using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
H2O i resept (%)	2	0,06957	0,06907	0,03454	14,73	0,000
Komp.temp (°C)	2	0,85174	0,85067	0,42534	181,43	0,000
H2O i resept (%) * Komp.temp (°C)	4	0,02505	0,02505	0,00626	2,67	0,068
Error	17	0,03985	0,03985	0,00234		
Total	25	0,98622				

S = 0,0484187 R-Sq = 95,96% R-Sq(adj) = 94,06%

Unusual Observations for Energitetthet (kcal/g)

Energitetthet						
Obs	(kcal/g)	Fit	SE Fit	Residual	St Resid	
6	4,33303	4,42296	0,02795	-0,08993	-2,27	R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Analysis of Variance for Energitap (%), using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
H2O i resept (%)	2	25,236	15,155	7,577	8,64	0,003
Komp.temp (°C)	2	496,492	495,954	247,977	282,90	0,000
H2O i resept (%) *Komp.temp (°C)	4	14,797	14,797	3,699	4,22	0,015
Error	17	14,901	14,901	0,877		
Total	25	551,426				

S = 0,936242 R-Sq = 97,30% R-Sq(adj) = 96,03%

Unusual Observations for Energitap (%)

Obs	Energitap (%)	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
6	5,6998	3,5723	0,5405	2,1275	2,78 R
7	8,2205	10,1323	0,5405	-1,9118	-2,50 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Tukeys metode

Grouping Information Using Tukey Method and 95,0% Confidence for Vanninnhold
tablettter (%)

Vanninnhold resept (%)	N	Mean	Grouping
9,6	9	5,47	A
12,6	9	4,95	B
6,2	9	4,81	B

Means that do not share a letter are significantly different.

Grouping Information Using Tukey Method and 95,0% Confidence for Vanninnhold
tablettter (%)

Komp.temp. (°C)	N	Mean	Grouping
50	9	5,65	A
35	9	5,04	B
22	9	4,54	C

Means that do not share a letter are significantly different.

Grouping Information Using Tukey Method and 95,0% Confidence for Aw

Vanninnhold resept (%)	N	Mean	Grouping
9,6	9	0,27	A
6,2	9	0,21	B
12,6	9	0,17	C

Means that do not share a letter are significantly different.

Grouping Information Using Tukey Method and 95,0% Confidence for Aw

Komp.temp. (°C)	N	Mean	Grouping
50	9	0,24	A
35	9	0,21	B

22 9 0,20 B

Means that do not share a letter are significantly different.

Grouping Information Using Tukey Method and 95,0% Confidence for Massetetthet
(kg/m³)

Vanninnhold resept (%)	N	Mean	Grouping
6,2	9	1155,60	A
9,6	9	1124,69	A
12,6	9	995,35	B

Means that do not share a letter are significantly different.

Grouping Information Using Tukey Method and 95,0% Confidence for Massetetthet
(kg/m³)

Komp.temp. (°C)	N	Mean	Grouping
50	9	1177,87	A
35	9	1081,28	B
22	9	1016,49	C

Means that do not share a letter are significantly different.

Grouping Information Using Tukey Method and 95,0% Confidence for Strekkfasthet
(kPa)

Vanninnhold resept (%)	N	Mean	Grouping
9,6	9	1030,42	A
6,2	9	390,37	B
12,6	9	321,53	B

Means that do not share a letter are significantly different.

Grouping Information Using Tukey Method and 95,0% Confidence for Strekkfasthet
(kPa)

Komp.temp. (°C)	N	Mean	Grouping
50	9	1107,91	A
35	9	491,90	B
22	9	142,51	C

Means that do not share a letter are significantly different.

Grouping Information Using Tukey Method and 95,0% Confidence for Vannløselighet
(% v.b.)

Vanninnhold resept (%)	N	Mean	Grouping
12,6	9	26,24	A
9,6	9	16,10	B
6,2	9	14,98	B

Means that do not share a letter are significantly different.

Grouping Information Using Tukey Method and 95,0% Confidence for Vannløselighet
(% v.b.)

Komp.temp. (°C)	N	Mean	Grouping
22	9	21,57	A
35	9	20,63	A
50	9	15,13	B

Means that do not share a letter are significantly different.

