



En grønnere opdrætsfisk

- om matematik, tørring og fiskefoder

↑ Det er vigtigt at foderet når ud til fiskene og fordøjes i deres maver fremfor at synke for hurtigt til bunds eller at blive til smulder i overfladen.

Tørring af fiskefoder forbruger årligt på verdensplan energi svarende til elforbruget i 600.000 husstande. Bevæbnet med fysik og matematiske modeller forsøger artiklens forfatter at afkode, hvordan fiskefoder kan tørres på den mest energieffektive måde til fordel for miljøet og producentens bundlinje.

Et kritisk blik på energiforbruget bliver en stadig vigtigere konkurrenceparameter for virksomheder i en verden med stigende brændstofpriser samt skatter og afgifter, der er indført for at begrænse udledningen af CO₂. Helt ny og innovativ teknologi kan selvfølgelig være den langtidsholdbare løsning. Men nu og her er det ofte effektivisering af den eksisterende teknologi, der kan gøre en forskel for både miljøet og virksomhedernes bundlinje. Et sted, hvor der kan være store energigevinster at hente, er i produktionen af fiskefoder.

Der produceres årligt på verdensplan knap 50 mio. tons foder til fiskeopdræt, og det forventes i 2020 at være steget til 70 mio. tons for at kunne følge med efterspørgslen efter animalsk protein. I dag udgøres ca. 7 % af kosten af animalsk protein på verdensplan af opdrætsfisk. Som et led i produktionen af fiskefoder sænkes foderets vandindhold ved tørring med varm luft. Det sikrer foderets holdbarhed og reducerer transportomkostninger. Bagsiden er et meget stort energiforbrug.

Det termiske energiforbrug ved produktion af 1 ton foder til opdrætsfisk er i gennemsnit 186 kWh, hvoraf mindst 60 % kan tilskrives tørreprocessen. Det giver et årligt energiforbrug på 5,8 mia. kWh

– svarende til elforbruget i rundt regnet 600.000 parcelhuse. CO₂-udledningen herfor er omkring 1,2 mio. tons. Der er altså rigtig god grund til at kigge nærmere på tørreprocessen. Vi kan selvfølgelig ikke ændre på, at fysikkens love siger, at det kræver ca. 2.400 kJ at fordampe 1 kg vand. Men hos mange foderproducenter udgør dette dog kun halvdelen af energien til tørring – den samme mængde ryger i skorstenen sammen med den varme afgangsluft!

Miljø, kvalitet og økonomi i samspil

Mangel på viden og opmærksomhed på tørreprocessen giver ikke kun producenterne en høj gasregning. Tørreprocessen har også stor indflydelse på den tekniske kvalitet og holdbarheden af fiskefoderet. Hvis foderet går i stykker under transport til opdrætter ender det i bedste fald som tabt fortjeneste for fiskeopdrætteren og i værste fald som forurening af hav- og ferskvandsmiljøerne, hvor opdrætterne drives. 1 % spild foranlediger årligt udledning af op mod 500.000 tons organisk materiale, heraf omkring 5.000 tons organisk fosfor, udover altså en tabt fortjeneste på omkring 2,5 mia. kr.

Den vejlelsiske virksomhed Graintec A/S beskæftiger sig med design, rådgivning, installation og vedligehold af procesanlæg til produktion af fiske-



Forfatter

Anders Fjeldbo Haubjerg,
erhvervs-ph.d.,
Graintec A/S og
Syddansk Universitet
afh@graintec.com



foder og kæledyrsmad. De søsatte i fjor, i samarbejde med Syddansk Universitet, et erhvervs-ph.d.-projekt, der skal kaste lys over sammenhænge mellem de styrende parametre i tørreprocessen, energieffektivitet og den endelige tekniske kvalitet, herunder foderets mekaniske holdbarhed. Og her kommer jeg så ind i billedet som civilingeniør i kemi og nyslået ekspert i tørring.

