

ScanRef, nr.2 2004, Norge

Atmosfærisk frysetørking med varmepumpe

- Nye produktmuligheter

Trygve M. Eikevik¹, Ingvald Strømmen²

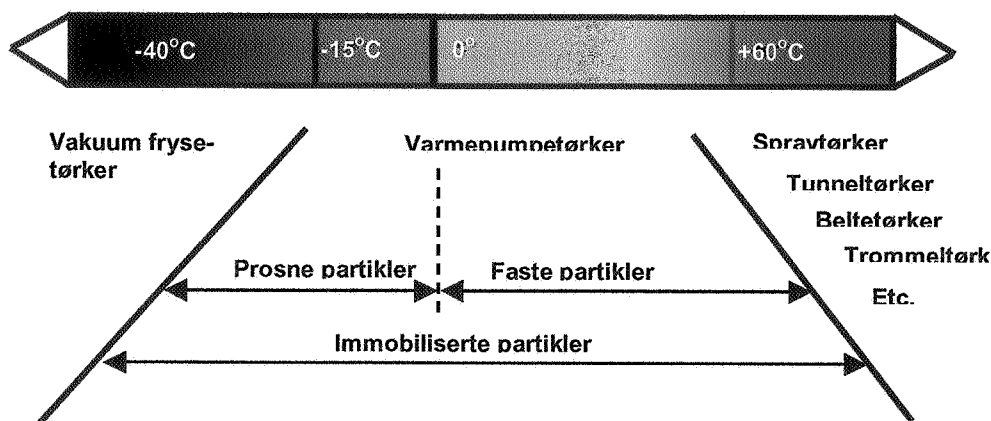
¹SINTEF Energiforskning AS, Trondheim, Norge; E-mail: trygve.m.Eikevik@sintef.no

²Norges Teknisk- Naturvitenskapelige Universitet, Trondheim, Norge; E-mail: Ingvald.strommen@ntnu.no

INTRODUKSJON

Ved produksjon av tørkede ingredienser i forskjellige retter som supper, frokostblandinger etc., finner vi i dag to dominerende teknologier; varmluftstørker og vakuumpumpe frysetørking. Varmluftstørkene opererer ved temperaturer mellom 60°C til 90°C og er direkte varmet. Disse har lave kostnader til investering og produksjon, men gir redusert kvalitet. Ved vakuumpumpe frysetørking er utstyret en langt dyrere investering og har lengre tørketid, men gir høyere kvalitet på produktet.

Det er utviklet ny teknologi der tørken er kombinert med varmepumpe. Dette gir betydelig lavere produksjonskostnader enn vakuumpumpe frysetørking, men vil kunne gi lignende kvaliteter for produktet. Fokus har vært rettet mot design, dimensjonering og drift av slike varmepumpetørker og som bruker ulike temperaturprogram med kombinasjoner over og under produktets frysepunkt som vist i figur 1. Ved å bruke varmepumpe i kombinasjon med tørker kan temperatur og relativ fuktighet tilpasses til det aktuelle produkt og produkttegenskaper som markedet etterspør. Teknologien sparer energi og er mer miljøvennlige enn direkte oppvarmede tørker. Varmefølsomme produkter kan tørkes med tilpasset temperatur. Flere produkter har blitt tørket i laboratorieanlegg som fiskeprodukter, frukter, grønnsaker og meieriprodukter. Disse produktenes kvalitet og egenskaper kan kontrolleres gjennom tørkeprosessen som for eksempel farge, smak, tetthet og rehydrering. Ved å benytte ulike temperaturprogram og variere tørketid kan atmosfærisk frysetørking påvirke de ulike kvalitetsparametere. Generelt sett vil tørking med temperaturer under produktets frysepunkt og den tiden denne tørkingen foregår ved, kunne redusere krympning av produktet og som igjen gir en høyere rehydrerings indeks (raskere rekonstituering av produktet ved tilførsel av vann).



