

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Енергетика и процесна техника

Предмет: Основе процесних апарата и постројења

Број индекса: 746/2013

Никола В. Радуновић

Сушаре за воће

Завршни рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Проф. др Милан Деспотовић

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог звршног рада кандидат треба да
обради технолошке аспекте сушења воћа и изради 3D модел сушаре за сушење воћа

Препоручена литература:

- [1] Сушење и сушаре, Радивоје Топић
- [2] Основе пројектовања, прорачуна и конструисања сушара, Радивоје Топић
- [3] Козић, Ђ. СИ Приручник за термодинамику

Крагујевац, датум

ментор:
Проф. др Милан Деспотовић

Резиме

Овим радом настоји се казати нешто више о ткз. индустријском конвенционом сушењу (струјом загрејаног ваздуха) у контролисаном простору тј. стандардно сушење шљива у сушарама у којима се под одређеним контролисаним условима вештачки одводи вода-влага из неког материјала.

Постоји велики број типова сушара, али су најчешће употребљиване коморне и тунелске сушаре, а заједничка особина им је да раде при атмосферском притиску. Али, без обзира о ком се типу сушаре ради, свака од њих има основне елементе и то су простор где се смешта материјал током сушења, топлотни извор (горионик, топловодни котао, грејач, колектор..), измењиваче топлоте, вентилаторе (код принудног кретања топлог ваздуха) за „транспорт“ ваздуха и контролно-регулациони и командни уређаји.

Основни показатељи доброг техничког решења сушаре су једноставна израда, могућност прилагођавања за сушење других материјала, лако опслуживање, једноставно и прецизно регулисање режима сушења, минимално ангажовање људског рада, оптимални капацитет, могућност коришћења различитих врста горива, велики степен искоришћења енергије, поузданост у раду, лако одржавање, итд. и наравно, квалитетан коначни производ.

Кључне речи: сушара за воће, шљива, технологија сушења воћа, прорачун сушаре, економска исплативост

Resume

This paper seeks to elaborate on the so-called conventional industrial drying (warm air stream) in a controlled area, or standard drying plums in dryers that under certain controlled conditions artificially drain water-moisture from the material.

There is a number of types of dryers, but they are most commonly-used chamber and tunnel kilns, and their common feature is that they operate at atmospheric pressure. But no matter what is the type of the kilns, each of them has the basic elements and those are the area where the material is stored during drying, heat source (burner, water heater, heater, collector ..), heat exchangers, fans (for forced movement of warm air) for "transport" air-regulation and control and command devices.

Basic indicators of good technical solution of the kilns are that they are easy to make and can be customized for drying other materials, easy service, simple and precise regulation of the drying regime, minimal engagement of human labor, optimal capacity, the ability to use different types of fuel, high degree of energy efficiency, reliability, easy maintenance, etc., and of course, a high quality of the final product.

Keywords: dryers for fruits, plum, fruit drying technology, budget kilns, economic viability.

Садржај

1. Увод	5
2. Хемијски састав воћа.....	6
2.1. Основни хемијски састав	6
2.1.1. Бојене материје.....	8
2.1.2. Антиоксидативна активност воћа - Слободни радикали.....	8
2.1.3. Антиоксиданти.....	8
3. Технологија сушења воћа	9
3.1. Припрема за сушење.....	9
3.2. Сушење	10
3.3. Операције након сушења.....	12
4. Конзервисање сушењем	13
4.1. Температура.....	14
4.2. Начини кретања загрејаног медијума	15
4.3. Брзина сушења	15
4.4. Начини сушења воћа.....	16
4.4.1. Сушење на сунцу.....	17
4.4.2. Конвенционално сушење.....	18
4.4.3. Сушење распрскавањем.....	19
4.4.4. Сушење у пени	19
4.4.5. Концентрисање.....	20
5. Сушаре за сушење воћа	21
5.1. Коморна сушара	22
5.2. Тунелска сушара.....	23
5.3. Тракасте сушаре	24
6. Пројектовање сушаре.....	26
7. Молијеров h-x дијаграм за влажан ваздух	28
7.1. Промена стања влажног ваздуха	30
7.1.1. Процес загревања влажног ваздуха.....	31
7.2. Процес хлађења влажног ваздуха-сушењем.....	31
7.2.1. Процес испаравања влаге	33
8. 3D модел сушаре	34
9. Закључак	38
Литература	39

1. Увод

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

Сушење воћа је један од најједноставнијих и најстаријих начина за складиштење хране за каснију употребу. Сушени плодови су били прва позната човекова намирница и били су заступљени још у каменом добу.