Grouping Information Using Tukey Method and 95,0% Confidence for Energitetthet
(kcal/g)

H2O i resept (%)	N	Mean	Grouping
6,2	9	4,3888	A
12,6	8	4,3423	A
9,6	9	4,2660	B

Means that do not share a letter are significantly different.

Grouping Information Using Tukey Method and 95,0% Confidence for Energitetthet
(kcal/g)

Komp.temp (°C)	N	Mean	Grouping
22	8	4,5696	A
35	9	4,3100	B
50	9	4,1175	C

Means that do not share a letter are significantly different.

Grouping Information Using Tukey Method and 95,0% Confidence for Energitap (%)

H2O i resept (%)	N	Mean	Grouping
9,6	9	6,1889	A
12,6	8	6,1644	A
6,2	9	4,5682	B

Means that do not share a letter are significantly different.

Grouping Information Using Tukey Method and 95,0% Confidence for Energitap (%)

Komp.temp (°C)	N	Mean	Grouping
50	9	10,9261	A
35	9	5,9954	B
22	8	-0,0000	C

Means that do not share a letter are significantly different.

One-way ANOVA mhp. vanninnhold resept

Vannløselighet: 6,2% H2O

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	1,9914	0,9957	36,16	0,000
Error	6	0,1652	0,0275		
Total	8	2,1566			

S = 0,1659 R-Sq = 92,34% R-Sq(adj) = 89,79%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
Komp.temp: 22°C	3	15,558	0,214	(-----*-----)
Komp.temp: 35°C	3	14,980	0,113	(-----*-----)
Komp.temp: 50°C	3	14,406	0,155	(-----*-----)

14,50 15,00 15,50 16,00

Pooled StDev = 0,166

Vannløselighet: 9,6% H2O

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	44,889	22,444	25,21	0,001
Error	6	5,342	0,890		
Total	8	50,230			

S = 0,9436 R-Sq = 89,37% R-Sq(adj) = 85,82%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
Komp.temp: 22°C	3	19,225	1,228	(-----*-----)
Komp.temp: 35°C	3	14,936	1,059	(-----*-----)
Komp.temp: 50°C	3	14,141	0,204	(-----*-----)

14,0 16,0 18,0 20,0

Pooled StDev = 0,944

Vannløselighet: 12,6% H2O

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	404,40	202,20	42,34	0,000
Error	6	28,65	4,78		
Total	8	433,05			

S = 2,185 R-Sq = 93,38% R-Sq(adj) = 91,18%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
Komp.temp: 22°C	3	29,919	2,023	(-----*-----)
Komp.temp: 35°C	3	31,969	2,739	(-----*-----)
Komp.temp: 50°C	3	16,836	1,652	(-----*-----)

18,0 24,0 30,0 36,0

Pooled StDev = 2,185

Vann% tabl : 6,2% H2O

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	2,66495	1,33248	243,08	0,000
Error	6	0,03289	0,00548		
Total	8	2,69784			

S = 0,07404 R-Sq = 98,78% R-Sq(adj) = 98,37%

Level	N	Mean	StDev
Komp.temp: 22°C	3	4,1314	0,0174
Komp.temp: 35°C	3	4,8461	0,1161
Komp.temp: 50°C	3	5,4631	0,0516

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Pooled StDev = 0,0740

Vann% tabl : 9,6% H2O

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	1,9591	0,9795	73,28	0,000
Error	6	0,0802	0,0134		
Total	8	2,0393			

S = 0,1156 R-Sq = 96,07% R-Sq(adj) = 94,76%

Level	N	Mean	StDev
Komp.temp: 22°C	3	4,9104	0,0547
Komp.temp: 35°C	3	5,4485	0,0882
Komp.temp: 50°C	3	6,0525	0,1713

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Pooled StDev = 0,1156

Vann% tabl : 12,6% H2O

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	1,23554	0,61777	144,68	0,000
Error	6	0,02562	0,00427		
Total	8	1,26116			

S = 0,06534 R-Sq = 97,97% R-Sq(adj) = 97,29%

Level	N	Mean	StDev
Komp.temp: 22°C	3	4,5677	0,0455
Komp.temp: 35°C	3	4,8203	0,0719
Komp.temp: 50°C	3	5,4489	0,0746

