

Betydning av variasjon i fiskemelets fysiske og kjemiske egenskaper på ekstruderingsprosessen, forklaring av stivelse og fysisk kvalitet på fiskefôr

T.A. Samuelsen^a, S.A. Mjøs^{a,b}, Å. Oterhals^a

^aNofima, Kjerreidviken 16, 5141 Fyllingsdalen

^bKjemisk institutt, Universitetet i Bergen, Allégt. 41, 5020 Bergen

1. Innledning

Den fysiske kvaliteten til fiskefôret har de siste år blitt viktigere på grunn av økt bruk av bulktransport og pneumatiske utfôringssystemer. Denne tøffe behandlingen utsetter fôret for mekanisk belastning som kan føre til knusing og produkttap. Fôr til laks produseres ved bruk av ekstruderings teknologi. Ekstrudering er en termisk prosess som medfører komplekse kjemiske og fysiske endringer i fôrråvarene for å oppnå ønskede produkt egenskaper. Den fysiske pelletkvaliteten kan styres og forbedres ved tilsetning av stivelse og andre bindemidler kombinert med justering av vann, damp og mekanisk energi i ekstruderingsprosessen.

Proteinene i fôrmiksen vil også bidra til bindingsnettverk og styrke i fôret. Et eksempel på en proteinkilde som påvirker den fysiske kvaliteten av ekstrudert fôr er fiskemel. Det finnes lite informasjon om hvordan variasjonen i fiskemelets fysiske og kjemiske egenskaper påvirker den fysiske pelletkvaliteten. Ny kunnskap på dette området kan hjelpe fôrprodusentene til å få bedre kontroll over ekstruderingsprosessen og dermed sikre en uniform og høy fysisk produktkvalitet. Dette vil ha positive økonomiske og miljømessige effekter som følge av redusert repressering på fôrfabrikk og lavere utslipp av næringsstoffer (knust pellet) til sjø rundt oppdrettsanlegg.

2. Mål

Hovedmålet for studiet var å identifisere fysiske og kjemiske egenskaper til fiskemel som påvirker ekstruderingsprosessen, stivelsesforklaring, pellet durabilitet og hardhet. De underliggende mekanismene for disse funnene blir diskutert.

3. Gjennomføring

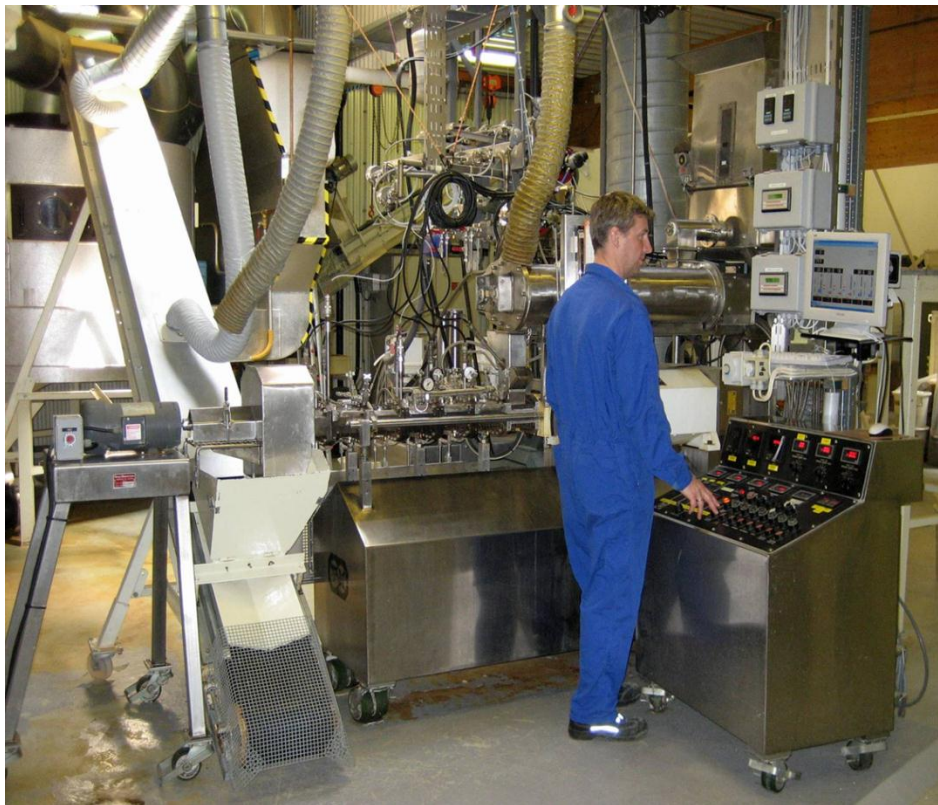
Femten ulike fiskemel ble produsert fra fersk norsk vårgytende sild (*Clupea harengus*) på tre forskjellige fabrikker i Norge. Alle melene ble tørket ved lav temperatur i henhold til spesifikasjon for Norse-LT 94®. Innholdet av vannløselig protein i melene ble justert ved å variere forholdet mellom presskake og limvannkonsentrat før tørking.