Историјски извори о томе говоре да су наши преци открили магију сушеног воћа сакупљањем плодова који су падали на тло, на осунчаном простору. Оно није било сочно и свеже, али је било слађе и могло је дуже да траје. Претпоставља се да су од тада људи почели да припремају прве залихе хране за зиму. Сакупљали би плодове и бобице и сушили их на сунцу. Традиција сушења плодова је дуга и са мањим или већим изменама траје све до данас.

Данас се на различите начине суше разне врсте намирница, а воће је на првом месту. Прво сушено воће биле су крушке, урме, грожђе, трешње и јабуке, а код нас су посебно заступљене сува шљива и кајсија.

Предности сушеног воћа у исхрани су многобројне. Сушењем се чува велики број хранљивих материја које су присутне у свежим намирницама. Сушени плодови садрже пуно влакана, минерала и витамина, а концентрације појединих материја су веће него у свежем воћу. Посебно су богата дијеталним влакнима и садрже већу количину гвожђа. Пошто су термички обрађени и уклоњена је вода из њих, бактерије и гљивице се не могу развијати. Зато се сушено воће не квари као свеже и много дуже траје.

Данас „дехидрација“ (сушење), тј. одвођење влаге сушењем је једино прихватљиво ако се то чини загрејаним агенсом (ваздухом) индиректним путем. То практично значи сушење загрејаним чистим ваздухом, без присуства гасова насталих сагоревањем горива. То подразумева да сушара поседује уређаје - размењиваче којима се топлота настала сагоревањем горива, преноси индиректно на ваздух.

Посебну пажњу треба посветити улагањима у просторне капацитете - сушаре, при чему она треба да буду рационална, водећи рачуна о квалитетној изолацији и систему за рецикулацију који треба да омогући прецизно одређивање количине загрејаног ваздуха и малу влажност у процесу сушења.

Постоје различити типови сушара зависно од материјала за који су намењене, припреме радног флуида за сушење, врсте радног флуида, тока његовог кретања у радном простору сушаре, начина на који предаје топлоту материји која се суши и слично.

2. Хемијски састав воћа

Плодови воћа представљају битан и незаменљив извор материја које су неопходне у исхрани човека. Редовном конзумацијом повећавају отпорност организма, неутралишу и одстрањују штетне материје настале у процесу нормалног метаболизма.

Хемијски састав воћа је од значаја и са гледишта технологије. Који технолошки поступак ће се применити, које реакције могу да се очекују током прераде и какав производ ће се добити, уско је повезано са саставом сировине.

2.1. Основни хемијски састав

Хемијски састав, односно технолошке особине плодова воћа, зависе од сорте, степена зрелости и временских услова за време дозревања плодова. Најважније компоненте хемијског састава су вода, угљени хидрати, киселине, бојене, ароматичне, пектинске и минералне материје, витамини, протеини итд.

Вода је неопходна за одвијање метаболизма у свим живим ћелијама. У зависности од врсте и услова гајења, воће може да садржи од 75 до 93% воде. Тако висок садржај воде смањује енергетску, али пружа високу физиолошку вредност. Захваљујући томе што се нутритивно вредне супстанце воћа (шећери, киселине, део пектинских материја, неке бојене материје, поједини витамини и минерали) налазе у воденом раствору, организам човека их лако сварује.

У технологији прераде воћа чешће се говори о садржају суве материје, дакле свега онога што није вода, а што се налази у воћу. Разлог лежи у томе што је у економском и технолошком смислу садржај суве материје много значајнији. Сува материја се састоји од растворљивих (шећери, киселине и друге растворљиве материје) и нерастворљивих материја (скроб, целулоза, хемицелулоза, протопектин и др.). Стални надзор и увид у садржај суве материје у сировини пружа јасна и одређена упутства за усмеравање и вођење технолошког поступка.

