



MORENPBIZ.

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

Funktionalitet och energieffektivitet hos torkutrustning för naturens råvaror

Utvärdering av plantork och förbättringsförslag

Jaana Väisänen och Teemu Huotari, Uleåborgs yrkeshögskola, Teknik och naturresurser

Fotos Jaana Väisänen och Teemu Huotari, om inget annat informerat

Interreg
Nord
European Regional Development Fund



Under 2019-2020 utvärderade MoreNPBiz-projektet växttorkarna som är i bruk hos entreprenörer. Projektets syfte var att förbättra deras energieffektivitet och användbarhet. Här rapporterar vi om utvärderingen av plantorken och de utvecklingsförslag vi har gett.

I plantorkar befanns den största utmaningen vara korrekt dimensionering och justering av fläkten och att säkerställa jämn luftflöde i olika delar av torkplattformen.

1 Utvärderade torkarna

1.1 Nässeltorken

Den träbaserade torken som användes för att torka nässlor var det första utvecklingsmålet för vårt projekt. För hög blåskraft hos fläkten och ojämn lufrörelse i luftkanalen var de grundläggande problemen med torken. Detta orsakar att torkningen är effektiv på torklådans bakre del, medan lufrörelsen främre på torkgallret förblir svag.

Torklådan har en yta på 2,76 m² och rymmer cirka 1,1 m³ växtmassa. Luftkanalen under torken avsmalnar mot bakväggen, den är 35 cm fram och 26 cm bak. Torklådans gallerbotten består av perforerad plåt. Torken har en Woods Aeroflow axialfläkt 0,55 kW följt av en byggvärmare El-Björn 9 kW. Byggvärmaren är programmerad med fläkten så att den startar inter om fläkten inte är på. Den maximala temperaturen som El-Björn ger är 40 grader.

Torken har en fläkt som är för effektiv, och därmed justeras luftintaget lägre genom att placera vaddark i fläktens luftintag. Effekten av vaddarken på luftvolymflödet visas i tabell 1. Mätningar gjordes med ett pitot-rör.

Tabell 1. Luftvolymflödet m/s i nässeltorken.

	obegränsat	1 vaddark	2 vaddark
Beräknad lufthastighet på botten av torklådan m/s	0,24	0,11	0,06
Lufthastighet i luftintaget	13,4	6,2	3,5



Fig. 1. Mätning av lufthastigheter med pitot-rör. För mätningen byggde vi ett runt luftkanal av plastskivor framför fläktens luftintag. Dess form stöttes med en gammal potatishink. All material hittar sin plats!

Fig. 2. Lufttillförsel begränsas genom att sätta vaddark på fläktens luftintag.

Baserat på mätningarna simulerades luftflödes hastigheterna för nässeltorken med SolidWorks. Figur 3 visar lufthastigheterna i torken med en obegränsad mängd luft och i figur 4 med två vaddark kvävda. Bilderna visar tydligt hur fläkten skjuter luften mot torkens bakvägg och luftens rörelse framåt är blygsam. Figur 3 visar också hur luft går snabbare längs sidoväggar och lämnar en död plats i mitten. SolidWorks-simuleringsmodellen producerade betydligt lägre lufthastigheter än de mätningar som gjordes med het-tråd -anemometer.

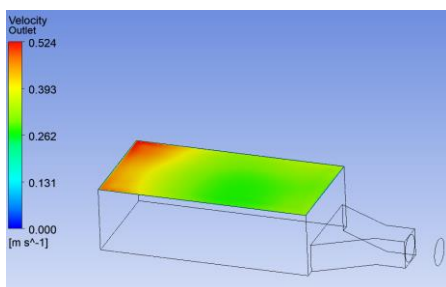


Fig 3. Luftflödes hastighet m/s som SolidWorks-simulering. Obegränsat luftflöde. Fig. Mikael Risberg, LTU Energivetenskap

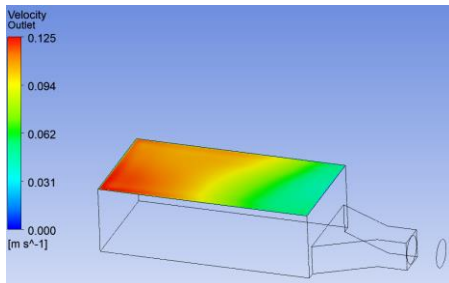


Fig. 4. Luftflöde hastighet m/s som SolidWorks-simulering. Luftflöde kvävd med två vaddark. Fig. Mikael Risberg, LTU Energivetenskap