En rekke analyser ble utført på fiskemelene. Foruten standard kjemiske analyser som tørrstoff, råprotein, fett, aske, og salt ble melene også analysert for pH, olje- og vannbindingskapasitet, hydrolysegrad og vannløselig protein. Peptidstørrelsesfordelingen i den vannløselige proteinfasen ble også bestemt. Den ikke-vannløselige proteinfasen ble definert som differansen mellom råprotein og vannløselig protein. Fysiske målinger som partikkelstørrelsesfordeling, støvfraksjon, bulk tetthet og flyttall ble også gjennomført. Flyttallet fremkommer ved at man drysser fiskemel på toppen av en sylinder og en kjele av melet bygger seg opp. Når kjeglen er stabil måles høyden. Både flyttallet og bulk tetthet sier noe om strukturen/fibrigheten til fiskemelet. Det ble observert store variasjoner i de kjemiske og fysiske egenskapene for de fremstilte fiskemelene.

Femten fôrblandinger ble laget, som hver inneholdt et av fiskemelene som viktigste proteinkilde (≈74%). Det ble også tilsatt standardisert nivå av sammalt hvete (≈20%). Blandingen inneholdt i tillegg fiskeolje, vitamin- og mineralblanding samt astaxanthin.

Hver av de femten blandingene ble prosessert i henhold til forhåndsdefinerte, standardiserte ekstruderings-, tørke- og fettpåsprutingsbetingelser. Blandingene ble ekstrudert ved Nofima sitt fôrteknologisenter i Bergen ved bruk av en Wenger TX-52, co-roterende, dobbeltskrueekstruder med lavskjær skrueprofil og 7 mm dyseåpning. Ekstrudatene ble deretter tørket til et vanninnhold på $\approx 7\%$ og fettpåsprutet (fiskeolje, $\approx 27\%$) før analyse av hardhet og pneumatisk durabilitet. Motorlasten i ekstruderen ble målt kontinuerlig og spesifikk mekanisk energi beregnet. Forklistret stivelse ble analysert på fuktig ekstrudat fra utløp av ekstruderen.

For å studere hvordan variasjonen i de kjemiske og fysiske parametrene i fiskemelene påvirket spesifikk mekanisk energi, stivelsesforklistring, pellet durabilitet og hardhet ble det brukt multivariat regresjonsteknikk (partial least squares regression).



Ekstruderanlegg for produksjon av fiskefôr (Foto: Tor A. Samuelsen)

4. Resultater og konklusjoner

Variasjonen i de fysiske og kjemiske egenskapene til fiskemelene resulterte i et stort spenn i de målte ekstruder og pelletparametrene. Spesifikk mekanisk energi varierte fra 9-21 Wh/kg og andel forklistret stivelse fra 42-85%. Pneumatisk durabilitet og hardhet var positivt korrelerte. Hardhet hadde normalfordelte verdier og varierte fra dårlig til høy fysisk pelletkvalitet (5-133 Newton). Pneumatisk durabilitet varierte fra 0-100%, men hadde enten lave eller høye verdier. Hardhet var derfor bedre egnet for å brukes i den multivariate modellen enn pneumatisk durabilitet.

4.1. Modellering av spesifikk mekanisk energi, stivelsesforklistring og hardhet

Det var mulig å lage multivariate modeller for spesifikk mekanisk energi, stivelsesforklistring og hardhet ($R^2 = 0,91-0,97$) basert på et utvalg signifikante ($p < 0,05$) fysiske og kjemiske fiskemelparmetre.

