

MORENPBIZ.

More Natural Product Business by Enhanced Quality and Energy Efficiency of Drying

En kort introduktion till torkning av plantbaserade material

Sammanfattning

Den här rapporten förklarar teorin bakom torkprocessen, nyckelparametrar som produktens fuktkvot, luftfuktighet och effekten dessa parametrar har på processen. Olika evaporativa torkmetoder, konvektiva; strålning och vakuum, och hur de implementeras har summerats. Två generella metoder, recirkulering och värmepump, för att göra en tork mer energieffektiv förklaras. Den huvudsakliga slutsatsen är att en ekonomisk utvärdering behövs för varje fall för att avgöra vilken typ av tork som är det bästa alternativet. Längden på torksäsongen, krav på produktkvalitet och i vilken skala torkningen ska ske kommer alla påverka ekonomin.

Table of Contents

1	Hur?.....	1
1.1	Produkten	1
1.2	Lufttegenskaper.....	2
2	Drying methods.....	Error! Bookmark not defined.
2.1	Convective drying	Error! Bookmark not defined.
2.1.1	Flat-bed dryer	Error! Bookmark not defined.
2.1.2	Conveyor dryer.....	Error! Bookmark not defined.
2.1.3	Tray dryers.....	Error! Bookmark not defined.
2.1.4	Fluidised bed dryer	Error! Bookmark not defined.
2.2	Radiation drying.....	Error! Bookmark not defined.
2.2.1	Solar drying.....	6
2.2.2	Microwave drying.....	Error! Bookmark not defined.
2.3	Vakuum torkning	7
2.3.1	Frystorkning.....	7
2.4	Förbättringar av torkar	7
2.4.1	Recirkulation	7
2.4.2	Värmepump	8
3	Diskussion/Slutsatser.....	9
4	Referenser	10

1 Hur?

Torkningsprocessen är en komplicerad uppgift i strömningslära som även innefattar fasförändring. Flera olika parametrar påverkar processen. De kan summeras i tre kategorier: torkningsmetoden, torkmediets egenskaper och egenskaperna hos produkten som torkas. Nyckelparametrar kommer att definieras i detta avsnitt för att bättre förstå processen.

1.1 Produkten

Fuktkvoten i jordbruksprodukter uttrycks oftast i våtvikt [1]. Med det menas vattnets vikt per enhet av våt produkt:

$$X_{wb} = \frac{m_w}{m_w + m_d} \quad (1)$$

där m_w vattnet i produktens massa och m_d är massan hos den torra produkten.

Som exempel, om vi har en produkt med 70%wb fukthalt och vill ha 1 kg torkad produkt med 10%wb fukthalt så skulle vi behöva torka bort 2.2 kg vatten.

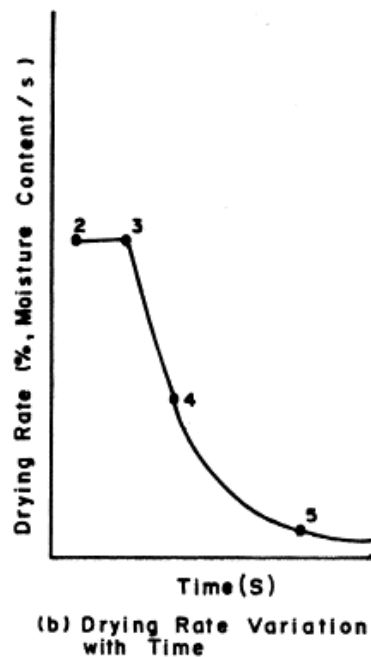
Fuktkvoten kan också uttryckas som torrsvikt [1], vattnets vikt per enhet torr produkt:

$$X_{db} = \frac{m_w}{m_d} \quad (2)$$

Vilket inte är lika vanligt.

En viktig parameter vid lagring av torkade produkter är jämviktsfuktkvot, vilken förklaras av [1] som: *“Produktens fuktkvot när fuktutbytet är noll mellan produkten och den omgivande luften”*. Med andra ord när fuktkvoten är stabil. Olika lufttegenskaper, luftfuktighet och temperatur, och produkter når jämviktsfuktkvoten vid olika fuktkvoter. För att hålla produktens fuktkvot stabil justeras antingen lagringsfuktigheten och temperaturen för att passa produktens önskade fuktkvot eller tvärtom. Produkten kan också förvaras i en lufttät behållare.

