



## Fruits & Berries

ПРОГРАМ ПОДРШКЕ РАЗВОЈУ  
ПРИВАТНОГ СЕКТОРА  
У ОБЛАСТИ ВОЋАРСТВА  
И БОБИЧАСТОГ ВОЋА У ЈУЖНОЈ СРБИЈИ

Дански програм развоја воћарства на Југу Србије има за циљ да унапреди производњу, прераду, пласман и продају вишње, шљиве, трешње, малине, боровнице, јагоде и купине. Програм се реализује на простору Нишавског, Топличког, Јабланичког, Пчињског и Пиротског округа.

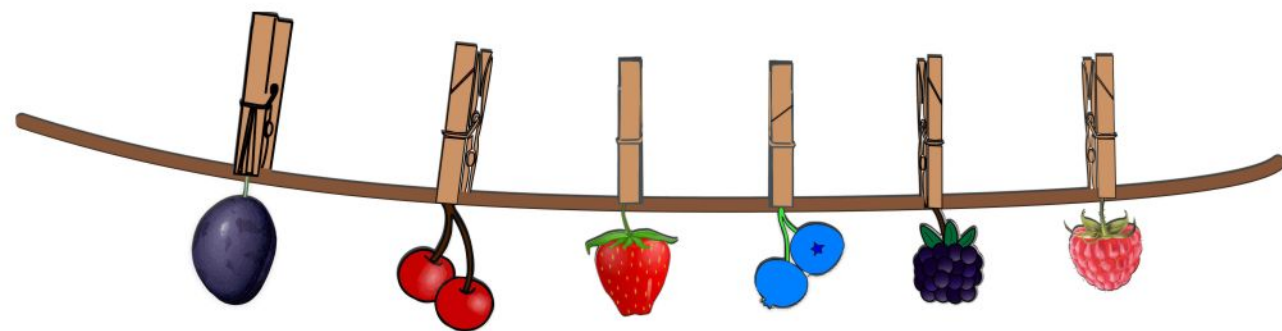
### Општи циљеви програма су:

Јачање одрживог развоја у приватном сектору у наведеним окрузима  
Повећање извоза и прихода  
Креирање нових радних места и смањење миграције  
Припрема за улазак у ЕУ

### Основне компоненте програма су:

Изградња капацитета  
Додела субвенција у циљу развоја вредносних ланаца

Овај приручник је издат уз финансијску подршку Владе Краљевине Данске у оквиру реализације компоненте јачања капацитета Програма подршке у приватном сектору за подршку сектору воћарства и бобичастог воћа у Јужној Србији.



## Fruits & Berries

## Технологија сушења воћа

Проф. Др Радисав Благојевић  
Горан Ранковић, дипл.оец.  
Зоран Стефановић, дипл. инж.  
Иван Радојковић, инж

DANIDA



The Danish  
Neighbourhood  
Programme



Проф. Др Радисав Благојевић  
Горан Ранковић, дипл. оец.  
Зоран Стефановић, дипл. инж.  
Иван Радојковић, инж

# **Технологија сушења воћа**

*Наслов:*

Технологија сушења воћа

*Издавач*

Канцеларија за програм подршке у приватном сектору за подршку сектору воћарства и бобичастог воћа у Јужној Србији

*Аутори:*

Проф. Др Радисав Благојевић  
Горан Ранковић, дипл.оец.  
Зоран Стефановић, дипл. инж.  
Иван Радојковић, инж

*Главни и одговорни уредник:*

Проф. Др Радисав Благојевић

*Рецензент:*

Проф. Др Борис Ристевски

Овај приручник је издат уз финансијску подршку Владе Краљевине Данске у оквиру реализације компоненте јачања капацитета Програма подршке развоју приватног сектора из области воћарства у Јужној Србији

Садржај овог приручника у потпуности је одговорност аутора а не одсликава ставове Владе Краљевине Данске или Програма подршке у приватном сектору за подршку сектору воћарства и бобичастог воћа у јужној Србији.

Садржај	3
Предговор	4
Конзервисање сушењем	5
Температура	8
Начини кретања загрејаног медијума	9
Брзина сушења	10
Кретање растворљивих састојака	11
Рехидрација	12
Начини сушења воћа	13
Сушење на сунцу	13
Конвенционално сушење	14
Сушење распрскавањем	15
Сушење у пени	17
Концентрисање	17
Једностепено и вишестепено испаравање	19
Преглед типова вакум испаривача	19
Сушнице за сушење воћа	21
Коморна (тракаста) сушара	23
Тунелска сушара	24
Вакум сушаре	26
Лиофилизација	27
Поступак сушења лиофилизациојом	27
Литература	30

## *Предговор*

У новије време пољопривредна производња се све више усмерава у правцу према узгоју воћа као једне од најинтензивнијих грана. Због тога су се повећале потребе за прерадиним капацитетима воћа и за конзервирањем. У порасту је отпор конзумената према хемијски конзервираним прехранбеним производима, док с друге стране расте интерес за високо квалитетним дехидрираним производима са добрим рехидрацијским својствима.

Сушење се убраја међу најстарије методе конзервирања хране, при чему је битно произвести хигијенски и здравствено исправан производ очуваног квалитета и продуженог века трајања. Готово све домаће потребе потрошача и произвођача за сушеним воћем подмирују се увозом из развијених земаља, док знатан део домаћих примарних производа пропада због недостатка прерађивачких капацитета. Решавање наведеног проблема, у смислу развоја нових и реконструкције постојећих технолошки застарелих сушара, прилагођених за прераду односно сушење воћа, осигурало би бољи пласман домаћих производа на домаћем и иностраном тржишту и дало подстицај даљем развоју воћарства.

Овом публикацијом имали смо намеру да пружимо основне информације у вези са технологијом сушења воћа, као и да анимирамо будуће заинтересоване произвођаче да смелије крену у ову област која има своју будућност. Наше могућности су такве да можемо много више да произведемо сушених производа, јер је палета воћа у нашем поднебљу велика, како када се ради о савременом сортименту тако и о сортама аутохтоног порекла које могу да се одгајају без присуства пестицида или уз мале количине. Сушаре могу да буду јако јефтиније, од 3000 € до 15.000 €, у зависности од капацитета и годишње експлоатације, а инвестирање у њих је веома исплативо и врло брзо враћа уложена средства .