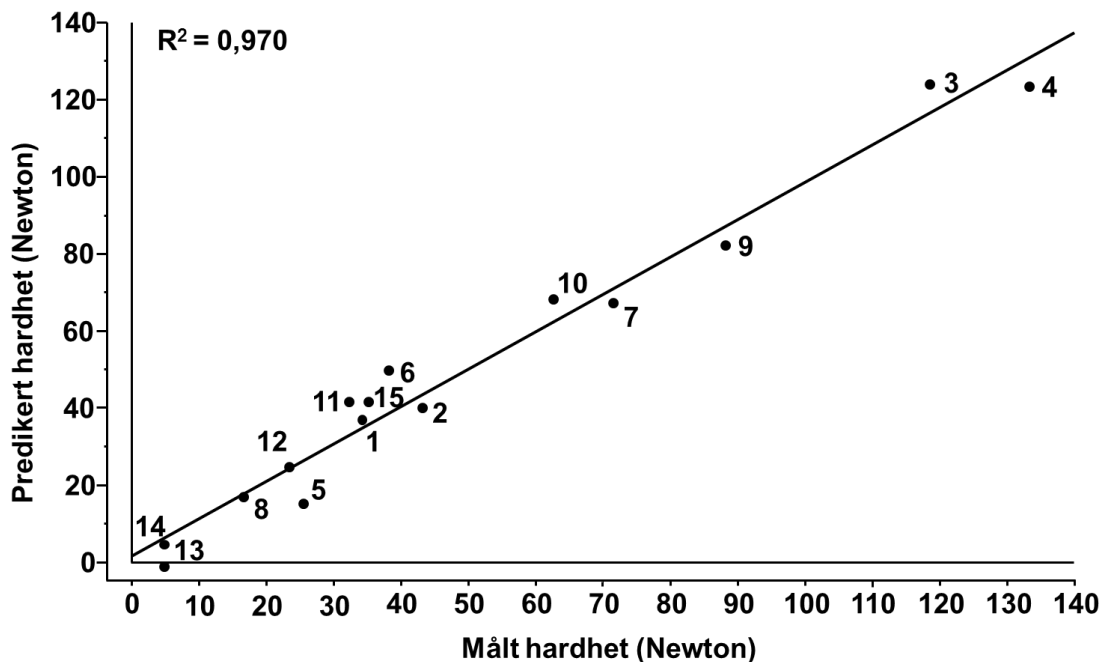
4.1.1 Spesifikk mekanisk energi og stivelsesforklistring

En reduksjon i fiskemelets partikkelstørrelse kombinert med økt flyttall hadde en positiv påvirkning på spesifikk mekanisk energi. Flyttallet inneholder informasjon om strukturen til fiskemelet og en høy verdi reflekterer høyt innhold av fibrige og/eller små partikler i melet. Økt nivå av små og fibrige partikler i fôrblendingen gir økt partikkel til partikkel kontakt i ekstruderen og dermed høyere skjærbelastning og spesifikk mekanisk energi.

En reduksjon i fiskemelets vannbindingskapasitet hadde en positiv effekt for både spesifikk mekanisk energi og stivelsesforklistring. Vannbindingskapasiteten er et mål for evnen et fiskemel har til å adsorbere og binde vann. Fiskemel- og stivelsespartiklene vil konkurrere om vannet i prekondisjoner og ekstruder. Et fiskemel med lav vannbindingskapasitet vil adsorbere mindre fuktighet og dermed gi mer tilgjengelig vann til stivelsespartiklene. Dette kan resultere i økt forklistring. Økt hydrolysegrad hadde en positiv påvirkning på både spesifikk mekanisk energi og stivelsesforklistring. Hydrolysegraden reflekterer hvor mye av proteinene i fiskemelet som er nedbrutt. Små peptider og aminosyrer kan ha en positiv plastifiserende (mykgjørende) effekt sammen med vann. Kombinert vil effekten av redusert vannbindingskapasitet og økt hydrolysegrad gi økt stivelsesforklistring. Dette vil øke viskositeten til fôrmassen i ekstruderen og gi et positivt bidrag til overføring av spesifikk mekanisk energi.

4.1.2 Pneumatisk durabilitet og hardhet

Vi har i flere studier på Nofima observert at tilsetning av vannløselige proteiner i en fôrblending før ekstrudering forbedrer pneumatisk durabilitet og hardhet. Den positive effekten av vannløselige proteiner ble også observert i dette studiet og kan forklares av to ulike mekanismer: kryssbinding av store vannløselige polypeptider og en plastifiserende (mykgjørende) effekt av små vannløselige peptider og aminosyrer. Den utviklede multivariate modellen viser en høy grad av korrelasjon mellom observerte og predikerte verdier.