1.2 Torvtorken

Torven som används vid produktion av kvävebakterieinokula i Elomestari Ab, torkas i lådtorken. Torken har en luftkanal gjord av filmbelagd plywood (mått 100 x 260 x 40), vars övre skiva är sågat med öppningar i storlek som en transportlåda för bakverk. Brödlådorna staplas i torkkanalens hål i flera lager. Torkarean i torken är cirka 2,3 m² om det finns 10 lådor. Torken kan då rymma cirka 0,23 m³ material som ska torkas, om varje låda har ett lager på cirka 10 cm. Naturligtvis kan lådorna staplas ovanpå varandra ännu mer, t.ex. i tre eller fyra lager.

Entreprenören hade kommit på idén att torka torv med denna teknik när han besökte en gård ägd av Wala-fabriken i Tyskland. Tyvärr hade han inte hittat fastväggiga transportlådor på hemmamarknaden, så sidoväggarna hade han tejpat med vanlig tejp för rundbalar. Bale-plasttejp är inte lämplig för torkning av livsmedelsråvara eftersom det inte finns någon information om de flyktiga föreningarna i dess lim. Vid torkning av torv vid låg temperatur verkade emellertid baltejp vara en livskraftig lösning.



Fig. 5 och 6. Lådtorken på Wala-fabrikens gård i Tyskland. Torken utnyttjar värme från pannrummet. I torken ringblommor. Fotos Petri Leinonen.

Torvtorkning utförs långsamt i ett svalt djurstall med ouppvärmad eller lätt uppvärmd luft. Lufttemperaturen rör sig runt 5 till 10 grader. Problemet med denna tork är den övereffektiva 750-watt Eurovac-fläkten, som effektivt slår luftflödet mot luftkanalens bakvägg. Fläkten är fäst i luftkanalen med ett dragspelrör på 150 mm. Det smala röret sätter också ett starkt mottryck på fläkten.



Fig. 7. Torken byggd av bagerilådor studerades genom att sätta enhetliga vaddark på lådornas botten. Luftflödehastigheten mätades ovan på arken.

Fig. 8. Den övereffektiva fläkten trycker luften mot bakväggen. Därför har företagaren alltid flera lager av lådor framför torkens bakvägg.

1.3 Släpvnstorken

I projektet byggde vi en mobil torkenhet för en obromsad släpvagn. Bärande konstruktion är metallrör, väggarna av plåtskivor. En separat torklåda av plåt byggdes in i torken, som kan dras ut med hjälp av en rullskena. Lådans bakvägg kan öppnas för tömning. Torkgallret består av en perforerad skiva av rostfritt stål. Skivan är flytbar. Torkande luft blåses under den perforerade skivan. Torkens storlek är 3,0 m x 1,2 m x 0,62 m. Framför torken finns en omvandlingsanslutning, värmare och fläkt. Fläkten är placerad på släpets öppna främre vägg. Det måste finnas 1,5 m utrymme bakom släpvagnen så att torklådan kan dras ut för tömning. Torkarean på torken är 2 m² och en fyllningssats rymmer drygt 400 liter eller 0,4 m³ färskt växtmaterial.

En centrifugalfäkt på 1,5 kW av Casals har köpts för torken. Fläktens varvtalet styrs av en frekvensomvandlare. I de preliminära driftstesterna användes en 9 kW byggvärmare som dock inte når måltemperaturen under alla förhållanden. Den slutliga versionen använder en 12 kW elektrisk kanalvärmare med effektläggning. I de experimentella torkningarna var enheterna anslutna till en elpanel, med en Schneider-energimätare.

I släpvnstorken tenderar det mesta av luftflödet mot torkboxens aktervägg, liksom med andra plantorkar. För att jämna ut luftflödet testades olika styrplattor i luftkanalen. Experiment för att placera plattorna utfördes först med en tom torkare. Senare bekräftades också fördelningen av luftflödet i torkningssituationen. När det finns växtmaterial på torklådan utjämnar tryckmotståndet luftflödet. Blåskraften påverkar också luftfördelningen. Ju lägre luftflöde desto jämnare fördelas luften. I experimenten kördes fläkten vid 150-250 W.



Fig 9. Släpvnstorken fylls med gräslök. Torkningslådan kan fyllas upp till den övre kanten.