*Аутори*

## Конзервисање сушењем

Сушење је један од најстаријих начина конзервисања воћа. Примењиван је од давнина за дуже чување разних намирница, не само воћа већ и поврћа, јер је једноставан, а довољно поуздан. У новије време све више се усмерава пољопривредна производња према узгоју воћа. Зато су се повећале потребе за капацитетима прераде и конзервирање истих. У порасту је отпор конзументата према хемијски конзервираним прехранбеним производима, док с друге стране расте интерес за високо квалитетним дехидрираним производима с добрим рехидрацијским својствима. Сушење се убраја међу најстарије начине конзервисања хране, при чему је битно произвести хигијенски и здравствено исправан производ очуваног квалитета и продужног века трајања. Готово све домаће потребе потрошача и произвођача за сушеним воћем и поврћем подмирују се увозом из развијених земаља, док знатан део домаћих примарних производа пропада због недостатка прерађивачких капацитета.

Решавањем наведеног проблема, у смислу развоја нових и реконструкције постојећих технолошки застарелих сушара, осигурао би се бољи пласман домаћих производа на домаћем и иностраном тржишту и дао подстицај даљем развоју воћарства .

Посебна предност конзервисања сушењем је што се одстрањивањем воде смањује тежина и запремина, а са овим и сви трошкови у потребној амбалажи, транспорту и складиштењу. То чини овај поступак конзервисања врло економичним. Осушени производи се знатно лакше и сигурније транспортују, па се отуда у великој мери користе за исхрану.

Одстрањивање воде као основног услова за нормални метаболизам микроорганизама, представља принцип овог начина конзервисања. Садржај воде се у свежем воћу и поврћу у просеку креће 80 % до 90 %. Овако високим садржајем воде уз повећан садржај шећера и осталих састојака, повећава се осмотски притисак до те мере да је исхрана микроорганизама отежана, па и онемогућена. Према томе, применом сушења микроорганизми се не уништавају већ се онемогућава њихова исхрана а самим тим и размножавање, што у крајњој линији води њиховом потпуном изумирању. Овај принцип спречавања развоја микроорганизама познат је као ксероанабиоза. Основни

показатељ успеха процеса сушења воћа јесте степен насталих промена састојака плодова који прелазе у агенс сушења. За успех процеса сушења узима се степен одрживости квалитета и хемијски садржај минералних материја у непромењеном облику.

Према томе може се констатовати да исти поступак сушења не мора да буде за исту врсту воћа. Сушење воћа се најчешће обавља струјом топлог ваздуха (конвекционо сушење) у контролисаним условима, а у изузетним случајевима грејни медијум може да буде и неки други гас (азот, угљендиоксид и др). Сушење воћа у атмосфери азота и угљендиоксида даје боље резултате када су у питању оксидобилни састојци, који се сушењем ваздухом, због присуства кисеоника делимично мењају. Али поред ове предности, употреба других гасова поскупљује производњу.

Сушење се обавља у затвореном простору, сушари, где је обезбеђено загревање ваздуха и његова циркулација као и кретање производа. Повишењем температуре повећава се способност ваздуха за примање влаге, јер се релативна влажност смањује. Струјање ваздуха се постиже вентилатором а загревање сагоревањем угља, или дрва, електричним путем или применом прегрејане паре. Брзина сушења, па према томе и капацитет сушара, а у крајњој мери и квалитет осушеног производа, зависи од карактеристике грејног медијума т.ј. ваздуха. Атмосферски ваздух који се користи у сушницама преставља смешу сувог ваздуха и водене паре и основне величине које карактеришу стање влажног ваздуха као што су: апсолутна и релативна влажност, температура, апсолутни притисак, парцијални притисци сувог ваздуха и водене паре у смеси, специфична запремина и специфична тежина влажног ваздуха.



Слика 1. Сушара за сушење воћа

Без обзира на различите типове сушница и бројне поступке који се користе у производњи осушеног воћа, основно и заједничко у свим случајевима је одстрањивање садржане воде испаравањем. За разлику од концентрисања, где се такође одстрањивање воде врши испаравањем, али на температури кључања, у случају сушења испаравање се врши на температури која никад не достиже тачку кључања. Да би се испаравање обавило правилно и економично и на тај начин добио производ задовољавајућег квалитета, неопходно је познавање и подешавање услова који омогућавају испаравање воде и одстрањивање паре.

Највећа количина паре коју може да прими и садржи одређена тежина ваздуха на некој температури је она која одговара напону паре чисте воде. Вода коју садржи воће налази се у воћу као комплексни раствор шећера, соли и осталих састојака и при испаравању се понаша нешто другачије него чиста вода. Напон паре у случају испаравања воде из воћа, редовно је нешто нижи од напона паре чисте воде. Стога се током сушења, повећањем концентрације све



више смањује напон паре, а то условљава при крају сушења веома споро испаравање. Напон паре сваке течности расте са температуром, па ће у гасовитој атмосфери у којој се налази течност бити више паре уколико је виша температура. Повишењем температуре повећава се способност ваздуха за примање влаге, јер се релативна влажност смањује. Уколико је температура нижа, релативна влажност се повећава па се смањује брзина испаравања и капацитет влажног ваздуха за пријем влаге. За разлику од релативне влажности апсолутна влажност не зависи од температуре ваздуха. Због тога при коришћењу ваздуха за снабдевање сушница температура не сме да буде једини елеменат за оцену стања ваздуха. Погрешна је тежња да се увек користи ваздух са што вишом температуром јер, ваздух са температуром од 30 степени може да садржи већу количину апсолутне влаге него ваздух који поседује температуру од 15 степени Целзијуса.

Мерење влажности ваздуха врши се психрометријски и методом тачке росе. Психрометријски се мере температуре суве кугле а то је стварна температура ваздуха чија се влажност одређује и температура влажне кугле која представља куглу засићеног ваздуха добијену адијабатским влажењем и хлађењем првобитно незасићеног ваздуха. Температура влажне кугле се чита онда када ниво живе у термометру после приметног снижавања задржава константну вредност.

## **Температура**

Сушење може да се обави и на обичној температури али је време сушења дуго. На тај начин се врши сушење на сунцу, тј. у условима отворене атмосфере. Сушењем у регулисаним условима температура може да се подешава, како би се постигли оптимални услови за довољно брзо сушење, а да се при том још увек добије задовољавајући квалитет осушеног производа.

Што је температура виша то је сушење брже. Међутим, температура сушења мора да се подешава према особинама материјала који се суши. Висока температура утиче негативно на састав производа јер условљава низ оксидационих и других хемијских реакција, услед чега се мења боја и састав осушеног производа. Сувише висока температура у почетном стадијуму сушења, код производа који се суше као цели производи или

већи комади а богати су шећером, може да услови образовање чврсто запеченог слоја на површини производа.