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Pooled StDev = 0,0653

Energitetthet: 6,2% H2O

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	95,94	47,97	23,50	0,001
Error	6	12,25	2,04		
Total	8	108,19			

S = 1,429 R-Sq = 88,68% R-Sq(adj) = 84,91%

Level	N	Mean	StDev
Komp.temp: 22°C	3	1,411	1,137
Komp.temp: 35°C	3	4,157	1,689
Komp.temp: 50°C	3	9,288	1,407

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Pooled StDev = 1,429

Energitetthet: 9,6% H2O

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	89,841	44,921	131,06	0,000
Error	6	2,057	0,343		
Total	8	91,898			

S = 0,5855 R-Sq = 97,76% R-Sq(adj) = 97,02%

Level	N	Mean	StDev
Komp.temp: 22°C	3	3,079	0,695
Komp.temp: 35°C	3	8,374	0,632
Komp.temp: 50°C	3	10,615	0,382

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Pooled StDev = 0,585

Energitetthet: 12,6% H2O

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	64,74	32,37	3,55	0,096
Error	6	54,66	9,11		
Total	8	119,40			

S = 3,018 R-Sq = 54,22% R-Sq(adj) = 38,96%

Level	N	Mean	StDev
Komp.temp: 22°C	3	3,583	5,195
Komp.temp: 35°C	3	6,735	0,573
Komp.temp: 50°C	3	10,151	0,096

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Pooled StDev = 3,018

Aw: 6,2% H2O

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	0,0010347	0,0005173	71,63	0,000
Error	6	0,0000433	0,0000072		
Total	8	0,0010780			

S = 0,002687 R-Sq = 95,98% R-Sq(adj) = 94,64%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
Komp.temp: 22°C	3	0,19133	0,00058	(--*--)
Komp.temp: 35°C	3	0,21000	0,00436	(---*---)
Komp.temp: 50°C	3	0,21667	0,00153	(---*---)

-----+-----+-----+-----+-----
0,190 0,200 0,210 0,220

Pooled StDev = 0,00269

Aw: 9,6% H2O

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	0,0057042	0,0028521	8556,33	0,000
Error	6	0,0000020	0,0000003		
Total	8	0,0057062			

S = 0,0005774 R-Sq = 99,96% R-Sq(adj) = 99,95%

Level	N	Mean	StDev
Komp.temp: 22°C	3	0,245667	0,000577
Komp.temp: 35°C	3	0,263333	0,000577
Komp.temp: 50°C	3	0,305667	0,000577

Level	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
Komp.temp: 22°C	(*
Komp.temp: 35°C	(*
Komp.temp: 50°C	*)

-----+-----+-----+-----+-----
0,256 0,272 0,288 0,304

Pooled StDev = 0,000577

Aw: 12,6% H2O

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	0,0015136	0,0007568	63,06	0,000
Error	6	0,0000720	0,0000120		
Total	8	0,0015856			

S = 0,003464 R-Sq = 95,46% R-Sq(adj) = 93,95%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
Komp.temp: 22°C	3	0,16767	0,00252	(----*----)
Komp.temp: 35°C	3	0,16267	0,00306	(----*----)
Komp.temp: 50°C	3	0,19233	0,00451	(----*----)

-----+-----+-----+-----+-----
0,160 0,170 0,180 0,190

Pooled StDev = 0,00346

Strekfasthet: 6,2% H2O

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	877321	438661	196,69	0,000
Error	6	13382	2230		
Total	8	890703			

S = 47,23 R-Sq = 98,50% R-Sq(adj) = 98,00%

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev	CI
Komp.temp: 22°C	3	65,27	6,45	(--*-)
Komp.temp: 35°C	3	294,16	39,90	(--*-)
Komp.temp: 50°C	3	811,67	71,11	(-*--)

0 250 500 750

Pooled StDev = 47,23

Strekfasthet: 9,6% H2O

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	1484817	742408	526,85	0,000
Error	6	8455	1409		
Total	8	1493271			

S = 37,54 R-Sq = 99,43% R-Sq(adj) = 99,25%

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev	CI
Komp.temp: 22°C	3	313,2	64,3	(*--)
Komp.temp: 35°C	3	1132,7	9,5	(-*--)
Komp.temp: 50°C	3	1211,6	0,4	(*--)