En del av fukten i växtmaterial är bunden, till exempel fångad i kapillärer, och resten är "löst" bundet eller fritt. På grund av detta kommer torkningshastigheten att gå igenom två faser [2]. Först, konstant torkningshastighet och sedan fallande torkningshastighet vilket illustreras i Figur 1.



Figur 1. De två olika faserna vid torkning. Konstant torkningstakt 2->3 och fallande torkningshastighet 3->5 [2].

Först är produktens yta mättad med fukt, fritt vatten. Vattnet avdunstar från produkten under stabila förhållanden tills diffusionen eller fukttransporten inifrån produkten inte kan hänga med torkningshastigheten. Detta är produktens kritiska fuktkvot och är början på fasen med fallande torkningshastighet. Den konstanta torkningshastigheten bestämdes huvudsakligen av de omgivande förhållandena eftersom vattnet var fritt. Under fasen med fallande torkningshastighet blir produktens interna diffusion den avgörande faktorn, vilket gör att torkningshastigheten minskar. Diffusionshastigheten varierar med olika produkter vilket innebär att den kritiska fukthalten också varierar.

Inte all jordbruksprodukt genomgår den konstanta torkningsfasen, till exempel ris, eftersom den ursprungliga fuktkvoten är under den kritiska fuktkvoten

1.2 Luftegenskaper

Teorin i detta avsnitt är sammanfattad från [3].

Atmosfärisk luft är en blandning av torr luft och vattenånga som båda vid lägre temperaturer och atmosfärstryck agerar som idealiska gaser. Detta innebär att atmosfärisk luft är en idealisk gasblandning som följer Daltons lag:

$$P = P_a + P_v \quad (3)$$

där P_a är partialtrycket från den torra luft och P_v är partialtrycket från. Partialtrycket är det tryck gasen skulle ha gett upphov till ifall den ensam fyllde samma volym som gasblandningen vid samma temperatur. Ideala gaslagen,

$$PV = nRT \quad (4)$$

där V är volymen, n är mängden gas, R är den specifika gaskonstanten och T är temperaturen säger att trycket är beroende av mängden gas vid en konstant volym och temperatur. Det betyder att maximala mängd vattenånga i atmosfärisk luft fås när vattenångans partialtryck är samma som dess mättnadstryck. Mättnadstrycket är det maximala tryck vid en viss temperatur som kan utövas på en gas innan den börjar kondensera. Atmosfärisk luft med vattenånga vid mättnadstryck kallas mättad luft.

Mängden vattenånga eller luftfuktigheten uttrycks antingen i absoluta termer eller relativt mättad luft. Absolut luftfuktighet anges som ångvikt per enhet torr luft:

$$\omega = \frac{m_v}{m_a} \quad (5)$$

där m_v är vattenångans massa och m_a är luftens massa. Relativ luftfuktighet anges som kvoten av det partiala ångtrycket (P_v) och mättnadstrycket (P_s) vid samma temperatur:

$$\phi = \frac{P_v}{P_s} \quad (6)$$

Tillståndet på luften som används som torkmedium är viktig om torkningsprocessen ska kunna kontrolleras. En vanlig fundering skulle kunna vara: Vilken torkeffekt har omgivningsluften vid 5 °C och $\phi = 80\%$ som värms upp till 35 °C? Detta kan besvaras genom att titta på ett Mollier-diagram, Figure 2, som visar sambandet mellan temperatur, luftfuktighet och luftens entalpi.

Mängden fukt som kan avlägsnas med den uppvärmda omgivningsluften motsvarar skillnaden i absolut luftfuktighet som är 6,5 g vatten per kg luft. Mollier-diagrammet ska inte användas direkt för beräkning av torkningsprocesser, på grund av låg noggrannhet vid avläsning, bara för att visualisera processen. Det finns formler bakom Mollier-diagrammet som kan användas istället. Denna process kallas adiabatisk mättnad [3]. Luften förångar fukten från produkten och sänker temperaturen. Entalpin för gasblandningen kan antas vara nästan konstant eftersom det förångade vattnet tas upp av luften. För att vara exakt är vattenången som tas upp av luften initialt vatten vid samma temperatur som produkten. Detta innebär att den specifika entalpin i luften kommer att öka något eftersom den inte behöver tillföra värme för att värma vattnet från 0 °C till produktens temperatur.