Figur 1. Temperaturområde for varmepumpetørker

PRINSIPP

Varmepumpetørker er attraktive for prosessering av varmefølsomme materialer siden tørkebetingelsene er enkle å styre. Bortsett fra å være energisparende er denne type tørker en miljøvennlig teknologi siden den har et lukket kretsløp. I Norge er den blitt industrialisert for tørking av klippfisk og for tørking av eplebiter. I tillegg har en med stor suksess tørket ulike typer av fiskeprodukter, fiskefor, frukt, grønnsaker, meieriprodukter, biologiske og andre aktive og varmefølsomme materialer. Tørking med temperaturprogram fører til høyere kvalitet på sluttproduktet som kan beskrives med hardhet, porøsitet, tetthet, rehydrering, farge, aroma og andre egenskaper.

Figur 2 viser en skjematisk en varmepumpetørke med fluid bed. Tørkekretsen er lukket og tørkeluften blir avfuktet i en luftkjøler. Energien som tas ut fra tørkeluften blir tilført tørkeluften igjen i luftvarmeren. En får da riktig temperatur og relativ fuktighet på luften inn til tørkekammer. Energi som brukes til å drive kompressor og vifte må kjøles bort i en ekstern varmeveksler. Senking eller økning i temperaturnivå i tørken reguleres gjennom andel varmemengde som fjernes eller tilføres i de to interne varmevekslerne inne i tørkekretsen. Systemet gir en kontrollert luftkvalitet ved innløp til tørkekammer. Tørken opereres etter adiabatisk tørkeprinsipp. Det er også mulig å lage en ikke-adiabatisk tørke (tilnærmet isotherm tørking) hvor varme tilføres i selve tørkekammeret. Avhengig av produktet som skal tørkes og temperaturnivå vil en kunne øke tørkekapasiteten for tørken med fra 250 til 400%.

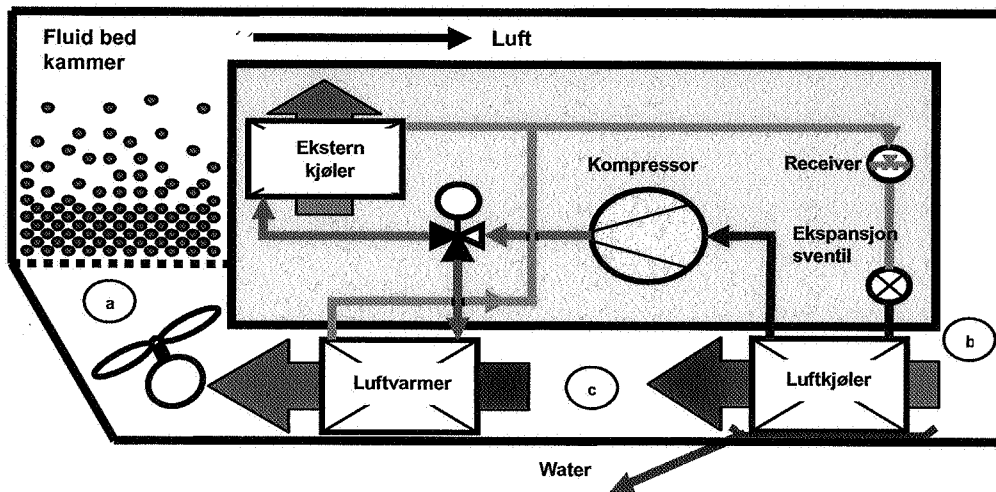


Figure 2. Skisse av en fluid bed varmepumpetørke

Fordelene med varmepumpetørker er:

- Lav energiforbruk grunnet høy SMER (Specific Moisture Extraction Rate) som bestemmes ved følgende formel:

$$SMER = COP / (dh/dx) \quad [\text{kg vann/kWh}] \quad (1)$$

$$COP = Q_o / W \quad [-] \quad (2)$$

Typiske verdier for SMER er fra 2 til 5 avhengig av tørketemperatur.

- Tørkebetingelser kan reguleres med temperaturer mellom -20°C til 110°C . Kvalitetsparametere kan kontrolleres pga lave temperaturer og delvis frysetørking ved atmosfærisk trykk.
- Teknologien er miljøvennlig pga resirkulering av tørkeluft og høy termisk effektivitet for tørken.