300 600 900 1200

Pooled StDev = 37,5

Strekfasthet: 12,6% H2O

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	568183	284091	198,85	0,000
Error	6	8572	1429		
Total	8	576755			

S = 37,80 R-Sq = 98,51% R-Sq(adj) = 98,02%

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev	CI
Komp.temp: 22°C	3	49,01	16,88	(*--)
Komp.temp: 35°C	3	260,31	38,29	(--*--)
Komp.temp: 50°C	3	655,26	50,35	(--*--)

0 200 400 600

Pooled StDev = 37,80

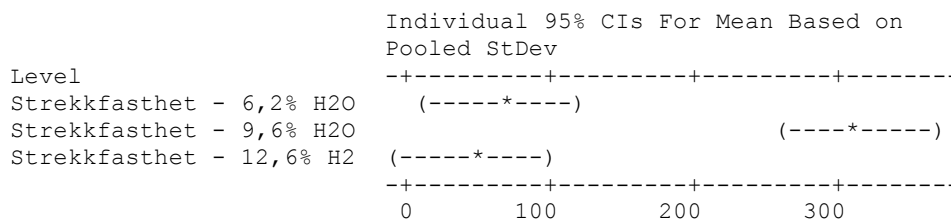
One-way ANOVA mhp. kompresjonstemperatur

Strekfasthet: LT

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	131578	65789	44,22	0,000
Error	6	8926	1488		
Total	8	140504			

S = 38,57 R-Sq = 93,65% R-Sq(adj) = 91,53%

Level	N	Mean	StDev
Strekfasthet - 6,2% H2O	3	65,27	6,45
Strekfasthet - 9,6% H2O	3	313,25	64,31
Strekfasthet - 12,6% H2	3	49,01	16,88



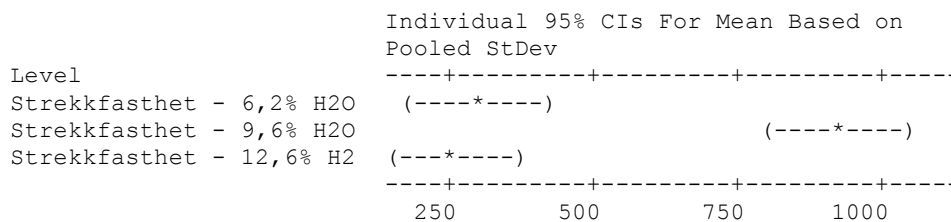
Pooled StDev = 38,57

Strekfasthet: MT

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	831162	415581	57,45	0,000
Error	6	43400	7233		
Total	8	874561			

S = 85,05 R-Sq = 95,04% R-Sq(adj) = 93,38%

Level	N	Mean	StDev
Strekfasthet - 6,2% H2O	3	294,2	39,9
Strekfasthet - 9,6% H2O	3	921,2	136,5
Strekfasthet - 12,6% H2	3	260,3	38,3



Pooled StDev = 85,0

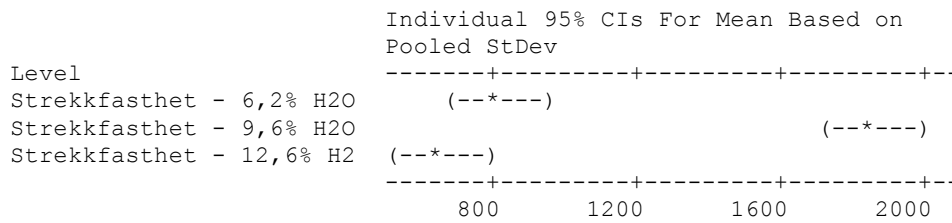
Strekfasthet: HT

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	2560356	1280178	132,47	0,000
Error	6	57984	9664		
Total	8	2618340			

S = 98,31 R-Sq = 97,79% R-Sq(adj) = 97,05%

Level	N	Mean	StDev
Strekfasthet - 6,2% H2O	3	811,7	71,1
Strekfasthet - 9,6% H2O	3	1856,8	146,3