Температура треба да почне најпре од 40 °С па да се креће до 80 °С.

### **Начини кретања загрејаног медијума**

Да би се подесио режим сушења, обзиром на почетну температуру у почетној и завршној фази сушења, подешава се правац кретања загрејаног медијума у односу на кретање производа. Тако постоје три начина кретања загрејаног медијума:

- истосмерни
- противсмерни
- циклонски

Истосмерни правац кретања загрејаног медијума и сировине која се суши, обезбеђује сушење од више ка нижој температури. У овом случају сушење почиње са највишом температуром да би у завршној фази температура била најнижа. Због наглог испаравања воде у првој фази сушења производ треба да буде припремљен тако да буду обезбеђени услови за брзо и довољно притицање воде из унутрашњих делова ткива, што је основно за правилно обављање сушења. Ово нагло испаравање омогућава скраћивање времена трајања сушења. Овим режимом се најчешће суши припремљено воће сечењем у ситније комаде.

Противсмерни начин сушења се врши циркулацијом загрејаног медијума у супротном смеру од кретања сировине. Сушење почиње на нижој температури, поступније да би у завршној фази када је испаравање најспорије температура била највиша. Овим поступком се најчешће суши шљива а могу и друге врсте воћа.

Циклонско струјање обезбеђује улазак загрејаног медијума са бочних страна сушнице. Овај начин сушења пружа равномерне услове за цело време сушења као и доста интензивно испаравање што зависи од температуре. Сушнице за циклонски начин струјања загрејаног медијума најчешће се употребљавају код сушења житарица, зачинског и лековитог биља, код неких врста шумског воћа и ситног и култивисаног ситног јагодастог и бобичастог воћа ( јагода, малина, купина ).

## Брзина сушења

Елементи од којих зависи брзина као и квалитет сушења су: физичке карактеристике загрејаног медијума односно атмосфере у којој се обавља сушење, физичке и хемијске особине производа, дебљина слоја кроз који дифундује вода и режим сушења, што је везано за карактеристике уређаја за сушење. Брзина сушења је уствари резултанта свих ових фактора и њихово дејство може се посматрати како са гледишта кинетике процеса сушења тако и са технолошког гледишта, заправо квалитета осушеног производа.

Што је температура виша и што је брже преношење топлоте од медијума на производ, то ће бити и интензивније сушење. Али упоредо са овим, од ништа мањег значаја је и брзина кретања воде кроз ткиво производа према површини сушења.

У првој фази сушења губитак влаге је највећи и тада брзина испаравања расте, све док се не постигне равнотежна влажност између производа и загрејаног медијума. У овој фази испари највећи део слободне воде. Затим настаје фаза константне брзине испаравања при чему је уједначен губитак влаге. У овој фази сушења површина производа ја засићена влагом и брзина испаравања је иста или чак нешто мања од брзине дифундовања воде из унутарњих слојева ка површини. Влажна површина производа понаша се и у овој фази као слободна површина воде и брзина испаравања је директно пропорционална количини топлоте коју загрејани медијум пренесе на површину испаравања као и количини воде која из унутарњих делова доспе на површину. Количина пренете топлоте зависи од разлике парцијалних притисака, релативне влажности, температуре медија у условима преношења топлоте конвекцијом температура, где је површина сушеног производа једнака температури влажности.

Поред наведених фактора на интензитет сушења у свим фазама има утицаја и начин на који је вода везана у ткиву. Према силама (трење, капиларне силе, хемијска веза), разликује се слободна и везана вода.

**Слободна вода** је део влаге у производу која је механички везана и налази се на површини у капиларима. Овај део влаге најпре, брзо и лако испарава. Највећи део слободне воде испари у првој фази сушења.

**Физичко-хемијски** везана вода налази се у микрокапиларима чврсто везана капиларним силама, па се

зато теже одстрањује, потребна је виша температура и дуже време. Овај део влаге назива се још и колоидно везана вода и сачињава највећи део воде у производу. Највећи део ове воде одстрањује се из производа за време константне брзине испаравања.

**Хемијски везана** вода се налази као саставни део молекула једињења и не одстрањује се при сушењу. Начини везивања као и количина овако везане воде су различите код разних врста воћа, па се због тога јављају разлике у процесу сушења т.ј. мањој или већој погодности одређених врста за сушење.

Кад слободна вода испари, достигнут је такозвани критични садржај влаге и брзина сушења не зависи на даље само од температуре и влажности ваздуха већ и од брзине притицања воде из унутрашњих слојева производа до површине. Температура површине производа у овој фази почиње да расте, приближавајући се температури сувог термометра.

Трећи период сушења карактерише се падом брзине сушења и може да се подели у две фазе. У првој фази брзина сушења пада линеарно док не испари сва вода са површине а ниво воде се спушта у капиларе. Брзина сушења у овој фази зависи од истих оних фактора као у претходној фази, а пад брзине сушења настаје услед смањења површине испаравања.

Кретање воде из унутрашњих слојева ка површини био је предмет бројних испитивања. У литератури се наводе као могући начини кретања воде: капиларно, дифузијом течности и паре. Као највероватније узима се кретање течности капиларима и дифузијом.

### **Кретање растворљивих састојака**

Испаравањем односно кретањем воде кроз производ долази до кретања растворних састојака и њиховог концентрисања у површинским деловима. До овог кретања не долази ако се производ суши сублимацијом. Кретање ових састојака може да услови и притисак који се ствара скупљањем ћелија. Ово кретање није пожељно и то нарочито када је у питању већа количина шећера, која карамелизацијом као и реакцијом са аминокиселинама, може да услови трајну промену боје осушеног производа.

### Рехидрација

Као мерило квалитета осушеног производа узима се способност ткива да поново прими воду, регенеришући тиме у извесној мери првобитна физичка и хемијска својства. Овај процес се назива рехидрација. Изражава се у процентима а израчунава се на основу повећања тежине услед апсорпције воде. Што је рехидрација већа, сматра се да је производ квалитетнији. Структура и порозност ткива осушеног производа су веома важни за рехидрацију односно одржавање квалитета. Уколико се сушење одвија тако да се у ткиву стварају поре и формира нека врста отвореног ткива специфична тежина производа је мања. Тако осушени производ има добра рехидрациона својства, мању порозност и већу специфичну тежину, али је због тога осушени производ слабијег квалитета.

У вакуму сушнице температура је нижа сразмерно постигнутом вакуму, и она се креће од 40 °С до 60 °С.