Угљени хидрати су после воде најзаступљенији састојци воћа. Заједно са киселинама представљају основну компоненту у формирању укуса производа. У воћу се могу наћи као моно-, олиго- и полисахариди. Садржај шећера у плодовима воћа креће се од 3 до 25%. Киселине се налазе у свим биљним врстама, а посебно у плодовима воћа и поврћа. То су органске киселине које у воћу и поврћу могу бити слободне, или као састојци естера.

Најзаступљеније киселине у воћу су јабучна, лимунска и винска. У мањим количинама су заступљене оксална, хлорогена, салицилна, бензоева, мравља и др. У разним врстама воћа доминантне су различите киселине. Тако је лимунска киселина доминантна у цитрусима (лимун, наранџа) и бобичастом воћу, јабучна у јабучастом, коштичавом и јагодастом воћу, винска у грожђу.

Минералне материје се не мењају током процеса конзервисања и чувања воћа. У поређењу са другим компонентама хемијског састава, може се рећи да су то стабилни састојци воћа. Свеже воће најчешће садржи минералне материје у границама од 0,3 до 0,8%. Овај податак указује да је воће богато минералним материјама. Најзаступљенији елемент у пепелу воћа је калијум, а после њега калцијум и магнезијум. Поред њих, редовно су присутни и фосфор, гвожђе, бакар, јод, флуор, цинк и др.

Витамини су веома значајни састојци воћа и у комбинацији са минералним материјама чине воће физиолошки веома вредним. Витамини представљају групу органских једињења разноврсне структуре и хемијских особина, чија је функција у организму специфична и неопходна. Недовољан унос појединих витамина доводи до болести које се називају хиповитаминозе, а дужим недостатком витамина настаје авитаминоза.

Задатак сваког технолошког процеса прераде је да сачува витамине у највећој могућој мери. Витамини лако подлежу оксидативној и хидролитичкој разградњи, па се код прераде воћа о томе мора водити рачуна. Поред тога, повишена температура и светлост значајно утичу на разградњу неких витамина (нарочито витамина Ц). Због наведеног, губитак витамина Ц може послужити као индикатор адекватности технолошког процеса.

Витамин Ц (Л-аскорбинска киселина) је најефикаснији редукујући хидросолубилни антиоксидант и један је од најнестабилнијих витамина растворљивих у води. Стабилност витамина Ц зависи од концентрације кисеоника, рН средине, температуре, изложености светлости и присуства тешких метала. Губитак витамина Ц је приближно десет пута већи у присуству кисеоника у односу на губитак у анаеробним условима. Његова активност углавном се уништава термичком обрадом хране, нарочито када постоје трагови метала, као што је бакар.

Ароматичне материје воћа у хемијском погледу представљају смешу разних алкохола, естара, алдехида, кетона, карбоксилних киселина, етеричних уља, смола и воскова. Уљане фракције арома садрже више масне киселине и терпене. У ароматичне материје се убрајају и танини, који су по хемијској природи полифеноли, а одговорни су за опор укус воћа. [1]

Наведене материје одговорне су за мирис, а претежним делом и за укус воћа. У воћу се налазе у минималним количинама, лако су испарљиве и веома лако реагују међусобно или са неким другим материјама. У појединим сировинама налазе се у различитим односима и међусобним комбинацијама, а варирају по садржају, растворљивости и испарљивости, и тек као целина дају одговарајућу арому.

Протеини су биомакромолекули изграђени од великог броја аминокиселина, повезаних пептидном везом. У састав протеина улази свега двадесет аминокиселина. Са становишта исхране, значајно је подсетити да су осам од њих есенцијалне. Воће је у принципу сиромашно протеинима.

Целулоза је структурни елемент ћелијских зидова биљака. Како се целулоза не разграђује у органима за варење, избацује се из организма повлачећи са собом токсичне

материје. Целулоза је у нутритивном смислу основа физиолошки вредних биљних влакана, која поспешују перистатику црева.