Strekfasthet - 12,6% H2 3 655,3 50,4



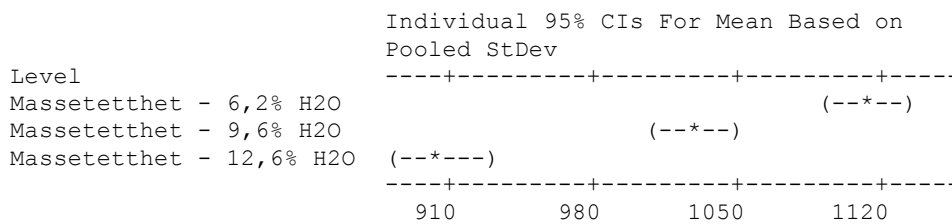
Pooled StDev = 98,3

Massetthet: LT

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	65425	32713	116,12	0,000
Error	6	1690	282		
Total	8	67115			

S = 16,78 R-Sq = 97,48% R-Sq(adj) = 96,64%

Level	N	Mean	StDev
Massetthet - 6,2% H2O	3	1113,7	17,5
Massetthet - 9,6% H2O	3	1029,7	2,9
Massetthet - 12,6% H2O	3	906,1	23,1



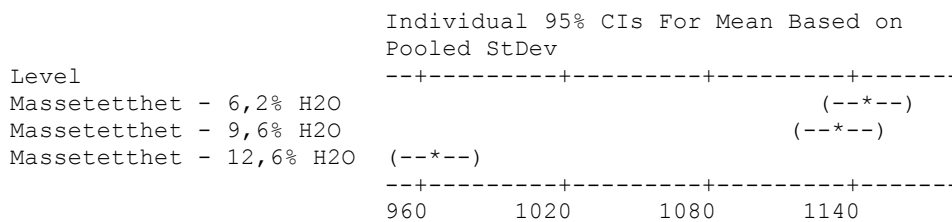
Pooled StDev = 16,8

Massetthet: MT

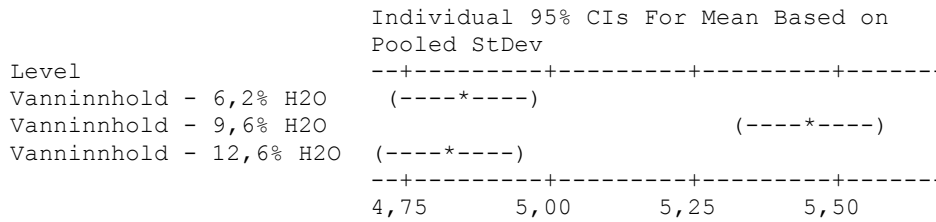
Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	58855	29427	201,84	0,000
Error	6	875	146		
Total	8	59729			

S = 12,07 R-Sq = 98,54% R-Sq(adj) = 98,05%

Level	N	Mean	StDev
Massetthet - 6,2% H2O	3	1144,0	14,7
Massetthet - 9,6% H2O	3	1132,7	9,5
Massetthet - 12,6% H2O	3	967,1	11,4



Pooled StDev = 12,1



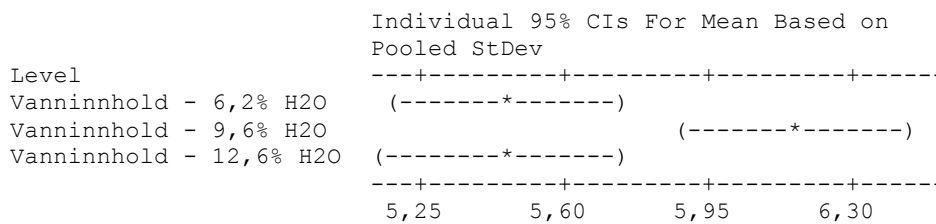
Pooled StDev = 0,0939

Vanninnhold tablett: HT

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	0,9736	0,4868	11,68	0,009
Error	6	0,2501	0,0417		
Total	8	1,2238			

S = 0,2042 R-Sq = 79,56% R-Sq(adj) = 72,75%

Level	N	Mean	StDev
Vanninnhold - 6,2% H2O	3	5,4631	0,0516
Vanninnhold - 9,6% H2O	3	6,1536	0,3418
Vanninnhold - 12,6% H2O	3	5,4489	0,0746