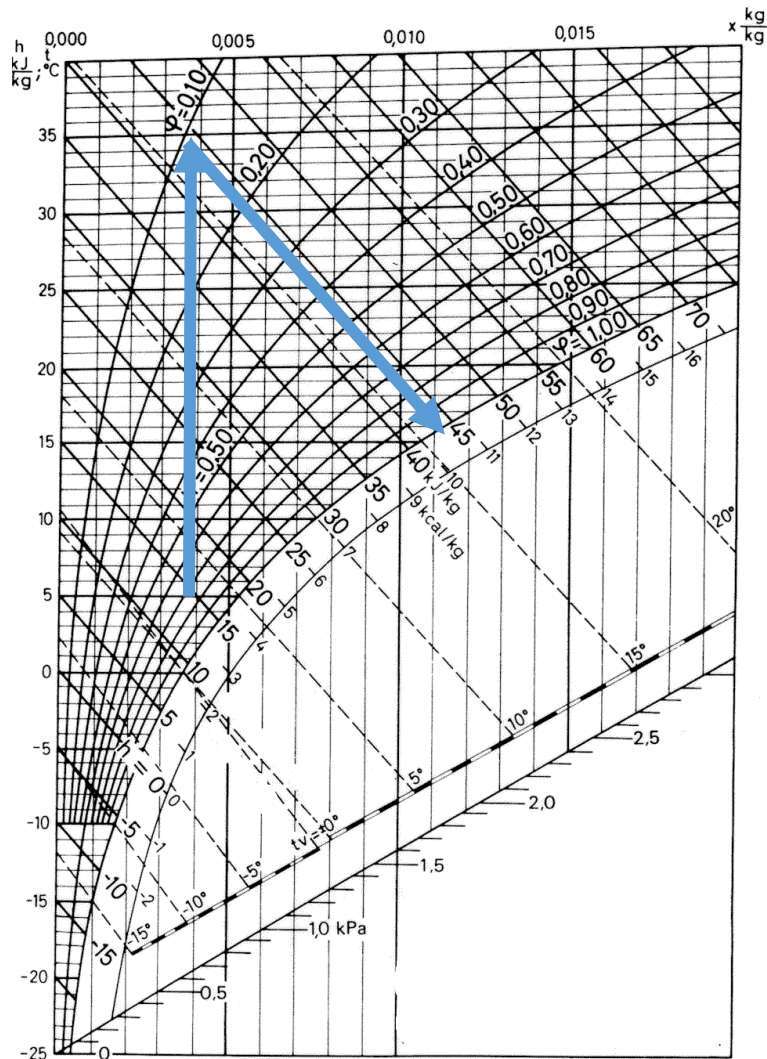


Figure 2. The Mollier diagram shows air properties. The blue lines show the way air is heated and then saturated [4].

Huvudprincipen för torkning är att tillföra värme till produkten för att fukten skall avdunsta. Värmen kan tillföras på olika sätt: ledning, via konvektion med ett medium i nästan alla fall luft eller genom strålning som solenergi eller mikrovågor. Påtvungad konvektion med hjälp av luft används ofta som transportmedium för att ta bort fukten. Luften närmast produkten kommer att bli mättad vilket resulterar i högre ångpartialtryck jämfört med den omgivande luften som kommer att driva fukten till cirkulationsluften genom i torken på grund av jämviktsprincipen [5]. En större partiell tryckskillnad för fukten ger snabbare fukttransport.

2 Torkmetoder

Fukt i produkter kan tas bort på flera sätt. Jordbruksprodukter torkas vanligtvis med förångningsmetoder. Icke förångningsförfaranden finns och används för andra ändamål, till exempel spinttorkning vid tvätt av kläder. Det finns olika sätt att förbättra energieffektiviteten hos torktumlare, till exempel med värmepumpar eller återcirkulera luften.

2.1 Konvektionstork

Convective drying uses a heated medium in gas phase to both evaporate and transport the moisture. It is often called conventional drying in the literature when air is the medium since it is one the most frequently used drying methods.