Слика 2. Сушење воћа на сунцу

## Начини сушења воћа

Воће и поврће може да се суши на више начина што зависи од претходне припреме, од хемијских и физичких својстава свежег воћа као и од економичности самог сушења.

Од начина који могу да се примене за сушење воћа познати су:

- сушење на сунцу
- конвекционо сушење
- сушење распрскавањем
- контактено сушење
- сушење сублимацијом
- сушењем у пени
- концентрисање

### Сушење на сунцу

Сушење на сунцу је најстарији и најеконичнији начин сушења. Примењује се у земљама које имају довољан број сунчаних дана без падавина као што је то Северна Африка. Одлике овог начина сушења су поред економичности ниска температура сушења, потреба за већим површинама сушења и знатно дуже сушење.



Слика 3. Различите воћне врсте након сушења

Квалитет воћа добивен на овај начин сушења је врло добар, јер су промене у хемијском саставу због ниске

температуре сушења готово незнатне. Због дугог сушења може да се деси да производ потамни или изгуби карактеристичну боју и витамине, па се препоручује сумпорисање сировине пре излагања сунцу.

### **Конвенционално сушење**

Сушење конвекционим струјањем загрејаног ваздуха у контролисаним условима представља један од најраспрострањенијих начина сушења у индустрији. Сушење се обавља у затвореном простору, сушници, где је обезбеђено загревање ваздуха и његова циркулација као и кретање производа.

Струјање ваздуха се постиже вентилатором и може да има различит правац кретања сировине, што се подешава према својствима производа који се суше. Загревање ваздуха постиже се сагоревањем угља или гаса или применом загрејане паре. Време сушења у овако контролисаним условима је далеко краће у поређењу са сушењем на сунцу, што представља посебну предност оваквог начина сушења.

Струјање ваздуха утиче на брзину испаравања, па према томе и на време трајања сушења.

Мада брзина кретања ваздуха у овако контролисаним условима може да се креће од 2 м/с до 10 м/с, најчешће се користе брзине од 4,5 м/с јер брзина испаравања мора да буде у складу са брзином доласка воде споља до површине испаравања.



Слика 4. Модерна сушара

Начин кретања сировине у сушници зависи од конструкционих решења сушнице. Обично је то обезбеђено померањем леса на вагонетима, специјалним држачима или бескрајним транспортерима. Време покретања и брзина кретања транспортера се подешавају према брзини сушења, односно времену које је потребно да производ проведе у сушници. Да би се сушење што брже обавило као и да би се постигао потребан квалитет осушеног производа сировина мора да се припреми за сушење.

Припрема сировине се састоји у љуштењу и сечењу како би се олакшало испаравање и добила што већа површина испаравања. На овај начин припремају се крупније врсте воћа: јабука, крушка, дуња, неке сорте кајсије. Ако се суше цели плодови, као што је случај са шљивом, онда се интензивније испаравање постиже потапањем плодова у 0,5 % раствора NaOH. У кључали раствор се плодови потапају у времену од 3 до 5 секунди.

Овим поступком са плодова се скида масна превлака, поре се отварају и лакше испарава вода из плода. Овај начин се назива депоновање. У припремне радње спада и сумпорисање. Сумпорисање може да буде сува сулфитација и влажни поступак. Суво сумпорисање се обавља у посебној просторији где се налази сировина и врши се спаљивање сумпора у виду трака сумпор диоксида. Потребно је на 1 тону сировине 2 кг до 3 кг сумпордиоксида. Сумпорисање траје неколико сати а онда се производ уноси у сушницу. Влажни поступак се обавља потапањем производа у 0,1 % до 0,5 % раствора сумпорасте киселине а овај поступак се ређе користи.

### **Сушење распрскавањем**

Сушење уз распрскавање карактерише се операцијом којом се постиже разбијање производа у врло ситне капи величине од 5 до 1000 микрометара. Распрскавањем се стварају услови за врло брзо сушење, које траје свега неколико секунди а што омогућава висока температура загрејаног медијума. Температура ваздуха при овом начину сушења креће се од 110 °C па чак до 260 °C. Примењује се висока температура кратко време (ХТСТ поступак), чиме се остварују услови за веома брзо и квалитетно сушење осетљивих производа. Правилно осушени производ задржава сва своја карактеристична својства са незнатним променама хемијског



састава. Поступак је континуалан и омогућава велику продуктивност.

Распрскавање захтева да производ буде течан, па се овај начин сушења може да примењује за сокове, екстракте кафе, какао, чај и слично.

Процес сушења распрскавањем може да се подели у две фазе, и обе се одвијају у сушници.

Распрскавањем се постиже претварање течности у фину маглу, и што су капи ситније то ће се сушење брже обавити.

Површина испаравања је пропорционална величини капи. Величина капи не само да утиче на интензитет сушења већ и на квалитет осушеног производа. Рехидрација је увек лакша и бржа што су честице ситније.

Распрскавање може да се обави на принципу површинске силе тј. разлике у брзини кретања течности и околног ваздуха или силе масе стварањем центрифугалне силе. У првом случају ради се о брзинском распрскавању а у другом о центрифугалном. Уређаји за распрскавање могу да буду ротирајући или статички. Од ротирајућих уређаја познат је уређај са плочом и уређај са диском центрифугалног распрскавања

Сушење уз примену распрскавања се обавља у обичним или у условима нижег притиска, коришћењем струје топлог ваздуха који истовремено и носи производ. Правац кретања ваздуха може да буде истосмерни са кретањем производа или противсмерни. У првом случају најтоплији ваздух долази у додир са производом кад садржи највећи проценат влаге, те се сушење обавља врло брзо и нема опасности да дође до превеликог загревања. Код против струјног сушења улази кретања производа и топлог ваздуха су супротни.

Осушени производ се издваја тако што најкрупније осушене честице падају на дно сушнице, док ситније одлазе са струјом ваздуха и одвајају се у посебним циклонима.

Ваздух потребан за сушење убацује се помоћу вентилатора кроз филтер где се пречишћава од прашине и других непожељних састојака. Коришћењем грејача ваздуха се загрева до одређене температуре. Правац и брзина кретања ваздуха морају да буду подешени тако да се производ осуши пре него што дође у контакт са зидом сушнице. Својства осушених честица зависе од својства производа као и од услова сушења. Распрскавањем се добијају честице лоптастог изгледа које при поступном сушењу губе полако влагу, смањује им се запремина а облик им мање више остаје исти. Да би се

добрио што квалитетнији производ, нарочито да би му се побољшала рехидрациона својства, соку се додају стабилизатори и средства на бази скроба и целулозе. Ради очувања боје могу се додати антиоксиданти међу којима су најпознатији соли сумпорасте и аскорбинске киселине.