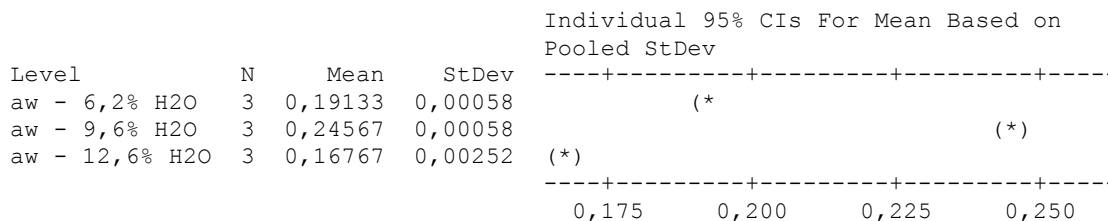


Pooled StDev = 0,2042

Vannaktivitet: LT

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	0,0095962	0,0047981	2056,33	0,000
Error	6	0,0000140	0,0000023		
Total	8	0,0096102			

S = 0,001528 R-Sq = 99,85% R-Sq(adj) = 99,81%



Pooled StDev = 0,00153

Vannaktivitet: MT

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	0,0152187	0,0076093	796,33	0,000
Error	6	0,0000573	0,0000096		
Total	8	0,0152760			

Energitetthet: MT

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	0,06379	0,03189	11,36	0,009
Error	6	0,01684	0,00281		
Total	8	0,08063			

S = 0,05298 R-Sq = 79,11% R-Sq(adj) = 72,15%

Level	N	Mean	StDev
Energitetthet - 6,2% H2O	3	4,6484	0,0819
Energitetthet - 9,6% H2O	3	4,4439	0,0306
Energitetthet - 12,6% H2	3	4,5233	0,0278

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Level	Lower CI	Upper CI
Energitetthet - 6,2% H2O	(-----*-----)	(-----*-----)
Energitetthet - 9,6% H2O	(-----*-----)	(-----*-----)
Energitetthet - 12,6% H2	(-----*-----)	(-----*-----)

4,40 4,50 4,60 4,70

Pooled StDev = 0,0530

Energitetthet: HT

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	0,00640	0,00320	1,91	0,228
Error	6	0,01004	0,00167		
Total	8	0,01643			

S = 0,04090 R-Sq = 38,91% R-Sq(adj) = 18,55%

Level	N	Mean	StDev
Energitetthet - 6,2% H2O	3	4,3995	0,0682
Energitetthet - 9,6% H2O	3	4,3352	0,0185
Energitetthet - 12,6% H2	3	4,3577	0,0047

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Level	Lower CI	Upper CI
Energitetthet - 6,2% H2O	(-----*-----)	(-----*-----)
Energitetthet - 9,6% H2O	(-----*-----)	(-----*-----)
Energitetthet - 12,6% H2	(-----*-----)	(-----*-----)

4,300 4,350 4,400 4,450

Pooled StDev = 0,0409

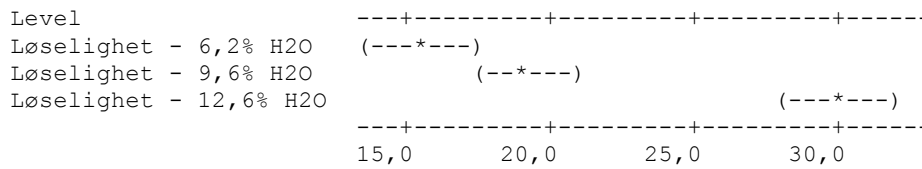
Løselighet: LT

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	334,04	167,02	88,74	0,000
Error	6	11,29	1,88		
Total	8	345,33			

S = 1,372 R-Sq = 96,73% R-Sq(adj) = 95,64%

Level	N	Mean	StDev
Løselighet - 6,2% H2O	3	15,558	0,214
Løselighet - 9,6% H2O	3	19,225	1,228
Løselighet - 12,6% H2O	3	29,919	2,023