Пектинске материје су хетерополисахариди. Основна функција пектинских материја је да заједно са целулозом, хемицелулозом и лигнином дају чврстину биљном ткиву. Карактеристичан су састојак воћа и поврћа и важан су елемент исхране, јер имају улогу дијетских влакана.

2.1.1. Бојене материје

Бојене материје су заједно са ароматичним материјама, шећерима и воћним киселинама главни носиоци сензорних особина. Боја производа има вишеструки утицај на потрошаче. Потрошачи везују квалитет намирнице за њену боју, па је боја један од најзначајнијих параметара квалитета производа у прехранбеној индустрији. Боја воћа зависи од бојених материја присутних у плоду, њиховог састава, концентрације и састава средине у којој се налазе.

Један од главних задатака технологије прераде јесте да промену боје сведе на минимум. Може се рећи да су бојене материје воћа веома осетљиве. На стабилност боје утичу бројни фактори, међу којима су најзначајнији присуство светлости, ензима, неких метала и кисеоника, као и услови средине (температура, pH, a_w). Промену боје у току прераде је немогуће спречити, али је могуће свести на прихватљив ниво одабиром одговарајућих услова.

2.1.2. Антиоксидативна активност воћа - Слободни радикали

Међу најреактивније хемијске врсте убрајају се слободни радикали, али и нерадикалски облици који су такође оксидациони агенси и лако се конвертују у радикале. Слободни радикали су атоми, јони или молекули, који имају један или више неспарених електрона у својој структури. Они могу бити неутрални, али и позитивно (радикал катјон) и негативно (радикал анјон) наелектрисани. Неспарени електрони су узрок њихове високе и неселективне реактивности.

2.1.3. Антиоксиданти

Термин "антиоксидант" подразумева све супстанце које су присутне у мањој концентрацији у односу на супstrate који се оксидишу, могу да спрече или значајно смање њихову оксидацију. Генерално, значај антиоксиданата несумњиво је у томе што штите

прехрамбене производе од оксидативних трансформација, а са друге стране су подршка и ниво постојећем антиоксидативном систему заштите развијеном код свих аеробних организама. Према пореклу, антиоксиданти могу бити природни и синтетички.

3. Технологија сушења воћа

Технологија сушења воћа заснива се на систему са ниском активношћу воде који за коначан циљ нема само продужавање рока трајања хране већ и онемогућавање развоја микроорганизама који би проузроковали њено кварење. На тај начин нема проблема сезонског коришћења одређеног воћа које нам је на тај начин доступно током читаве године. Један од бенефита сушења воћа је и његово олакшано складиштење, паковање и транспорт на рачун смањења његове запремине.

Међутим, поред предности које нуди обрада воћа сушењем постоје и неки недостаци који су својствени и другим методама конзервирања хране, попут пастеризације или смрзавања, као што су посмеђивање, смежуравање, неповратан губитак способности рехидратације, губитак испарљивих састојака, загоревање, губитак биолошки активних једињења осетљивих на топлоту, губитак ензима, а који се превазилазе унапређењем самог процеса технолошке обраде.

Са становишта технологије сушења воћа кључне су три фазе третирања материје за сушење, а то су припрема за сушење, сушење и операције након сушења.

3.1. Припрема за сушење

Сама технологија сушења воћа има за циљ производњу квалитетно осушеног производа па је зато врло битно одредити ток примарне производње, избор врсте и сорти воћа за сушење, избор технолошког поступка сушења, дораде и паковања производа према савременим захтевима квалитета али и крајњих потрошача..

Сама примарна производња воћа намењеног сушењу обухвата јасно дефинисан изпланиран процес производње квалитетне сировине за сушење, од одабира одговарајућег сортимента, преко примене посебних агротехничких мера и све до начина и тренутка бербе сировине.

Иако све могу да се суше, нису све воћне врсте подједнако повољне за сушење. Наиме, неке не дају довољно квалитетан производ док друге, рецимо, нису довољно економски исплативе. Посматрајући из тог угла, код нас, у Србији, традиционално најзаступљеније врсте воћа за сушење су шљива, грожђе, кајсија и смоква, док је у новије

време присутан и пораст потражње суве вишне нарочито на тржиштима Русије и Француске, као и боровнице која се пробија на тржиште као воће које све више добија поверење потрошача због својих здравствених бенефита.