### **Сушење у пени**

Усавршавањем поступка сушења дошло се на идеју да се повећањем гасовите фазе у производу олакшава испаравање воде. Истовремено овако осушени производ има боља рахидрациона својства, што је необично значајно за квалитет осушеног производа.

Да би се произвела стабилна пена производа уз удувавање гаса потребно је додавање средстава за стабилизацију пене. За ову сврху користе се стабилизатори и емулгатори чија је улога да смањи међуповршински напон течне и гасовите фазе и повећа површински вискозитет, чиме се постиже еластичнија и постојанија смеша. Као стабилизатори пене употребљавају се органска једињења са великим неполарним делом као што су: моноглицериди, протеини соје, албимин и други синтетички емулгатори на бази полиоксиетиленских деривата естера виших масних киселина. Сва ова средства имају својства да се апсорбују на површинама дисперзног средства, повећавају стабилност емулзије у зависности од концентracије. Количина додатог стабилизатора креће се до 1 %.

За производњу стабилне пене производа која се наноси у слоју на перфориране плоче или транспортер удувава се накнадно топао ваздух при чему се постиже још већа порозност у облику кратера што олакшава сушење. Без овог накнадног удувавања ваздуха сушење до два процената влаге трајало би око 60 минута, а са удувавањем ваздуха свега 15 минута.

### **Концентрисање**

Концентрисање производа на принципу стварања високог осмотског притиска може да се постигне додавањем шећера производу или испаравањем воде. И у једном и у другом случају, иако су начини постизања осмотског притиска

различити, ствара се средина истих физичких својстава у којима се микроорганизми ретко развијају.

Концентрисање је термички процес којим се одстрањује вода из производа испаравањем на температури кључања. Тачка кључања зависи од притиска, па се зависно од тога концентрисање може обављати на температури од 100 °С под нормалним атмосферским притиском или на знатно нижим температурама у вакуму. Са гледишта постизања одређеног квалитета концентрисаног производа, од интереса је само концентрисање у условима сниженог притиска, при чему температура кључања не би требало да је изнад 45 °С.

Концентрисање производа одстрањивањем воде има значаја и са економског гледишта јер се производ транспортује и складишти са мање трошкова.

За испаравање воде троши се топлотна енергија, која се добија коришћењем прегрејане водене паре. Топлота се троши на загревање производа до тачке кључања, на испаравање воде а уз то долази и до извесних губитака.

Коефицијент пролаза топлоте је најважнији показатељ рада испаривача и степена искоришћавања топлоте. Његова вредност се мења са температурном разликом, са степеном концентрисања производа, вискозитетом производа, својством материјала од којих је апарат направљен, дебљином зида апарата и дебљином слоја производа.

Са порастом концентрације и вискозитета производа вредност коефицијента пролаза топлоте опада а расте са порастом температуре загрејаног медија и температурне разлике. Присуство ваздуха у производу такође умањује коефицијент пролаза топлоте.

У тежњи за што већом загревном површином настали су цевасте испаривачи у којима је добијен знатно већи однос масе производа и загрејане површине па се постиже не само брже концентрисање већ као и код свих танкослојних испаривача и краће задржавање производа на температури концентрисања што такође има одређеног одраза на постизање бољег квалитета.

Количином испарене воде у јединици времена оцењује се производност испаривача, а она је тесно и управо пропорционална величини загревне површине. Отуда се производност може оцењивати и на основу загревне површине као и количине испарене воде.

Поред овог на производност свакако утиче и низ других фактора међу којима ћемо поменути пар њих: концентрација

производа, почетна и завршна брзина циркулације производа, конструкција самих испаривача итд.

### **Једностепено и вишестепено испаравање**

Код највећег броја испаривача испаравање се постиже коришћењем прегрејане водене паре као загрејаног медијума. За испаравањем 1 кг воде потребан је теоријски 1 кг водене паре у условима обичног притиска као и у вакуму. Стварање вакума са овог гледишта посматрано нема никакве предности у односу на испаравање под нормалним притиском али испаравање у вакуму пружа могућност вишестепеног испаравања чиме се постиже уштеда у потрошњи паре, поред тога што нижа температура кључања утиче повољније на састав производа.

Једностепеним испаравањем назива се испаравање код којег се потребна концентрација само у једном вакум апарату и нема никакве уштеде у пари. У случају једностепеног испаравања за 1 кг испарене воде троши се нешто више од теоријски прорачунате количине, око 1,1кг прегрејане паре.

Вишестепеним испаравањем смањује се утрошак паре из парног котла а испаравање може да се обави у два или више вакум испаривача. Уштеда радне паре се остварује на тај начин што се испаравање из другог и трећег испаривача постиже коришћењем паре из првог односно другог испаривача.

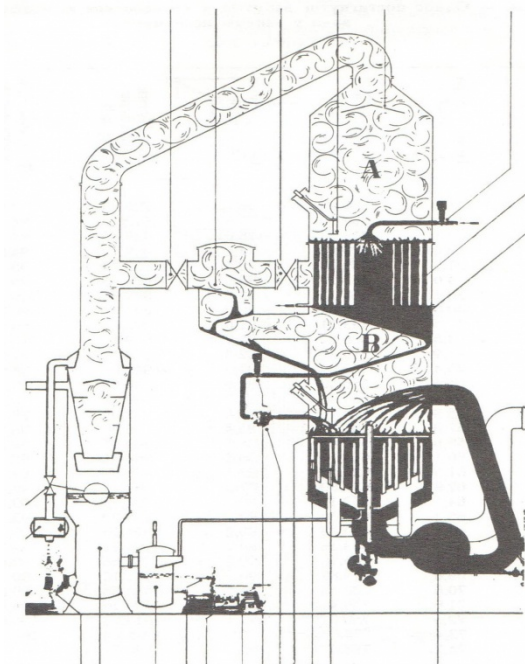
### **Преглед типова вакум испаривача**

Вакум испариваче можемо да поделимо на две веће групе према основном конструкционом решењу, и то у погледу задржавања производа и у погледу процеса концентрисања односно начину концентрисања.