2 Förbättringsförslag till plantorkarna

2.1 Luftlödestyrning med styrplattor

Vi testade olika luftlödestyrningsidéer i alla studerade torkningsanläggningar. Det första offret var nässeltorken. Nässeltorkens ursprungliga luftkanal är byggd något snett och är 35 cm framtill och 26 cm bak. Vi bestämde att experimentera med en starkare förträngning av kanalen genom att installera en perforerad plåtskiva i kanalen,

som fixerades i ett snett läge så att luftkanalens höjd krymper kraftigt mot bakväggen. Målet var att tvinga en större mängd luft från luftkanalens framsida upp mot torklådan. Med denna teknik hade vi fått en jämnare fördelning av luftflödet i torkningsskåpet i torkningsexperimentet, som organiserades i laboratoriet av OUAS några år sen.

Med lutande perforerat plåtskiva uppnåddes ingen väsentlig förbättring i nässeltorken. I torkens främre del var lufthastigheterna cirka 0,10 m/s, i den mellersta delen 0,15 till 0,18 och i den bakre delen 0,3 till 0,6 m/s, när luftintaget var begränsat med två vaddark. Mer om denna förbättring finns i avsnitt 3.3.

Bafflar (eller styrplattor) installerades också i botten av luftkanalen på nässeltorken vinkelrätt mot luftinloppet. Det första hindret placerades på ett avstånd av 80 cm från luftinloppet och det andra på ett avstånd av cirka 150 cm.



Fig. 10 och 11. Vänstra bilden visar den smala fanerskivan ungefär 80 cm från luftöppningen. I höger två hinder, 15 cm bräda främst och den smalare fanerskivan c. 150 cm från luftöppningen. I bilderna syns också den perforerade plåtskivan snett i kanalen.

En lutande bottenplatta av filmbelagd plywood installerades också i torvtorken, vilket minskade luftutrymmet i kanalens bakdel med cirka 40 procent. Dessutom placerades styrplattor i fronten, varav den första placerades snett mot botten och den andra också snett 2-3 cm ovanför botten (Fig. 12).



Fig 12. Till torvtorken byggde vi mera "labyrinth" för att utjämna luftflödet. Främst två styrbafflar, den första fast skruvad i botten och den andra 2-3 cm ovanför bottenskivan.

Lufthastigheter i alla torkarna mättes med en het-tråd-anemometer. Mätmetoden är mycket benägen för störningar och dess resultat är vägledande, men de kan användas för att dra slutsatser om storleken på lufthastigheter.

Tabell 2. Lufthastigheterna m/s i nässeltorken mätt med het-tråd-anemometer med olika luftstyrningsverktyg.

Mätningpunkter från frontväggen	obegr. fläkt	2 vaddark	2 vaddark	2 vaddark
		perf. plåt	perf. plåt	ej
			15 cm bred + 9 cm faner	15 cm bred + 9 cm faner
25 cm	-	0,10	0,12	0,07
50 cm	0,2	0,11	0,14	0,18
100 cm	0,32	0,14	0,15	0,30
150 cm	0,42	0,18	0,17	-
200 cm	<1,2	0,5	0,5	0,5

Som framgår av tabellen 2 kunde det grundläggande problemet med en stor mängd luft i torkens baksida orsakad av för stark fläkt och för långsam luftrörelse framåt inte förbättras med dessa smala styrplattor. Bottenmonterade styrplattor och ett sluttande perforerat plåt ökade lufthastigheten endast något på torkens framsida. Det noterades att det behövs betydligt effektivare luftbarriärer. En alternativ lösning är att byta fläkten till mindre effekt, vilket minskar skillnaderna i lufthastigheter mellan de olika delarna av torken, eller att köpa en frekvensomvandlare för fläkten.

Mätningar gjorda i den torvtorken med het-tråd mätare visade att förminskning av luftkanalen mot aktern (se föregående sida) bara förvärrar situationen. Samma mängd luft som tryckts av fläkten måste samlas in i ett mindre utrymme, så luftflödet ökar. Styrplattorna däremot ökade lufthastigheterna längst fram på kanalen.



Fig. 13 ja 14. Vertikalt placerad perforerad skiva (här faner) i kanalens bakdel förminskade lufthastigheten framför bakväggen och utjämnade lufthastigheter i främre delen.