Planter som fiskefoder

Som erhvervs-ph.d. hos Graintec opdagede jeg hurtigt, at der virkelig er sket et skifte i dambrugsbranchen. Faldende fiskekvoter og stigende kontrol med overfiskeri har sat prisen på fiskemel i vejret med mere end 300 % siden 1995. Det har affødt stor fokus på at bruge alternative proteinkilder. Mængden af fiskemel fra lavværdi-fisk (som tobis, brisling og ansjos) er de seneste to årtier faldet fra omkring 24 % til knap 10 %. I 2020 forventes det, at fiskefoder gennemsnitlig kun udgøres af 5 % fiskemel. I dag består fiskefoder således bl.a. af sojabønner, gluten, hvede, bønner, ærter, rapsolie, solsikkeolie og fiskeolie. Råvarerne formales og koges i damp ved højt tryk i en stor trykkoger, en såkaldt "ekstruder". Herved gøres stivelse og protein i foderet tilgængeligt for fisken samtidig med, at pillerne får deres form. Pillerne skal herefter tørres, primært for at sikre, at fode-

ret ikke mugner. Efter tørringen bliver pillerne coatet med olie og kølet, så de er klar til at pakke og sende ud til dambrugene.

Matematik og fysik på arbejde

Tørringen af fiskefoder sker med varm luft, der sendes gennem foderet, som oftest ligger på transportbånd i lag på ca. 15-40 cm. Ved passage gennem et lag af foderpiller sker der transport af vand fra overfladen af pillerne til tørreluften, som herefter afkøles. Det betyder, at piller øverst i laget til enhver tid bliver udsat for forhold, der er forskellige fra piller, der ligger nederst i et lag. Det kompliceres yderligere af, at den våde luft ofte recirkuleres og blandes med den friske luft, inden den igen opvarmes. For at imødekomme uensartethed i tørrelaget benytter tørreproducenterne ofte mere end ét lag. En tørrer består således ofte af flere transportbånd oven over hinanden, så produktet omfordeles imellem hver passage ved et fald til det underliggende bånd. Ofte har transportbåndene forskellige hastigheder, så tykkelsen på lagene varierer. Det er også normalt at benytte flere tørre-zoner, hvor opholdstid, luftmængde, luftretning, temperatur og fugtighed kan variere. Sagt med andre ord, så bliver konsekvenserne af at ændre få indstillinger i tørreprocessen hurtigt uoverskuelige. På flere foderfabrikker styres tørrerne i bedste

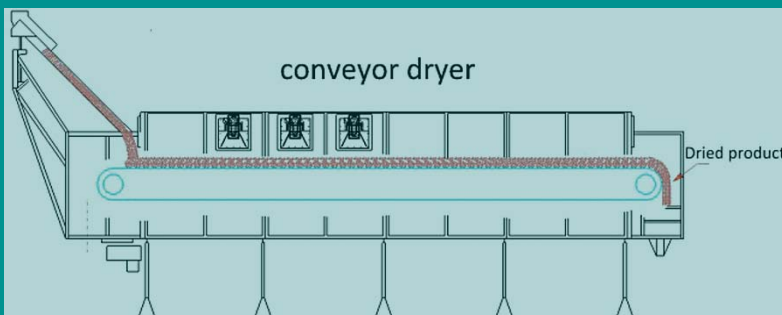
↑ Norge er én af verdens største eksportører af laks. Her ses et af mange lakseopdræt langs den Norske kyst.