Обрада и прерада воћа почиње одмах након његове бербе чиме се спречава његово кварење или губитак квалитета. Под припремом за сушење подразумевамо издвајање страних примеса из воћа (грудвице земље, каменчићи, лишће, гранчице), прање и калибрацију воћа. Врло често се примењују и различити поступци који за циљ имају спречавање промене боје сировине. [3]

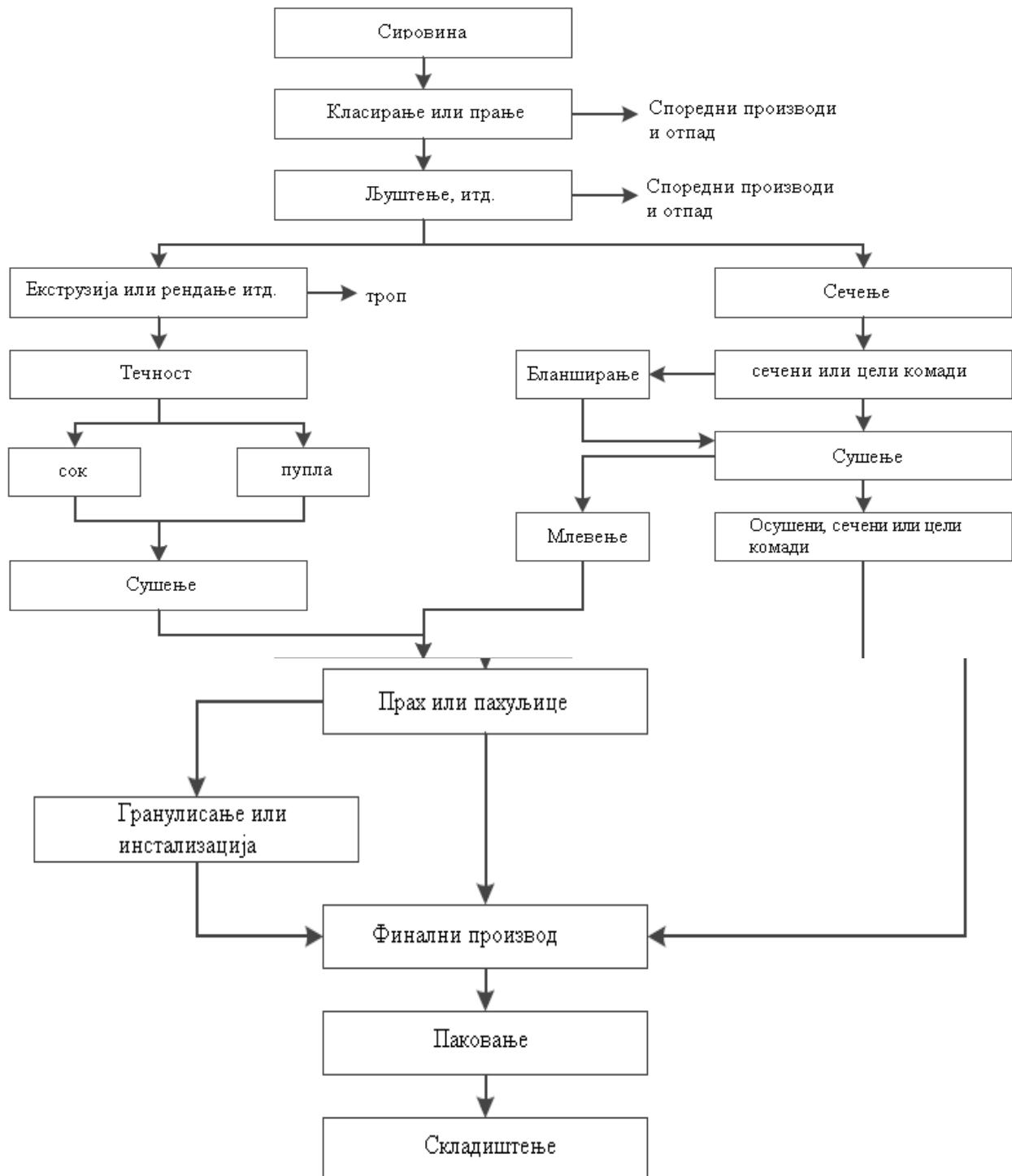
Приликом припреме за сушење, воће се може љуштити или уситњавати на коцке или резанце. Од овог начина обраде сировине зависе облик, уједначени садржај воде, време рехидрације и запреминска маса финалног производа. Уколико су комади неуједначени онда ће бити неравномерна и брзина сушења, што за последицу има неуједначену осушеност и шароликост у погледу брзине и интензитета рехидрације, стога се плодови морају калибрисати по величини како би се омогућило равномерно сушење плодова, нарочито код плодова који се суше целовити. Број класа зависи од саме сировине. На пример, шљива се суши цела и калибрише у три класе.