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev



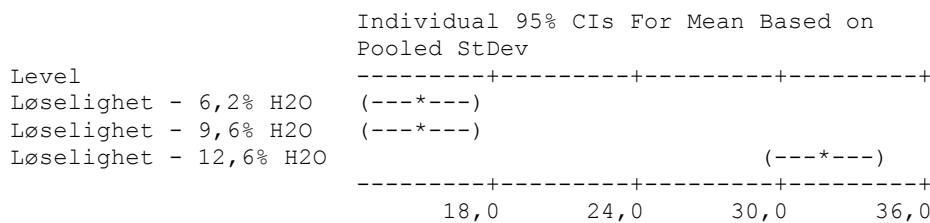
Pooled StDev = 1,372

Løselighet: MT

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	578,79	289,40	100,50	0,000
Error	6	17,28	2,88		
Total	8	596,07			

S = 1,697 R-Sq = 97,10% R-Sq(adj) = 96,14%

Level	N	Mean	StDev
Løselighet - 6,2% H2O	3	14,980	0,113
Løselighet - 9,6% H2O	3	14,936	1,059
Løselighet - 12,6% H2O	3	31,969	2,739



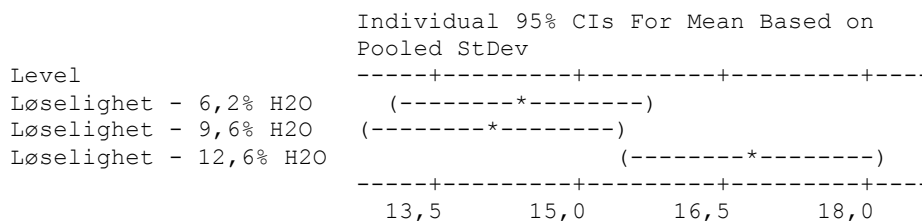
Pooled StDev = 1,697

Løselighet: HT

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	13,239	6,619	7,11	0,026
Error	6	5,590	0,932		
Total	8	18,829			

S = 0,9652 R-Sq = 70,31% R-Sq(adj) = 60,42%

Level	N	Mean	StDev
Løselighet - 6,2% H2O	3	14,406	0,155
Løselighet - 9,6% H2O	3	14,141	0,204
Løselighet - 12,6% H2O	3	16,836	1,652



Pooled StDev = 0,965

Energitap: LT

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	5,907	2,954	9,12	0,053
Error	3	0,972	0,324		
Total	5	6,879			

S = 0,5692 R-Sq = 85,87% R-Sq(adj) = 76,45%

Level	N	Mean	StDev
Energitap - 6,2% H2O	2	2,0611	0,2159
Energitap - 9,6% H2O	2	2,9940	0,9607
Energitap - 12,6% H2O	2	0,5839	0,0490

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Level	Lower CI	Upper CI
Energitap - 6,2% H2O	1,6311	2,4911
Energitap - 9,6% H2O	1,0333	2,9547
Energitap - 12,6% H2O	0,5349	0,6329

Pooled StDev = 0,5692

Energitap: MT

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	27,12	13,56	11,36	0,009
Error	6	7,16	1,19		
Total	8	34,28			

S = 1,092 R-Sq = 79,11% R-Sq(adj) = 72,15%

Level	N	Mean	StDev
Energitap - 6,2% H2O	3	4,157	1,689
Energitap - 9,6% H2O	3	8,374	0,632
Energitap - 12,6% H2O	3	6,735	0,573

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Level	Lower CI	Upper CI
Energitap - 6,2% H2O	2,4681	5,8459
Energitap - 9,6% H2O	7,7420	9,0068
Energitap - 12,6% H2O	6,1620	7,3080

Pooled StDev = 1,092

Energitap: HT

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	2,719	1,359	1,91	0,228
Error	6	4,268	0,711		
Total	8	6,987			

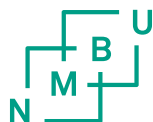
S = 0,8434 R-Sq = 38,91% R-Sq(adj) = 18,55%

Level	N	Mean	StDev
Energitap - 6,2% H2O	3	9,288	1,407
Energitap - 9,6% H2O	3	10,615	0,382
Energitap - 12,6% H2O	3	10,151	0,096

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Level	Lower CI	Upper CI
Energitap - 6,2% H2O	7,8811	10,6949
Energitap - 9,6% H2O	10,2330	10,9970
Energitap - 12,6% H2O	10,0551	10,2469

Pooled StDev = 0,843



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

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