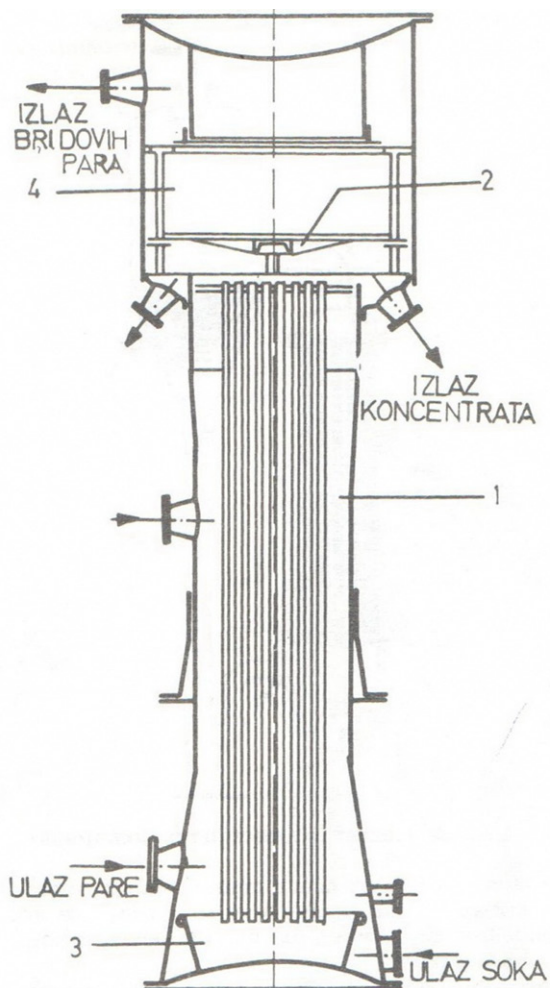
У прву групу би дошли испаривачи код којих се концентрисање врши у већој маси, па је сразмерно томе потребно и дуже време задржавања производа да би се постигла одређена концентрација. Те испариваче сврставамо у групу обичних вакум котлова.

У другу групу долазе танкослојни испаривачи где се концентрисање врши са малом количином производа, обично у облику слоја (филма) дебљине око 1 мм, те су отуда ови и добили име танкослојни испаривачи. Концентрисање се овде

постиже за далеко краће време, само неколико минута, а то су савремени вакум испаривачи врло погодни за термолабилне производе као што су сокови, воће и поврће.



Слика 5. Шематски приказ континуалног вакум испаривача „Тито – Манзини“



Слика 6. Испаривач типа „Кестнер“

### Сушнице за сушење воћа

За сушење целих и сечених плодова воћа конвекционим поступком у индустрији се користе разни типови сушница, које се разликују како по капацитету тако и по конструкционим решењима у погледу регулисања елемената неопходних за сушење. Најчешће су сушнице за сушење целих плодова шљиве. То је адаптирани тип калифорнијске сушаре домаће производње ЦЕР. Тунелска сушница је сада једна од најраспрострањенијих за сушење шљиве у нашој земљи. Има их два типа: први је конструисан тако да топли гасови, који се

добијају сагоревањем нафте, директно улазе у тунел за сушење. Код новијег, побољшаног типа, загревање тунела се постиже индиректно. Прво решење има предност у погледу искоришћавања топлоте, али пружа могућност доспевања продуката сагоревања у доњи тунел у коме се налази производ, што може да се узме као недостатак.

Анализа оптимизације процеса сушења спроведена је у сушари типа тунел која је додатно побољшана постављањем топлотне изолације, ради смањења топлотног губитка, и пројектовањем и постављањем рецикулацијског цевовода којим се део топлог ваздуха може вратити у процес сушења.

Радни флуид је влажан ваздух који се из горњег канала сушаре вентилатором усмерава у доњи канал. Проласком преко грејача врши се његово загревање. Температура ваздуха при улазу у доњи тунел износи 75 °C до 80 °C а на излазу, кад је већ делимично засићен влагом, 35 °C до 40 °C. Кад се суши шљива ток струјања топлог ваздуха је супротан у односу на кретање производа, па је сушење на температури од 35 °C до 40 °C, а завршава се на око 75 °C. Шљива може да се суши истосмерним поступком. Ваздух на улазу у доњи тунел има просечно 15 % до 20 % релативне влажности, а на излазу око 70 %. Сушница је снабдевена са 12 вагонета и у процесу сушења на сваких 90 минута убацује се по један вагонет.

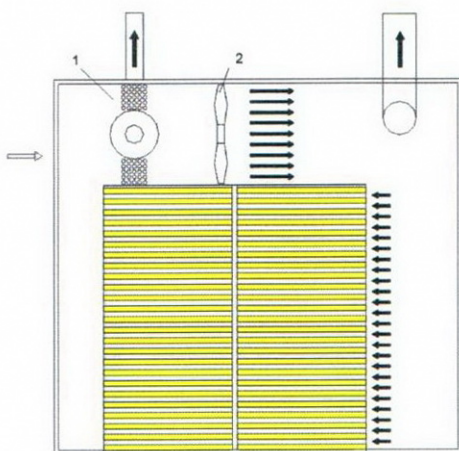
Вагонети се континуално померају, при чему се увек један вагонет са осушеним производом избацује из сушнице а истовремено се са друге стране убацује свежи производ. На један вагонет стане 25 леса.

Новији типови тунелске сушаре имају издвојен уређај за сагоревања горива, па се продукти сагоревања одводе ван сушнице а загрејан чист ваздух преко усмеривача убацује у сушницу, односно у тунел за сушење. У овом случају загревни медиј може да буде и водена пара.

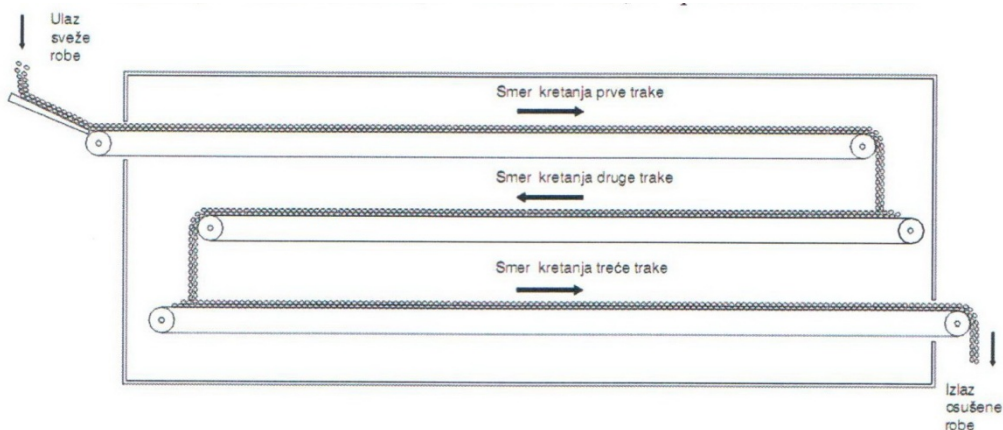
Сушење шљива са против струјним кретањем у овој сушници траје од 18 до 20 часова (ако је истосмерна онда нешто краће). Капацитет овог типа сушнице је 10 тона што зависи од производа.