Multivariat modell for hardhet. Målte mot predikerte verdier for fôr produsert fra de 15 ulike fiskemelene.

Limvann fra fersk sild har høyt gelatininnhold. De høymolekylære fraksjonene påvist i den vannløselige proteinfasen samsvarer med fiskegelatin og har i dette studiet gitt en positiv effekt på hardhet. Gelatin sveller lett og oppløses i nærvær av varme og fuktighet. Ved nedkjøling dannes det kryssbindinger som er med på å gi tekstur og styrke i ekstrudert fôr.

For at fôrmassen skal kunne presses gjennom dysene i utløpet på en ekstruder må den overføres til en flytende masse (smelte) gjennom tilførsel av mekanisk og termisk energi og vann. Vann og andre plastifiserende forbindelser reduserer smelteovergangstemperaturen til fôrmassen i ekstruderen ved å øke den molekylære mobiliteten til biopolymerene. Dette gjør at man trenger mindre energi for å omdanne fôrmassen til en smelte og vil dermed øke effektiviteten til ekstruderen. Funn i dette studiet indikerer at også små vannløselige peptider og aminosyrer som finnes i fiskemelet har en plastifiserende effekt.

Økt nivå av den ikke-vannløselige proteinfasen ga redusert hardhet. En større mengde av denne proteinfasen er et resultat av redusert mengde vannløselig protein i fiskemelet. Den observerte negative effekten av den ikke-vannløselige proteinfasen kan derfor tilskrives mangelen på effektive plastifiserende komponenter i fôrmassen, det vil si underskudd av små vannløselige peptider og aminosyrer. Klarer man kun å smelte deler av fôrmassen i ekstruderen vil man fortsatt ha partikler igjen i ekstrudatet som forlater ekstruderen. Blir andelen av partikler i ekstrudatet høy vil dette resultere i dårlig fysisk kvalitet på det ferdige fôret.

En økning i saltnivået i fiskemelet kombinert med redusert pH-verdi ga økt hardhet. Proteiner er ladede molekyler. I det fuktige miljøet i ekstruderen vil de elektrostatiske interaksjonene være viktige og vil bli påvirket av oppløselige salter og pH.

En reduksjon i fiskemelets vannbindingskapasitet hadde en positiv effekt på spesifikk mekanisk energi, stivelsesforklistring og hardhet. Som beskrevet overfor under 4.1.1 gir redusert vannbindingskapasitet økt stivelsesforklistring og dermed også en økning i spesifikk mekanisk energi. Slike effekter er med på å øke effektiviteten i ekstruderen og vil dermed også kunne øke pneumatisk durabilitet og hardhet.

4.2 Praktisk bruk av resultatene

Høy fysisk fôr kvalitet er anbefalt for bruk i pneumatiske utføringssystemer. Fôrprodusenter som bruker ekstrudere med lavskjær skrueprofiler (eks. enkeltskrueekstrudere) bør unngå bruk av presskamel, dvs. fiskemel med svært lavt nivå av vannløselig protein. Ved produksjon av fiskemel er det viktig at hele den vannløselige proteinfraksjonen blir ført tilbake til presskaken før tørking. Både nivået og størrelsesfordelingen i den vannløselige proteinfraksjonen kan ha innvirkning på fysisk fôr kvalitet. For et bestemt fiskemel kan dette avhenge av prosessbetingelser, råstofftype og kvalitet. Et finformalt fiskemel med en fibrøs struktur kan i enkelte tilfeller være nyttig å bruke for å øke den spesifikke mekaniske energien og derved øke effektiviteten til ekstruderen.

Prosjektet har dokumentert for første gang at fiskemel er en kompleks proteiningrediens som påvirker ekstruderingsprosessen, stivelsesforklistring og fysisk pelletkvalitet. Fiskemel blir kjøpt basert på et begrenset antall kjemiske og biologiske spesifikasjoner: Totalt og vannløselig protein, tørrstoff, fett, aske, salt, flyktig nitrogen, biogene aminer og fordøyelig protein. Dette studiet viser at disse spesifikasjonene ikke er tilstrekkelig til å beskrive den tekniske kvaliteten på et fiskemel.