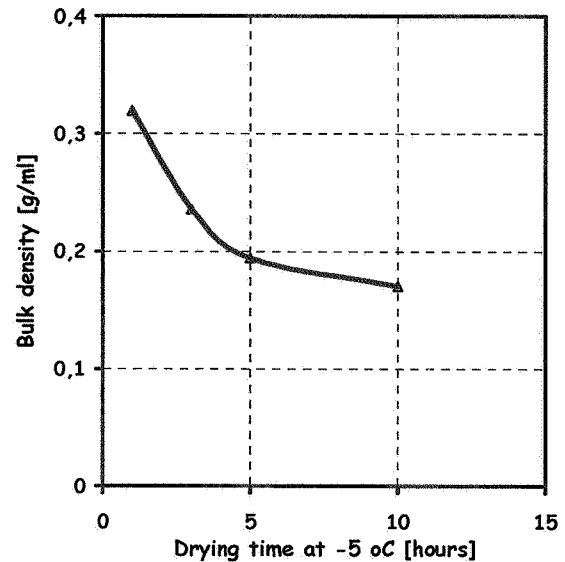
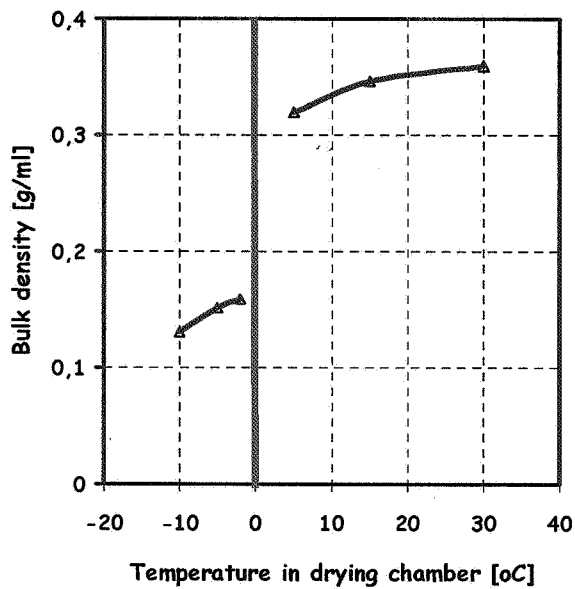
For å oppnå så høy SMER-verdi som mulig, må industrielle varmepumpetørker designes etter følgende designkriterier:

- Tørkeforløp med optimal produkthøyde i tørkekammer for å oppnå høy relativ fuktighet ut fra tørkekammer
- Stabil fluidisering avhengig av sorpsjonsegenskapene til det tørkende produkt
- Kontinuerlig tørkemodeus, ikke batch modus som gir lavere kapasitet og effektivitet i tørken
- Så høy tørketemperatur som mulig i innløp av tørkekammer – gir økt termisk effektivitet og kapasitet
- Så lav kuldeytelse som mulig for å opprettholde tørkekapasitet (for høy kuldeytelse vil øke dh/dx og derved redusere SMER).
- Valg av kondenserings- og fordampningstemperatur for varmepumpen skal være slik at kombinasjonen gir høyest mulig COP og lavest mulig dh/dx .