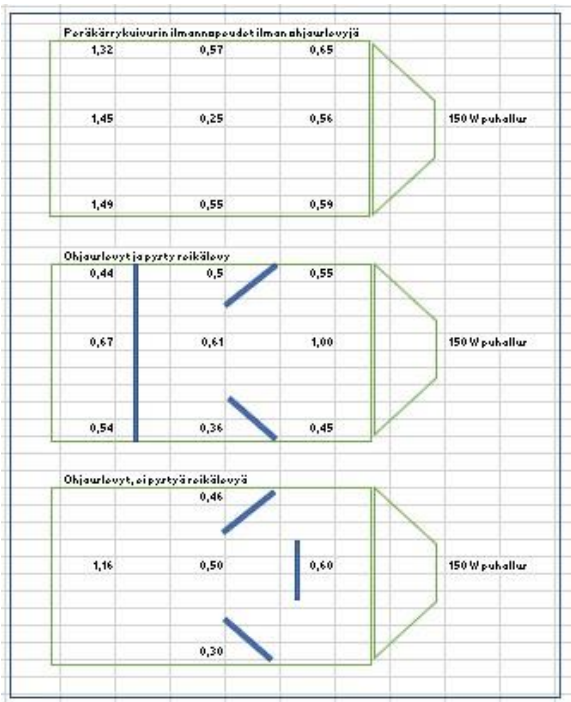


Fig 15. Luftflödehastigheter (m/s) i den tomma släpvnagstorken med olika styrplattor. Luftkanalens höjd cirka 16 cm. Mätningar med het-tråd-anemometer. Fläkten med en ineffekt cirka 150 W.

Commented [LF1]:

3 Slutsatser

Plantorkar är individer vars användbarhet kräver att varje tork justeras så att värmeeffekten är tillräcklig för luftmängden som blåses in och att luftmängden är lämplig för massan som ska torkas. Genom att korrekt dimensionera luftflödet är det möjligt att undvika onödig förbrukning av termisk energi. Baserat på denna studie verkar faktiskt det vanligaste problemet vara en övereffektiv fläkt som inte kan justeras. Uppvärmning av en stor mängd luft kräver i sin tur ett effektivare värmeelement.

Olika lösningar utvecklades för ojämn fördelning av torkluften hos plantorkarna. Det mest effektiva utvecklingsverktyget är att dimensionera fläkten efter den mängd luft som krävs, när det gäller energibesparingar och jämn torkning. Den ojämna fördelningen av torkluften är ett typproblem för plantorken och kan lindras avsevärt med luftflödesbafflar/styrplattor. Att avsmalning av luftkanalen mot aktern kan i vissa fall utjämna luftflödet, men i våra experiment fungerade det inte. Valet av värme-enhet och en tillräckligt noggrann termostat kan också påverka torkningens energiförbrukning och slutprodukts kvalitet.

3.1 Dimensionering av fläkten

Enligt Thomas Ziegler, en tysk forskare för växttorkanläggningar, bör luftflödeshastigheten i en plantork vara 0,14 till 0,20 m/s för att ventilationen ska vara tillräcklig för optimal torkning. Vid höga lufthastigheter blir torkarens luftflöden extrema. Det bör vara möjligt att justera fläkthastigheten för att få hastigheten till optimal nivå. Fläktens design måste också ta hänsyn till mottrycket som orsakas av växtmassan som ska torkas. Ju högre hastighet i luften, desto större mottryck orsakad av växtmassan. Emellertid minskar mottrycket ganska snabbt vid torkning, men fläkten måste dimensioneras enligt maximalt motstånd. Mottrycket förändras i processen på olika sätt beroende av materialet som skall torkas. Münsterer (1969) studerade förändringen i mottryck av hela mejramväxter under torkningsprocessen. Mottrycket sjunker ju lägre blir fuktighet mejramet. Detta illustreras i tabell 3. Resultaten i tabellen visar inte att fyllningshöjden på materialet sjunker till minst en femtedel när materialet torkar. Mottrycket (Pa) minskar alltså ännu brantare än de värden som anges i tabellen. I mätningarna av Ziegler et al., påfyllningshöjden på kamomillblommorna sjönk ner ungefär till hälften under de första 20 timmarna. Påfyllningshöjden i torken var i början något mindre än 50 cm. Lufthastigheten i experimentet var cirka 0,18 m/s och torkningstiden var cirka 40 timmar (Ziegler et al. 2014).