### Коморна (тракаста) сушара

Коморна (тракаста) сушница са бескрајним транспортером позната као тракаста, Империјал сушница. Она се одликује великим капацитетом и задовољавајућим ефектом искоришћавања топлоте. Конструисана је у облику коморе у којој су смештена четири транспортера, један изнад другог. Испод сваког транспортера уграђени су калорифери кроз које струји водена пара. На овај начин је омогућено загревање и регулисање температуре загревног медија за сваки транспортер посебно.



Слика 7. Шематски приказ коморне сушаре:  
1 – размењивач топлоте, 2 – вентилатор



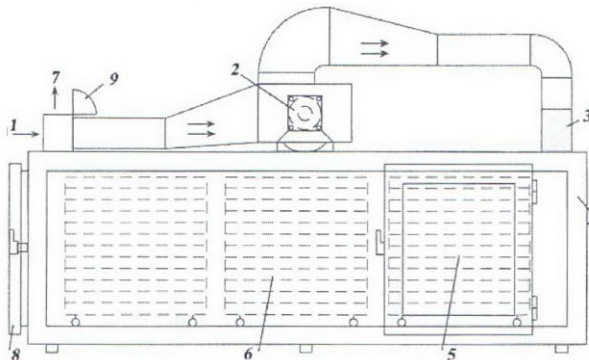
Слика 8. Шематски приказ тракасте сушаре



Ваздух улази у сушницу претходно загрејан, што се постиже прелажењем преко цеви са кондензованом водом, која се налази на доњој страни сушнице. Сушење почиње довођењем производа на транспортер који се налази на највишем положају а онда, сушећи се, поступно се спушта до најнижег транспортера одакле излази из сушнице. Брзина транспортера може да се регулише у границама од 0,1 м/мин до 0,7 м/мин чиме се подешава време трајања сушења, које траје од 3 до 7 часова. Овај тип сушаре није погодан за сушење производа код којих постоји могућност истицања сока, па се стога овај тип сушнице не користи за сушење шљива, већ за сечене плодове са чврстим ткивом. Углавном се користи за сушење поврћа.

### Тунелска сушара

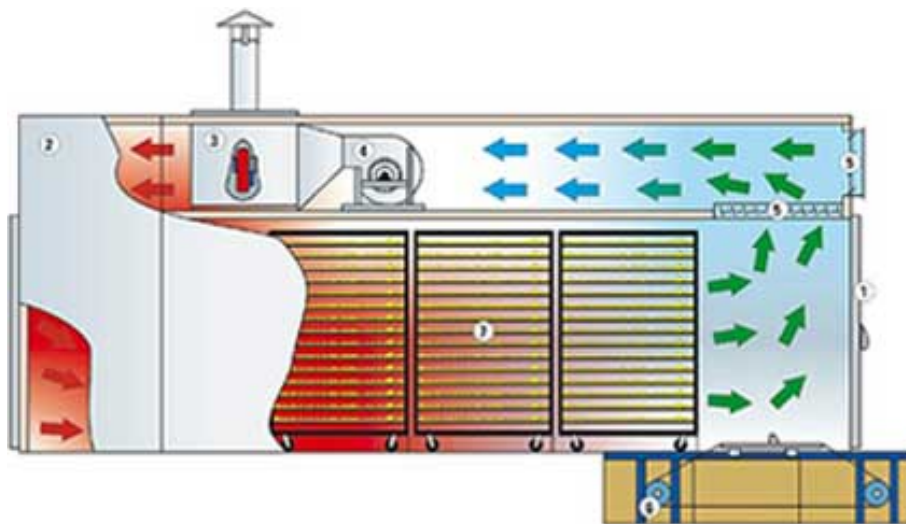
Најчешће су израђене у виду објеката а према начину рада припадају сушарама са континуалним радом. Основни део ових сушара је издужена комора тунел која може да буде различите дужина и до 90 м.



Слика 9. Шематски приказ тунелске сушаре  
 1- улаз ваздуха, 2 – вентилатор, 3 – грејачи, 4 – изолација,  
 5 – излазна врата, 6 – колица са лесема, 7 – излазак  
 ваздуха, 8 – улазна врата, 9 – повратак ваздуха

У комору се постављају вагонети на којима су смештене лесе за прихватање плодова. Вагонети су смештени на шинама, уграђени у под уздуж коморе. Лагано кретање вагонета са лесема се обезбеђује најчешће помоћу хидрауличког механизма тзв. потискивача. Тунел сушаре је по

вертикали подељен на два дела тако да је у горњем мањем делу смештен горионик, измењивач топлоте и вентилатор са усмеривачима ваздуха. У доњем делу тунела се налазе два реда вагонета, око којих се преко специјалних усмеривача затвара празан простор са горње и бочних страна, тако да агенс сушења буде присиљен да се креће само преко леса са плодовима.

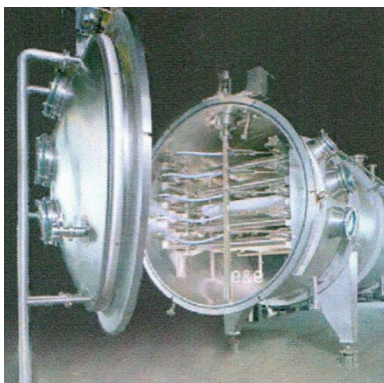


Слика 10. Принцип рада тунелске сушаре

Овим се постиже да се потпуније користи топлотна енергија, чиме се повећава економичност рада сушаре. На улазу и излазу у тунел постављена су врата која се истовремено периодично отварају да би се након изношења вагонета са сувом шљивом на излазна врата и померањем вагонета унео исти са свежим плодовима на улазна врата. Код савремених решења ових сушара на излазу не постоје врата, јер се показало да је боље да влажан ваздух излази слободно из тунела, док се мање влажан ваздух подиже у горњу зону и тако користи у рецикулацији и уз догревање се поново враћа у процес сушења. Ове сушаре могу да буду већег капацитета преко 20 тона. Зависно од начина кретања загрејаног ваздуха у односу на кретање вагонета са плодовима ове сушаре могу бити решене као четворосмерне тунелске сушаре и истосмерне тунелске сушаре.