2.1.1 Fastbäddstork

En fastbäddstork, FBT, är en typ av batch torkare som består av en värmare, en fläkt och en torkbehållare med ett höjt perforerat golv. Produkten placeras på golvet. Luft värms normalt upp till 40-45 ° C, med en värmepump, en elektrisk värmare eller bränsle som värmekälla. Till exempel används ofta risskal som bränsle i Asien där FBT är ett vanligt sätt att torka ris [6]. Den uppvärmda luften tvingas genom produktlagret och släpps ut i omgivningen. FBT är lätt att använda och underhålla men upptar en stor yta. Andra nackdelar är ojämn torkning, låg energieffektivitet, tidskrävande lastning och lossning [7]. Det undre lagret blir torrare än det övre lagret. Därför att den torrare luften i botten ger en högre torkningshastighet. Därför behövs produkten röras om under torkning för att få en jämn torr produkt. Vissa förbättrade torkmodeller kan vända flödet och får en mer enhetlig torkning utan blandningsbehov [7]. Återstående värme i luften kan återvinnas genom att återcirkulera luften och därigenom förbättra torktens energieffektivitet. Mer om detta i avsnitt 2.3.1. En batch torkningsprocess som inte är kontinuerligt kan orsaka längre avbrott i produktionslinjen, både före och efter torken, eftersom vissa känsliga produkter har en kort tidsfönster efter skörden innan produktkvaliteten börjar försämrats är detta inte önskvärt. Skörden kan behöva pausas efter att en sats laddats i torken och återupptas när partiet är nästan torrt. Annars skulle den icke-torra produkten lagras för länge. Detta kan förbättras om genom att ha flera torkar som startar i intervaller vilket leder till högre investeringskostnader men ökad kapacitet.

2.1.2 Bandtork

En bandtork, även kallad en bälttork, består av ett till flera transportband som förflyttar produkten medan luft tvingas genom produkten. Detta innebär att torkningsprocessen kommer att vara kontinuerlig. Olika lufthastigheter och temperaturer kan tillämpas för varje bälte för att optimera processen [1]. Används exempelvis en högre temperatur på de första banden för att förbättra torkningshastigheten. En högre temperatur skadar inte produkten eftersom mer avdunstning ger en större kyleffekt. Bandtorkar har kortare torkningstid och ökad torkningshastighet jämfört med fastbäddstorkar [1]. Torkningsprocessen är mindre arbetsintensiv eftersom produkten blandas när den faller till nästa bälte och kan laddas och lossas mekaniskt. Nackdelarna är att det kräver ständig kontroll, många rörliga delar resulterar i högre underhållskostnader och kräver högre teknisk kunskap. Mindre lämplig för småskaliga verksamheter på grund av högre investeringskostnader.

2.1.3 Facktork

En facktork liknar de konvektionsugnar som finns i hushållen. Produkten är utspridd på brickor som staplas i en isolerad behållare. Luften kan fördelas parallellt i sidled över / genom varje bricka eller i serie genom varje fack nedifrån och upp. Sidledsfördelning ger en mer jämn torr produkt om designen fördelar luften lika. En tork med perforerade brickor fungerar liknande FBT vilket resulterar i en ojämn torkning. Det är lättare att utforma facktorkar eftersom lika luftfördelning inte behöver beaktas. Fördelarna är rymdeffektiva, småskaliga och en enkel konstruktion. Nackdelar är den inte är en kontinuerlig tork vilket gör att den måste lastas i och ur.

2.1.4 Fluidiserad bäddtork

En fluidiserad bädd kan uppnås genom att tvinga en gas genom produkten med höga hastigheter vilket gör att den uppträder som en vätska. Denna typ av torkning för jordbruksprodukter görs främst med olika typer av granulatprodukter som ris och andra frön [8]. Fluidisering ökar ytan på produkten som är i kontakt med torkmediet vilket ger hög termisk effektivitet och höga torkningshastigheter. Det är mindre lämpligt för material som är mycket våta, klibbiga eller inte i granulär form och torktumlarens design är produktspecifik [8].

2.2 Strålningstork

Torkning genom att exponera materialet för solstrålning har funnits sedan antiken. Idag har vi tillgång till och kan styra olika typer av strålning som mikrovågor och infraröd, men solstrålning används fortfarande för många produkter som torkade tomater och russin.