Модернизација процеса припреме плодова за сушење подразумева и третирање разним адитивима са циљем олакшања сушења и очувања боје, па се тако шљиве и грожђе могу третирати врелим алкалним раствором, чиме се раствара слој воска на кожици који отежава сушење. Проблем промене боје може се спречити сумпорисањем које је одавно познат начин спречавања оксидативних или ензимских реакција. Сумпорисање је поступак који се обавља у посебним коморама у којима се сагорева чист сумпор. Ова припрема треба да спречи потамњење воћа. Тако, сумпорисање колута јабуке траје 15-30 минута, полутки кајсије 2-3 сата, а грожђа и смокава око три сата. Кришке крушака се сумпоришу у комори 15-20 минута са 2,3 кг сумпора на тону воћа. Поред сумпорисања у примени је и бланширање које се обавља уз помоћ водене паре или потапањем у раствор NaOH. На тај начин, кајсија се третира воденом паром у трајању 2-4 минута, бресква такође (4-8 минута) као и крушка. Шљива и бобице грожђа се потапају у 2-3% раствор NaOH након чега се испирају хладном водом. Смоква се потапа у раствор кухињске соли ради добијања лепше боје и омекшавања кожице, а такође се може потапати у раствор NaOH.

3.2. Сушење

Сам процес сушења воћа и поврћа има за циљ максимално искоришћавање саме сировине, економичност производње и квалитетан производ. Стога је избор одговарајуће технике сушења од велике важности за добијање производа жељеног квалитета. Карактеристика материјала који се суши, његова осетљивост на топлоту, физичка структура, крајња намена, као и трошкови самог процеса су основни параметри којима се дефинише техника сушења. Неке технике, као што је сушење смрзавањем, погодне су за скоро све врсте воћа и поврћа, али високи трошкови самог процеса ограничавају његову

ширу примену.



Слика 1. Општа шема сушења воћа [7]

3.3. Операције након сушења

Након операције сушења, неопходно је уједначити сировину по димензијама, боји и облику, у виду ситњења, класирања и пребирања. Класирања подразумева издвајање комадића већих или мањих од прописаних димензија, уклањање оштећених осушених плодова и страних примеса као што су метални опиљци па се стога врло често на крају линија може уочити и метал детектор. Воће се истовара на хоризонталну траку са које радници у контролисаним условима, ручно елиминишу све плодове нездравог изгледа, као и лишће и гранчице, којих има нарочито после машинске бербе.

Приликом паковања самог производа, мора се водити рачуна о одабиру амбалаже која мора бити непропусна за воду, кисеоник, светлост и стране мирисе. Код материја које су осетљиве на оксидацију препоручљиво је паковати их у инертном гасу, најчешће азоту, чиме се спречавају погоршања боје и укуса, чак и након дужег складиштења на вишим температурама.



Слика 2. Пребирање [7]



Слика 3. Прање воћа [7]



Слика 4. Машина за резање воћа [7]

4. Конзервисање сушењем

Модерна пољопривредна производња је све више окренута према узгоју воћа и поврћа па су се повећале и потребе за прерађивачким капацитетима и њиховим конзервирањем. Као један од најстаријих, најједноставнијих и најпоузданијих начина конзервисања воћа и поврћа истиче се сушење.