Taulukko 3: Hel mejram och dess mottryck under torkprocessen Pa/påfyllningshöjd (m). Lufthastighet 0,2 m/s. (Münsterer 1969)

	fukt- %	mottryck Pa/m
mejram	82	49
	50	25
	11	18

I de studerade torkarna var fläktarna både centrifugala (eller radiala) fläktar och axialfläktar. Axialfläktar (dvs. propellfläktar) kan inte producera mycket höga tryck, men är väl lämpade för olika lufthastigheter.

Centrifugalfläktar har å andra sidan bra tryckeffekt och är lämpliga för att flytta stora luftflöden. Centrifugalfläktar med aerodynamiska bakåtböjda blad uppnår bästa mekaniska effektivitet. Centrifugalfläktar rekommenderas för stora torkanläggningar.



Fig. 16. Torvtorken lånades till torkning av älgörten. Samtidigt byttes den övereffektiva fläkten mot en 60 watt kanalfläkt, som kopplades ihop med en byggvärmare 1,5 kW. Denna kombination och styrplattor i luftkanalen gav ganska enhetligt luftflöde både till främre och bakdelen av torken. Mellan kanalfläkten och byggvärmaren hittade vi ett lämpligt plåtrör. Luftflödet styrdes med tyristor utrustad med en glidkoppling.

3.2 Styrplattor för justering av luftflödet i plantorkar

Ett vanligt problem med plantorkare är för högt luftflöde på torklådans bakända och för långsam lufrörelse fram och i mitten av torken. I den studerade torvtorken, där luftkanalen är lång och smal, räckte det att installera styrplattor i den främre och mellersta delen av luftkanalen och att ersätta fläkten med en lägre effektmodell (fig. 16). I nässeltorken och släpvagnstorken kunde bafflarna bara öka luftflödet på framsidan av luftkanalen. I dessa torkar visade sig dock den mest effektiva regulatören vara en perforerad vertical platta placerad mitt i luftkanalen eller närmare aktern, vilket endast tillåter en del av luftflödet att passera igenom. En vertikal perforerad platta och styrplattor placerade längst ner på fronten kan vara en ganska bra grundlösning för de flesta stora plantorkar.

Vissa plantorkar kan också ha "döda fläckar". Till exempel, i släpvagnstorken var dödpunkten mitt i kanalen framför den vertikala perforerade plattan. Dess situation förbättrades med hjälp av styrplattor placerade snett vid kanalkanten (fig. 15).

3.3 Avsmalnande luftkanal mot bakväggen eller lutande perforerat plåt

I våra experiment testade vi också vad avsmalning av kanalen mot aktern skulle orsaka till luftflöden. Denna struktur är vanlig i många plantor. I torvtorken höjdes luftkanalens bottenplatta i experimentet så att kanalens bak var cirka 40% lägre än vid fronten. Denna förändring förvärrade situationen, dvs. ökade luftflödes hastigheten vid kanalens akter eftersom samma mängd luft måste överbelastas i ett mindre utrymme. Det perforerade plåtet placerat snett i kanalen, som också sökte en situation där luft tvingades att tömas främst från kanalens framsida, fungerade inte lika bra som vi hade förväntat oss. I tidigare experiment i Oamk, i torkskåpet inbyggd i ett gammalt kylskåp, hade ett lutande perforerat skiva förbättrat luftflödets jämnhet vid torkningsnivån. Tillufthastigheten i experimentet var dock bara 0,1 m/s, dvs. 0,05 m³/s genom ett 160 mm luftkonditioneringsrör (Isola 2018), och den relativt lilla mängden luft kan vara den viktigaste faktorn för kompenserande effekt av den perforerade skivan.



Fig. 17. Den perforerade plåtskivan i skåptorken utjämnade luftflödet.

Effekten av en kanal som smalnar mot bakväggen på luftflödet har också studerats av Ziegler et al. (2014). I deras studie belystes frågan med hjälp av en CFD-simuleringsmodell. Den avsmalnande formen på luftkanalen mot aktern förstärkte luftrörelsen precis framför akterväggen, men planade den tydligt på andra ställen på torkgallret. Det fanns små skillnader i flödes hastigheter i rektangulära kanalmodellen. På höger sida av torkgallret finns en märkbar zon där luftrörelsen är långsammare.

Således kan det i vissa fall vara en bra partiell lösning att minska luftkanalen mot aktern. För att stödja det bör det emellertid finnas styrplattor på bakdelen av luftkanalen för att minska luftrörelsen nära torkens bakvägg.