2.2.1 Solar drying

Sammanfattat från [9]:

Produkten placeras utomhus på en stor yta, ofta betonggolv, i direkt exponering av solen. Det sprids ut som ett tunt lager som vänds regelbundet för att få en jämn torkning. Solstrålningen värmer upp produkten och förångar vattnet. Ingen fläkt används för att flytta luften och transportera fukten. Luften rörelse består av naturlig konvektion och av hur mycket det blåser. Naturlig konvektion sker på grund att luften värms upp närmast den varma produkten som är uppvärmd av solen vilken innebär att luftens densitet minskar. Den uppvärmda luften börjar stiga och på grund av densitetsskillnader till den omgivande luften. Ny omgivande luft kommer då att strömma in närmast material.

Direkt soltorkning är en varierande process eftersom den påverkas av parametrar utanför vår kontroll, till exempel solstrålningsintensitet och vindhastighet. Detta innebär att torktiderna varierar vilket innebär att väderförhållandena på platsen kan vara mer eller mindre lämpliga för direkt soltorkning. Varierande torkförhållanden gör det svårt att utföra vetenskapliga kvalitetskontroller. Kontroller över torkningen baseras istället på erfarenhet. Direkt soltorkning har låga investeringskostnader och driftkostnader men den varierande torkprocessen, brist på kvalitetskontroll och exponering för väderförändringar gör det mindre bra för mer känsliga produkter.

2.2.2 Mikrovågstorkning

Mikrovågor orsakar att polära molekyler, som vatten, roterar vilket selektivt kommer att värma fukten i produkten som främjar en snabbare fukttransport till ytan [10].

En kombination av mikrovågsugn och konvektiv torkning används ofta vid torkning av växtmaterial på grund av temperaturen som kan uppstå från mikrovågor. Det är också mer ekonomiskt att applicera mikrovågstorkning i den senare delen av torkningsprocessen när torkningshastigheten för konvektiv torkning sjunker [1]. Referensen [1] granskar flera studier om mikrovågstorkning för medicinska och aromatiska växter som visar en reducerad torkningstid och energianvändning. Ett problem med mikrovågstorkning förutom den tekniska karaktären och de höga investeringskostnaderna [10] samt att vattenmolekyler inte är de enda polära molekylerna i växter. Vissa eteriska oljor är polära och förångas vilket sänker produktens kvalitet [10]. Men, [11] drog slutsatsen att mikrovågsugn i kombination med vakuum var det bästa sättet att bevara de essentiella oljorna av oregano. Produktens färg verkar bevaras med mikrovågstorkning. Till exempel, [12] visade att mikrovågor skulle kunna minska torktiden för spenat utan att försämra färgen.

2.3 Vakuum torkning

Vakuumtorkning kan användas ensam eller i kombination med strålning eller konvektiv torkning och även appliceras vid frystorkning. Att kombinera en annan metod med vakuum kommer att förbättra torkhastigheten och minskar därför torktiden. Det är därför möjligt att torka vid lägre temperaturer. Frånvaron av syre kommer att förbättra färgen på produkten och den låga temperaturen ökar kvaliteten men, stora driftskostnader gör vakuumtorkning mindre intressant än andra metoder [13].

2.3.1 Frystorkning

Frystorkning anses vara ett av de bästa sätten att producera en torkad högkvalitativ produkt [10] men för jordbruksprodukter, används tekniken huvudsakligen i laboratorieskala. Produktens fukthalt avlägsnas genom sublimering. Sublimering är när ett ämne övergår direkt från fast fas till gas fas [3]. Vatten gör detta om partialtrycket är lägre än 611 Pa och temperaturen under 0,01 ° C. Detta kallas trippelpunkten. Förfarandet för frystorkning är att frysa produkten, sänka trycket under trippelpunkten och tillföra den värme som behövs för sublimering [14]. Frystorkade produkter har ett mycket högre rehydratiseringsförhållande än lufttorkade produkter vilket innebär att de är väl lämpade att användas i snabbmat [14]. De höga driftskostnaderna jämfört med konvektiv torkning är den största nackdelen.

2.4 Förbättringar av torkar

Två allmänna sätt att förbättra effektiviteten hos en tork är att återcirkulera luften och / eller installera en värmepump.