Услед недостатка прерађивачких капацитета велика количина примарних домаћих производа пропада па се већина домаћих потреба подмирује увозом из развијених земаља. Улагањем у нове и реконструкцијом постојећих технолошки застарелих сушара, решио би се проблем пласмана домаћих производа на како нашем тако и на иностраном тржишту, а што би такође дало подршку развоја воћарства у нашим крајевима. Једна од кључних предности конзервисања сушењем састоји се у његовој економичности јер се сушењем одстрањује вода из производа чиме се смањује његова тежина и запремина, а са овим и трошкови у амбалажи, транспорту и складиштењу. Осушени производи се знатно лакше и сигурније транспортују, па се отуда у великој мери користе за исхрану.

Садржина воде у воћу и поврћу креће се од 80% до 90%. Одстрањивањем воде као основног услова за нормални метаболизам микроорганизама, одстрањује се и садржај шећера и осталих састојака, па је исхрана микроорганизама отежана, па и онемогућена. Стога, применом сушења микроорганизми се не уништавају већ се онемогућава њихова исхрана, а самим тим и размножавање, што води њиховом изумирању. Овакво спречавање развоја микроорганизама познато је као ксероанабиоза. Кључни показатељ успеха процеса сушења воћа јесу настале промене састојака плодова који прелазе у агенс сушења. За успех процеса сушења стога су задужени квалитет и хемијски садржај минералних материја у непромењеном облику. Из ових разлога се поступак сушења мора прилагођавати врсти воћа које је предвиђено за сушење.

Сушење воћа се може обављати струјом топлог ваздуха (конвекционо сушење) у контролисаним условима, а у неким случајевима, код сировина чији се састојци мењају због присуства кисеоника, грејни медијум може да буде и неки други гас (азот, угљендиоксид и др) што поскупљује производњу.

Конвенционално сушење се обавља у затвореном, контролисаном простору - сушари, где је обезбеђено загревање ваздуха и његова циркулација као и кретање производа. Са повећањем температуре повећава се и способност ваздуха за примање влаге, јер се релативна влажност смањује. Циркулација ваздуха се постиже вентилатором, а загревање сагоревањем угља, или дрва, електричним путем или применом прегрејане паре. Стога атмосферски ваздух који се користи у сушарама представља смешу сувог ваздуха и водене паре, а основне величине које карактеришу стање влажног ваздуха су: апсолутна и релативна влажност, температура, апсолутни притисак, парцијални притисци сувог ваздуха и водене паре у смеси, специфична запремина, специфична тежина влажног ваздуха. [2]



Слика 5. Сушара за сушење воћа [4]

Оно што је заједничко свим сушарама је одстрањивање воде из сировине испаравањем које се врши на температури која никад не достиже тачку кључања. У супротном, радило би се о концентрисању. Стога, да би се приликом сушења добио квалитетан производ, неопходно је усавршити и унапредити услове испаравања воде и одстрањивања паре.

Највећа количина паре коју може да прими и садржи одређена маса ваздуха на некој температури је она која одговара напону паре чисте воде. Вода коју садржи воће другачија је него чиста вода јер садржи воћне шећере, соли, минерале, итд. Напон паре у случају испаравања воде из воћа је нижи од напона паре чисте воде. Стога се током сушења, повећањем концентracије све више смањује напон паре, а то условљава при крају сушења веома споро испаравање. С обзиром да напон паре сваке течности расте са температуром, повећањем 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. Међутим, не треба се увек користити 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°C.

4.1. Температура

Температура је један од основних фактора сушења воћа. Што је она већа, сушење се обавља брже. Температура се мора прилагођавати према карактеристикама саме сировине и при томе се узимају у обзир промене које настају на производу које за последицу имају промену боје и састава осушеног производа. Висока температура негативно утиче на квалитет коначног производа јер се врло често излагањем производа високим температурама на почетку сушења јавља запечен слој на површини производа. Било да се

сушење обавља спорије, у атмосферским условима, на сунцу, или брже, у контролисаним условима подешавањем температуре, основни циљ је да се при том добије задовољавајући квалитет осушеног производа. Почетна температура треба да буде од 40 °C па да се креће до 80 °C.

4.2. Начини кретања загрејаног медијума

Постоје три начина кретања загрејаног медијума у односу на кретање производа:

- истосмерни,
- противсмерни и
- циклонски.