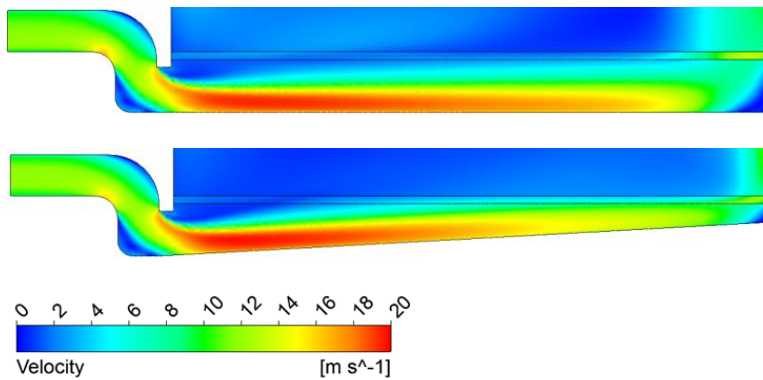


Fig 18. 2D-Simulering av lufthastigheter i plantorken med olik geometri av luftkanalen. (Ziegler et al. 2014).

3.4 Värme-elementet

Mindre torkare använder huvudsakligen elektriska värmare. I stora enheter på flera hundra kg används å andra sidan flis för att få värme. Stora torkar kan också ha värmeväxlare för att effektivt återvinna spillvärme. Tidigare var en ganska vanlig lösning i små torkare att använda värmare med både en liten axiell fläkt och en byggvärmare. I dessa värmare kan lufttemperaturen justeras till maximalt 40 grader. Nyare byggvärmare har för närvarande en maximal temperatur på 35 grader, så de är inte längre lämpliga för torkning av växter.

Termostaterna för värmare som används av företagare reagerar ganska långsamt på temperaturförändringar. I luften som går till torken kan temperaturen sjunka till 10 grader innan termostaten slår på värmeelementen. I värsta fall kan detta skada den yttre och inre kvaliteten hos värmekänsliga aromatiska örter. Att ersätta en gammaldags termostat med en mer exakt enhet kommer sannolikt att betala för sig själv snabbt. Vid justering av temperaturen är det också tillrådligt att kontrollera att värmesensorn är korrekt placerad och att den fungerar korrekt.

I stället för byggvärmare passar kanalvärmare väl som värmeelement. Det finns färdiga paket för de vanligaste kanalstorlekarna, men värmaren kan också beställas med önskad effekt och kanalstorlek. När du dimensionerar värmaren måste du känna till luftflödet som används för torkning. Värmeelementets effekt bestämmer också det minsta luftflöde vid vilket värmaren kan användas.

När man väljer en värmare för torken måste det också tas med i beräkningen att den ska passa väl in i fläktens luftöppning, eller åtminstone att en omvandlingsanslutning kan installeras däremellan. För att ansluta värmaren och fläkten måste också el- och brandsäkerheten i enhetskombinationen säkerställas. Förutom utrustningen och den el som används kan användningsstället ställa ytterligare krav för att garantera säkerheten. Anslutning av elektrisk utrustning kräver en standardplan och installationen utförs av en elektriker.

4 Referenser

Huhtaniemi Pekka 2009. Puhaltimen valintaprosessin tehostaminen tarjouspyyntövaiheessa. Opinnäytetyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu.

Isola, E. 2018. Laadukkaiden yrttien tuottaminen kuivaamalla. Opinnäytetyö. Oulun ammattikorkeakoulu.

Bushbeck, E. 1969. Arzneipflanzentrocknung. Forschungsbericht Technische Universität Dresden. Kirjassa Handbuch des Arznei- und Gewürzpflanzenbaus, Band 2. Nachernteprozesse, Konservierung, Verarbeitung und Lagerung (Böttcher, H.). S. 253.

Handbuch des Arznei- und Gewürzpflanzenbaus, Band 2. Grundlagen des Arznei- und Gewürzpflanzenbaus Teil II. Nachernteprozesse, Konservierung, Verarbeitung und Lagerung (toim. Böttcher, H.) Saluplanta 2010. ISBN 978-3-935971-55-3

Ziegler T., Jubaer H., Teodorov T., Mellmann J. 2014. Effizienzsteigerung der Flächentrocknung. Schlussbericht zum BMELV/FNR-Teilvorhaben 22012609 im Verbundprojekt "Zeitnahe und nachhaltige Verbesserung bestehender Band-, Kippborden und Flächentrockner für Kamille, Melisse und Baldrian". Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V. (ATB), Potsdam, 05.09.2013.