2.4.1 Recirkulation

Recirkulation-återcirkulation innebär att en del av luften som lämnar torken omdirigeras tillbaka till torken igen istället för att blåsas ut. Den relativa luftfuktigheten hos utloppsluften kommer att minska och temperaturen kommer att stiga när torkningsprocessen går in i den fallande torkhastighetsperioden som visas i Figur 1. Detta innebär att uppvärmd luft med potential att transportera mer fukt är uttömd. Ett sätt att förhindra detta är genom återcirkulation. Återcirkulation av en del av utloppsluften från torken gör att mindre omgivande luft används och därför behövs mindre värme vilket förbättrar energieffektiviteten. Torkningshastigheten kommer emellertid att minska eftersom tryckskillnaden för vattenånga mellan torkluft och luft nära material är mindre på grund av högre fuktinnehåll i luften vilket förlänger torkningsprocessen. Värmebesparingarna från återcirkulation kan vara betydande men också negativa [15]. Det beror på produktens momentana torkningshastighet, omgivningens luftförhållanden och torktemperaturen. I allmänhet används inte cirkulation i början av torkningsprocessen när torkningshastigheten är hög och fukten ages lätt. Istället används det senare när torkningshastigheten har sjunkit eftersom fukten i produkten är tätare bunden och mindre fuktig luft kommer ut ur torken. Ett enkelt sätt att uppskatta torkningshastigheten utan att mäta luftens fuktinnehåll är att mäta temperaturskillnaden mellan torkens inlopp respektive utlopp. Hög temperaturskillnad betyder hög torkningshastighet och låg temperaturskillnad betyder låg torkningshastighet. Detta beror på att den värme som behövs för att förångas fukten tas från luften, förklaras i avsnitt **Error! Reference source not found.**
Error! Reference source not found..

2.4.2 Värmepump

Att använda värmepumpar för att förbättra torkprocessens effektivitet är ett vanligt sätt. Det smarta med en värmepump är att den utnyttjar de stora mängder värme, latent värme som tillförs/avges när ett medium förångas/kondenseras. Som en jämförelse krävs för att öka temperaturen på 1 kg vatten med 1°C 4,2 kJ värme tillförs medan för förångning av 1 kg krävs 2260 kJ [3]. En värmepump arbetar med fasomvandling men olika tryck mellan förångare och kondensor, vilket gör att arbetsmediet förångas vid en lägre temperatur (tar upp värme) och kondenserar vid en högre temperatur (avger värme). Den största fördelen med att använda en värmepump vid torkning är energieffektiv uppvärmning och avfuktning av luften. En genomgång av flera studier [16] som visade att värmepumpstorkar kunde minska elanvändningen med 20-40% jämfört med en elektrisk värmare. Det finns flera olika värmepumps installationer för torkändamål och denna översikt förklarar bara den grundläggande implementeringen.

Värmepumpens cykel

En värmepump består av fyra komponenter: en kompressor, en kondensor, en expansionsventil och en förångare. Arbetsmediet, kallat kylmedium, cirkulerar mellan komponenterna. Ett värmepumpsschema visas i Figur 3. The refrigerant is evaporated (6->7) at a low pressure and low temperature. The refrigerant is then compressed (7->8) in the compressor which increases the temperature and raises the phase change point of the refrigerant. The refrigerant condensates in the condenser (9->10) at a high temperature and the pressure is then decreased in the expansion valve (10->6). Some of the refrigerant will evaporate after the expansion but most will stay as liquid.