RESULTATER

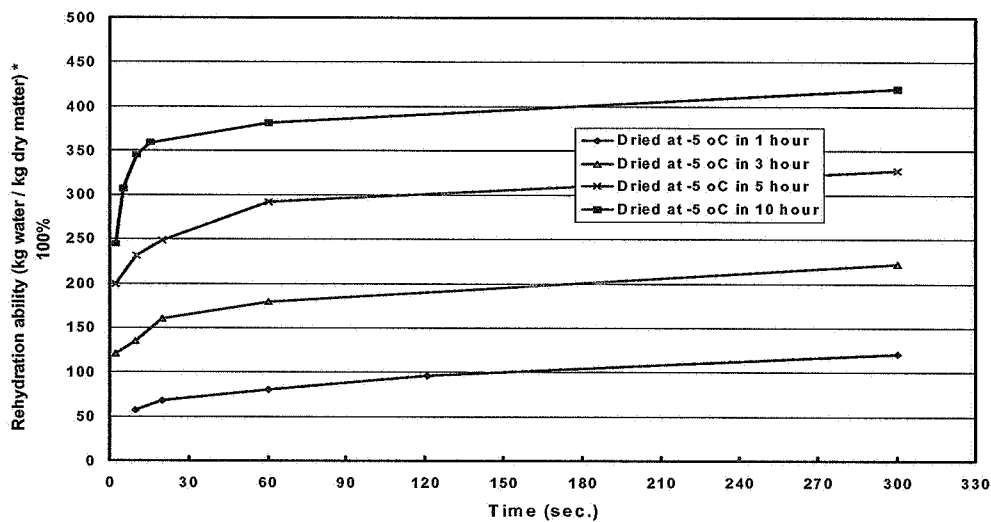
Kvaliteten på det tørkede produktet påvirkes i stor grad av tørketemperatur. Som et eksempel ser en i Figur 3 hvordan tettheten til 5 mm biter av torsk påvirkes av tørketemperaturer fra -10 til $+30^{\circ}\text{C}$. Fiskebitene har et vanninnhold på 80% før tørking og tørkes ned til et sluttvanninnhold på under 10% (på våt basis). Ved å kombinere tørking under produktets frysepunkt noen timer og tørking over produktets frysepunkt som

sluttørking vil tettheten påvirkes ytterligere. Se figur 4. Dette igjen påvirker produktets evne til raskt å ta opp vann igjen. Dette er vist i figur 5. (Strømme 1994). Kvalitetsparametere som smak, tekstur og farge påvirkes av hvilket temperaturprogram produktet har vært utsatt for. Slike temperaturprogram kan være "Step up" eller "Step down" prosesser.



Figur 3. Tetthet for biter av torsk tørket ved temperaturer fra -10°C til 30°C

Figur 4. Tetthet for biter av torsk tørket ved ulike tørketid ved -5°C og sluttørking ved $+30^{\circ}\text{C}$



Figur 5. Rehydreringsevne for torsk biter som er tørket ved ulike tørketid under frysepunktet

SAMMENDRAG

Varmepumpe-tørker gir muligheter for å tørke med temperaturer under og over produktets frysepunkt. Dette kombinerer de beste egenskapene for vakuumpumpe-tørking og varmluft-tørker, og gir store muligheter for å påvirke kvalitetsparametere som: smak, lukt, farge, tekstur og tetthet. Energibruken for slike tørker ligger mellom 20-30% av tradisjonelle tørker og har SMER på mellom 2 og 5. Kombinasjoner av "Step up" og "Step down" temperaturprogram gir muligheter for nye forbedrede produkter i markedet. Forsøk med fiskeprodukter, fiskefor, dyremat, frukt, grønnsaker, meieriprodukter, biologisk aktive produkter og varmfølsomme materialer har vist forbedrede kvalitetsegenskaper.

REFERANSER

- 1 Strømme, I., Kramer, K. New Applications of Heat Pumps in Drying Processes. *Drying Technology*; vol. 12, No.4, 1994, ISSN 0703-3937, Marcel Dekker Inc., New York, USA.
- 2 Alves-Filho, O., Strømme, I.: Heat Pump Fluidized bed Drying of Fruit Pieces. 19th International Congress of Refrigeration. The Hague, The Netherlands, Aug 1995
- 3 Strømme, I., Eikevik, T.M., Alves-Filho, O.: Design and Dimensioning Criteria of Heat Pump Dryers, 20th International Congress of Refrigeration, IIR/IIF, Sydney, Australia. September 1999
- 4 Strømme, I., Bredesen, A.M., Eikevik, T.M., Nekså, P., Pettersen, J., Aarli, R.: Selected review article (English/French) in the Bulletin of the International Institute of Refrigeration: Refrigeration, Air-conditioning and Heat-Pump Systems for the 21st Century. "Pompes à chaleur, applications frigorifiques et de conditionnement d'air pour le 21^e siècle. Vol. LXXX, Hefte 2, s. 2-18, 2000.
- 5 Eikevik, T., Alves-Filho, O., Strømme, I.: Dimensioning of heat pump dryer components - an economical operation for quality, energy use and water removal". IDS, Amsterdam, Holland. August 28-31, 2000.