### Вакум сушаре

Сушење воћа и поврћа у конвенционалним сушарама, на атмосферском притиску има недостатака који се одражавају на квалитет осушених производа. Висока температура сушења и присуство кисеоника из ваздуха узрокује губитке вредних састојака сушених производа. Наведени недостаци се отклањају сушењем у вакуму.



Слика 11. Вакум сушара

Вакум сушара је цилиндричног облика. За време сушења комора је спојена са уређајем за стварање вакуума. Познато је да у условима сниженог притиска вода испарава брже на релативно нижим температурама и то директно сразмерно са величином вакуума. Снижена температура ваздуха за сушење доводи до очувања високо вредних састојака као што су: витамини, боје, ароме, беланчевине и др. потребних за здраву исхрану, што све има за циљ да готов производ мора бити што сличнији сировини.

Основни показатељи доброг техничког решења сушаре су: једноставна израда, могућност прилагођавања за сушење других материјала, лако опслуживање, једноставно и прецизно регулисање режима сушења, минимално ангажован људски рад, оптимални капацитет, могућност коришћења различитих врста горива, поузданост у раду, лако одржавање, велики степен искоришћености енергије, итд.

## Лиофилизација

Смрзавање – сушење представља релативно нови поступак сушења намирница, који се нарочито развио за време другог светског рата. Овај поступак омогућава добијање дехидрисаних производа, врло високог квалитета јер су промене у хемијском саставу током сушења готово минималне. Али и поред великих предности у квалитету, овај поступак се не примењује у великој мери као индустријски начин сушења, јер је знатно скупљи од обичног начина сушења.

Принцип овог начина сушења је директно испаравање воде из леда. Производ се претходно смрзне и одржава у смрзнутом стању за цело време сушења, при чему вода испарава сублимацијом. Загревање се врши само толико да би се обезбедила латентна топлота испаравања, јер температура у току сушења мора да буде довољно ниска, да не би дошло до топљења леда. Сушење се обавља у вакуму, што олакшава и убрзава испаравање воде. Предности овог начина сушења у односу на стандардни начин сушења:

- осушен производ задржава првобитни облик и величину
- постиже се велика порозност ткива што обезбеђује лаку, брзу и добру рехидрацију
- денатурација протеина као и непожељне оксидационе реакције сведене су на најмању меру
- не долази до промена у концентрацији састојака у појединим деловима производа, јер нема кретања воде за време сушења
- мањи су губици у испарљивим састојцима

### Поступак сушења лиофилизацијом

Припремљени производ се пре почетка сушења смрзне. Смрзавање може да се обави у посебном уређају, и тако смрзнут производ унесе се у сушницу. Много чешће се припремљени производи уносе у сушницу, где се у вакуму најпре смрзава а онда се уз загревање наставља сушење. Температура сушења за биолошки осетљиве материје може да иде и до минус 40 °С. Смрзавањем се постиже кристализација воде, што омогућава њено испаравање без кретања. Да би се то обезбедило производ мора да се одржава смрзнут за цело време сушења.

У првој фази производ се смрзава при чему температура пада, а са овим и брзина испаравања. Ову фазу карактерише смрзавање производа са незнатним испаравањем. Количина испарене воде у овој фази износи 5 % до 20 %.

Друга фаза настаје од оног момента када се производ потпуно смрзне и постигне ниска температура која се одржава у току испаравања леда. Да би се температура одржавала и обезбедило смрзавање, неопходно је додавати производну топлоту. У овој фази се одстрани највећи део садржине влаге, око 85 % директним испаравањем из леда.

Трећа фаза настаје пошто је највећи део влаге, који се налази у стању леда одстрањен и почиње испаравањем апсорпционо везане воде. У овој фази брзина испаравања се нагло смањује а температура брзо расте. Услови и процес сушења у овом периоду су слични обичном сушењу у вакуму. Остатак воде који испарава у овим условима треће фазе је мали и износи од 5 % до 15 % од целокупне испарене количине воде.



Слика 12. Уређај за лиофилизацију

Смрзавање – сушење сублимацијом може да се примени за сушење воћа, поврћа и сокова. Воће се припрема као за смрзавање, а да би се спречиле оксидационе промене може да се примени сумпорисање. Сумпорисано осушено воће може да се складишти, али садржај сумпор диоксида не треба да је велики јер се током сушења врло мало губи.

Процес дехидрације траје од 20 до 30 часова у зависности од садржаја влаге. Садржај влаге у осушеном производу је далеко мањи у односу на класичан осушен производ и креће се од 0,5 % до 1 %. Рехидрација се обавља врло брзо, а рехидрисани производ има исте карактеристике као и одмрзнути производ.



Слика 13. Упаковани производи од сушеног воћа

## Литература

1. Благојевић, Р. (2001), Воћарство, Имприме, Ниш
2. Булатовић, С. (1970), Практично воћарство, Задружна књига, Београд
3. Булатовић, С. (1970), Посебно воћарство, Воћке са коштичавим плодовима, Завод за издавање уџбеника, Београд
4. Јанковић, М., Кандић, М. (1993), Технологија бербе, транспорта, смрзавања и чувања малине и купине, 25-33. Ариље
5. Петровић, С., Лепосавић, А., Вељковић, Б., (2007), Купина и боровница, технологија производње и прераде, Институт за воћарство, Чачак
6. Станковић, Д. (1973), Опште воћарство III део. Минерва, Суботица
7. Станковић, Д. (1981), Трешња и вишња, Нолит, Београд 5-180
8. Бркић, М., Јанић Т. Сушење поврћа у тунелским сушарама биомасом на малом газдинству, Савремена пољопривреда производња, Југословенско научно друштво за пољопривредну технику, Нови Сад, 2006
9. Марковић, В., Врачар, Љ., Производња и прерада паприке, Фелтон д.о.о. Нови Сад, 1998
10. Ибрахим Мујић, Владан Алибабић – Технолошки процеси конзервирања хране
11. Марковић, В., Полумеханизована берба зачинске паприке, прегледни рад, Савремена пољопривредна техника, Нови Сад, 2005
12. др Милован Живковић – Сушење у сушарама
13. Козић, Ђ., СИ „Приручник за термодинамику“
14. Карић, М., Повишење енергетске ефикасности конвективног сушења воћа међудогревањем ваздуха степенастим сушењем, Међународна научна конференција „РАДМИ 2007“, Београд, Септембар, 2007