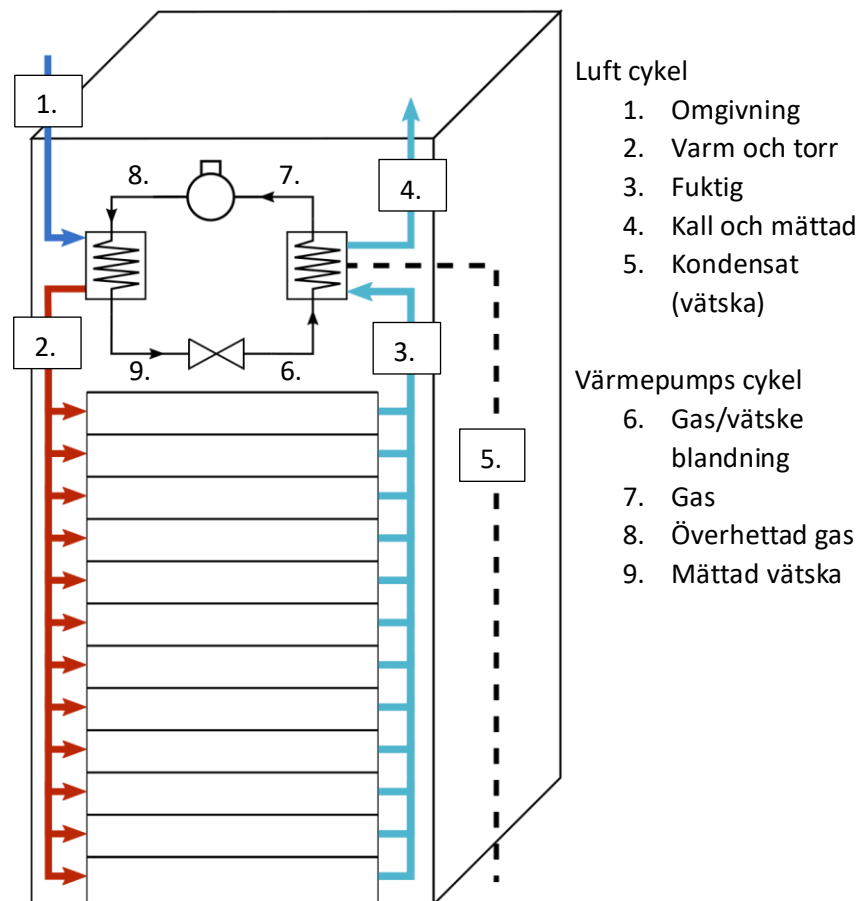
. Kylmediet förångas (6-> 7) vid lågt tryck och låg temperatur, (värme tas upp). Kylmediet komprimeras sedan (7-> 8) i kompressorn vilket höjer temperaturen och höjer köldmedlets fasändringspunkt. Kylmediet kondenseras i kondensorn (9-> 10) vid en hög temperatur (värme avges) och trycket sänks sedan i expansionsventilen (10-> 6). En del av kylmediet avdunstar efter expansionen men det mesta kommer att förbli som vätska.

Tork med värmepump

Den omgivande luften värms upp av kondenserande köldmedium i värmepumpens kondensor (1-> 2) och kommer in i torken (2-> 3). Fukt från produkten som torkas fuktar luften och kyler den (2-> 3) enligt beskrivningen i avsnitt 2, 1.2. Den fuktiga luften går genom förångaren och tillför värmen som behövs för att förånga kylmediet, innan den kylda luften avleds från torken (3-> 4). Detta sänker lufttemperaturen under mättnadstemperaturen vilket får vattnet i luften att kondensera. Kondensvatten (5) avleds från torken. I figur 3 visas ej fläktar för att flytta runt luften.

Torkning med värmepump är mycket energieffektiv eftersom den latent värmen som är bunden i luftfuktigheten också återvinns när den kondenseras och avskiljs som vätska istället för ånga.

Det finns flera sätt att förbättra effektiviteten hos torkar med värmepump, till exempel [17] jämför delvis blandning av den återcirkulerade luften med omgivande luft och återcirkulation av all luft. Studiens luftcykel modifieras också med en värmeväxlare som gör värmepumpen ännu effektivare.



Figur 3. Bricktork med värmepump.

3 Diskussion/Slutsatser

Alla torkningsmetoder har sina fördelar och nackdelar. Det är producenten av jordbruksprodukter som bestämmer vilken metod som är bäst lämpad.

En småskalig verksamhet som bara används kortare perioder per år har svårt att motivera en stor investeringskostnad även om den medför små driftskostnader. Därför är flera av metoderna mindre lämpade för småskaliga operationer: transportör, mikrovågsugn, vakuum, frys och fluidiserad bäddstork. Soltork är inte heller ett bra alternativ för högkvalitativa produkter på grund av osäkerheter i väder och brist på kvalitetskontroll. Av de två ganska liknande alternativen som finns kvar, bricktork och platt-bädds tork, är bricktorken mer platseffektiv. Därför är slutsatsen att bricktorkar är bäst lämpad för småskalig drift. Återcirkulation bör användas så länge kort torkningstid inte prioriteras. En tork utrustad med en värmepump förbättrar energieffektiviteten men medför en större investering. Detta innebär att en tork utrustad med en värmepump är mer lämpad för långa torkperioder. En livscykelkostnadsanalys måste utföras för att veta om en värmepump är ekonomisk för varje enskilt fall.