Foto: Colourbox

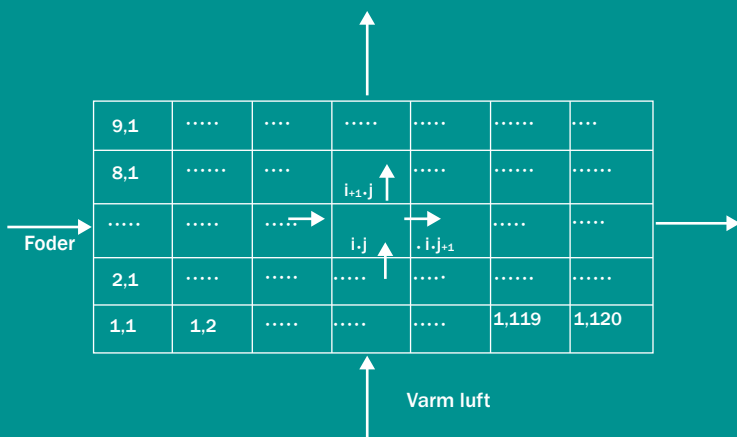


Den atlantiske laks er populær spise overalt i verden. Laksen er kødæder og skal i et opdræt derfor have proteinrig kost.

Foto: Graintec A/S



Principskitse af en horisontal båndtørrer med ét bånd og én tørrezone. Tørrerne har normalt mindst 2 bånd og ofte mere end 4 zoner med forskellig temperatur, luftfugtighed og luftflow.



Principskitse af en tørrer inddelt i småbitte bidder. Dette er basis for formulering af en matematisk model for tørreprocessen.

fald på lufttemperaturen, hvilket ofte er en ineffektiv løsning, der kan påvirke kvaliteten af produktet negativt.

Jeg har arbejdet med at opstille en matematisk model af tørreprocessen, idet man herved kan forudsige vandindhold og temperatur i pillerne og i luften i ethvert punkt gennem laget og til enhver tid efter tørringens start. Det kan være et uoverskueligt arbejde at skulle formulere en sådan model, men hvis man starter med at inddele tørreren i småbitte bidder hjælper det en del. Metodikken har herefter været at opstille balancer for hver lille bid af tørreren. Jeg er efterhånden ved at nå i mål med skelettet til modellen, som involverer en lang række koblede differentialligninger i 3 dimensioner. Det kan lyde lidt kompliceret, men håndgribeligheden skulle gerne komme til udtryk ved, at man med nogle få klik fx kan undersøge, om energiforbruget for en stor industriel tørrer kan optimeres til fx 10 ton foder i timen. Det kan man rigtig ofte. Producenterne er bare ofte bange for at ændre på indstillingerne af frygt for foderets kvalitet.

Årsagssammenhæng i fokus

Dårlig kvalitet af foderet kan komme til udtryk ved, at foderet ikke synker, synker for hurtigt, opløses i vandet eller smuldrer under den lange transportvej. Jeg har oplevet, at man forsøger at undgå disse problemer ved at hæve temperaturen og/eller sænke fugtigheden af luften. Men det har ingen dokumenteret effekt – snarere tværtimod – og så sender det energiforbruget yderligere i vejret.

Det er en vanskelig opgave at inkludere hensyn til foderets kvalitet i en matematisk model af den simple årsag, at det er svært at kvantificere kvalitet og endnu sværere at kæde dette sammen med pillernes strukturelle beskaffenhed og indstillingerne i tørreren. Det har derfor været nødvendigt at slutte sig til en række mulige årsagssammenhænge. Altså, hvordan forskellige tørreindstillinger vil medføre givne kemiske eller fysiske processer, der igen vil resultere i nogle strukturelle og mekaniske egenskaber af pillerne, som vi i sidste ende kan finde kvaliteten af. Bedømmelsen af kvalitet sker i industrien oftest ved fx at trykke på dem og måle brudstyrken eller at måle mængden af smuld efter, at pillerne har opholdt sig i en roterende kasse i noget tid. Et tilbagevendende problem har været, at skridtet tilbage til betydningen af tørreindstillingerne er for stort til, at man kan kvantificere og forudsige deres betydning i en model.

Mango og rødbeder som inspiration

På en "tørre-konference" i Kina blev jeg opmærksom på, at man i fødevarerbranchen ofte bruger såkaldte teksturprofilanalyser for at bedømme fx

sprødhed af æbler, mundfylde af rødbeder eller modenhed af mangoer efter forskellige indstillinger i tørreprocessen.