Förtorkning med ouppvärmad omgivande luft kan vara användbart för att skydda produkten från skada genom självuppvärmning orsakad av enzymatisk aktivitet. Det finns ett visst stöd för att det kan förbättra torkens energieffektivitet men det är mycket beroende av lufthastighet, omgivningsluftens förhållanden, temperaturen och fuktighet, och hur fukten i produkten är bunden.

4 Referenser

- [1] H. Albert och J. Müller, "Drying of medicinal plants," i *Medicinal and Aromatic Plants*, Stuttgart, Springer, 2006, pp. 237-252.
- [2] O. V. Ekechukwu, "Review of solar-energy drying systems I: an overview of drying principles and theory," *Energy Conversion and Management*, vol. 40, nr 6, pp. 593-613, 1999.
- [3] Y. Cengel, *Thermodynamics: An engineering approach*, 7th ed, New York: Mcgraw-Hill, 2011.
- [4] Engineering ToolBox, "Mollier Diagram," 2003. [Online]. Available: https://www.engineeringtoolbox.com/psychrometric-chart-mollier-d_27.html. [Använd 04 12 2019].
- [5] J.-O. Anderson och L. Westerlund, "Improved energy efficiency in sawmill drying system," *Applied Energy*, vol. 113, pp. 891-901, 2014.
- [6] N. V. Hung, R. Martinez, T. V. Tuan och M. Gummert, "Development and verification of a simulation model for paddy drying with different flatbed dryers," *Plant Production Science*, vol. 22, nr 1, pp. 119-130, 2019.
- [7] M. Gummert, "Rice Knowledge Bank," IRRI, 20010. [Online]. Available: <http://www.knowledgebank.irri.org/training/fact-sheets/postharvest-management/drying-fact-sheet-category/item/fixed-bed-batch-dryer-fact-sheet>. [Använd 04 12 2019].
- [8] N. S. Haron, "Recent advances in fluidized bed drying," i *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*, 2017.
- [9] V. Belessiotis och E. Delyannis, "Solar Drying," *Solar Energy*, vol. 85, nr 8, pp. 1665-1691, 2011.
- [10] A. G. Heindl och J. Müller, "Microwave drying of medicinal and aromatic plants," *Stewart Postharvest Review*, 2007.
- [11] A. Figel, A. Szumnyb, A. Gutiérrez-Ortizac och Á. A. Carbonell-Barrachina, "Composition of oregano essential oil (*Origanum vulgare*) as affected by drying method," *Journal of Food Engineering*, vol. 98, nr 2, pp. 240-247, 2010.
- [12] S. N. Karaaslan och I. K. Tunçer, "Development of a drying model for combined microwave–fan-assisted convection drying of spinach," *Biosystems Engineering*, vol. 100, nr 1, pp. 44-52, 2008.
- [13] I. Alibas, "Microwave, Vacuum, and Air Drying Characteristics of Collard Leaves," *Drying Technology*, vol. 27, nr 11, pp. 1266-1273, 2009.
- [14] X. Duan och M. Zhang, "Trends in Microwave-Assisted Freeze Drying of Foods," *Drying Technology*, vol. 28, nr 4, pp. 444-453, 2010.
- [15] T. Ziegler, H. Jubaer och M. Schutz, "Increasing the Energy Efficiency of Batch-Type Drying with Partial Air Recirculation," *Chemie Ingenieur Technik*, vol. 88, nr 1-2, 2015.

- [16] V. R. Sagar och P. Suresh Kumar, "Recent advances in drying and dehydration of fruits and," *Journal of Food Science and Technology*, vol. 41, nr 1, pp. 15-26, 2010.
- [17] T. Ziegler, H. Jubaer och J. Mellman, "Simulation of a Heat Pump Dryer for Medicinal Plants," *Chemie Ingenieur Technik*, vol. 85, nr 3, pp. 353-363, 2013.