Jeg har overført denne type analyser til fiskefoder – ikke for at bedømme hverken mundfylde eller modenhed, men simpelthen for at kunne nuancere de strukturelle forhold i foderet. Her ved er det lykkedes os at finde en ny sammenhæng mellem holdbarhed af foderet (fx ved transport) og foderets strukturelle egenskaber. Det har vist sig, at foderet skal have en såkaldt stiv viskoelastisk karakter for at have en høj holdbarhed. Dvs. det skal kunne give sig, når det bliver trykket på og vende tilbage til den oprindelige form, når trykket ophører. Eksempelvis har en vingummi-bamse blød viskoelastisk karakter. Denne karakterisering kan hjælpe os med at komme dét skridt længere tilbage i årsagskæden, der gør, at vi kan inkludere nogle unikke kemiske og fysiske processer, der vil have stor indflydelse på viskoelasticiteten af et materiale. Det kan fx være karamellisering af overfladesukker og nok i særdeleshed “glasovergang” gennem pillen, som er en proces, der i nogen udstrækning beskriver hærningen af et materiale, heraf navnet fra glasindustrien.

Fra teori til praksis

Selv de mest komplicerede matematiske modeller er kun så gode som deres evne til at gengive virkeligheden. Derfor har vi sikret et samarbejde med en amerikansk producent af tørreudstyr, så vi kan verificere tørremodellen og vores teorier omkring indflydelsen af tørreprocessen på den tekniske kvalitet af pillerne. Den amerikanske tørreproducent er derfor i fuld gang med at bygge en lille tørrer i laboratorieskala til os. I den vil vi kunne overvåge alt omkring tørringen og reelt gengive en tørreproces i fuld industriel skala. På den måde skulle det gerne sikres, at det stykke værktøj, vi i sidste ende kan præsentere, giver et retvisende billede af tørreprocessen og den indflydelse alle indstillingerne i tørreren har på både energieffektivitet og på den endelige tekniske kvalitet af fiskefoderet.

Samfundsdebatten kredser ofte omkring omlægning til alternative energiformer for at nedsætte CO₂-udledningen og bremse klimaforandringerne. Men det er ikke alle industrier, hvor det er realistisk at fremstille produkter på vedvarende energi, og da slet ikke endnu. Derfor gælder det ofte om at plukke de lavthængende frugter ved at effektivisere, så man kan strække ressourcerne længst muligt. Det giver et naturligt fokus på effektiviseringsprojekter som dette. I sidste ende er det jo også nærliggende at håbe på, at projektet kan finde anvendelse i andre industrier, hvor tørring er en central del af processen, fx ved tørring af kæledyrsmad, træ, korn, gødning osv. ■



Industrielle varmluft-tørrere er ofte mere end 12 meter lange og 5 meter høje. Tørreprocessen står for mere end 60 % af det termiske energiforbrug ved produktion af fiskefoder.



Eksempel på foderpiller. De er ikke store.

Foto: Graintec A/S

Videre læsning

FAO, The State of World Fisheries and Aquaculture 2012.

M.E. Katekawa, M.A. Silva, On the influence of glass transition on shrinkage in convective drying of fruits: A case study of banana drying. *Drying Technology* 25, 10 (2007), 1659-1666.

M.E. Katekawa, M.A. Silva, A review of drying models including shrinkage effects, *Drying Technology* 24, 1 (2006), 5-20.

M. Sorensen, A review of the effects of ingredient composition and processing conditions on the physical qualities of extruded high-energy fish feed as measured by prevailing methods, *Aquac. Nutr.* 18, 3 (2012), 233-248.

M. Thomas, D.J. van Zuillichem, A.F.B. van der Poel, Physical quality of pelleted animal feed. 2. contribution of processes and its conditions, *Anim. Feed Sci. Technol.* 64, 2-4 (1997), 173-192.