Истосмерни правац кретања загрејаног медијума и сировине која се суши, обезбеђује сушење од више ка нижој температури. 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 омогућава скраћивање времена трајања сушења. На овај начин се суши ситно сечено воће.

Противсмерни начин сушења се врши кретањем загрејаног медијума у супротном смеру од кретања сировине. Сушење започиње 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 представља улазак загрејаног медијума са бочних страна сушилице. Карактеришу га једнаки услови током сушења као и доста интензивно испаравање што зависи од температуре. Овако се највише суше житарице, зачинско и лековито биље, код неких врста шумског воћа и ситног и култивисаног ситног јагодастог и бобичастог воћа (јагода, малина, купина).

4.3. Брзина сушења

Квалитет осушеног производа је основни параметар према коме се утврђују сви остали фактори технологије сушења. 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 су елементи који утичу на брзину сушења и квалитет коначног производа.

У почетној фази сушења губитак воде је највећи и тада брзина испаравања расте, све док се не постигне равнотежна влажност између производа и загрејаног медијума. Затим настаје фаза константне брзине испаравања при чему је уједначен губитак влаге. Површина производа је тада засићена влагом и брзина испаравања је иста или чак нешто мања од брзине дифундовања воде из унутарњих слојева ка површини. 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.

На брзину сушења између осталог утиче и начин на који је вода везана у ткиву производа па разликујемо слободну и везану воду.

Слободна вода је део влаге у производу која је механички везана, смештена на површини у капиларима, брзо и лако испарава већ 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. Позната је још као колоидно везана вода и чини већински део воде у производу који се одстрањује из производа константном брзином испаравања, али не у потпуности.

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 притоца воде из унутрашњих слојева производа до површине. Температура површине производа у овој фази почиње да расте, приближавајући се температури сувог термометра.

Због смањења површине испаравања, трећу фазу сушења одликује пад брзине сушења која пада линеарно док не испари сва вода са површине а ниво воде се спушта у капиларе. Кретање воде из унутрашњих слојева ка површини може бити капиларно, дифузијом течности и паре. [1]

4.4. Начини сушења воћа

У зависности од претходне припреме и физичко-хемијских својстава, воће и поврће може да се суши на више начина од којих су најпознатији :

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

4.4.1. Сушење на сунцу

Најстарији и најекономичнији начин сушења који је заступљен у земљама које имају довољан број сунчаних дана без падавина као што је то Северна Африка. Поред економичности и ниске температуре сушења, карактерише га потреба за већим површинама сушења и знатно дуже сушење.



Слика 6. Сушење на сунцу [2]

Сушење на Сунцу углавном се заснива на искуству и традицији. Влажна сировина шири се по пољу или бетонским пистама како би се сушио на Сунцу и ветру. Сунчева енергија омогућава испаравање воде, док ветар помаже уклањање воде, те се тако процес убрзава.

Време сушења на Сунцу зависи од карактеристике сировина и услова сушења и креће се у опсегу од 3 до 4 дана, али може бити и дуже. Током овог времена, материјал се штити од кише, инсеката, птица, животиња итд. Развијено је неколико практичних метода за смањивање времена сушења. Различитим пред-третманима се смањује време сушења, као на пример парење, потапање у кипућу воду или шећер и/или раствор соли или употреба етил-, метил- или натријум олеата итд. Коришћењем колектора соларне енергије, са или без природног или вештачки изазваног струјања ваздуха унутар сушаре у данашње време постиже се временска уштеда, а ова техника је позната као соларно сушење.

Температура воћа током сушења на Сунцу је обично између 5 и 15 °C изнад температуре околине. Неке од предности сушења на Сунцу су економска и еколошка исплативост с обзиром да соларна енергија не загађује околину. Али зависност од спољашњих временских и хигијенских услова, с обзиром да се сировина суши напољу, су главни недостаци оваквог сушења.

Ипак, квалитет сушеног производа је добар због ниске температуре сушења, али услед дугог сушења долази до тамњења производа па се стога пре излагања Сунцу сировина излаже сумпорисању.

4.4.2. Конвенционално сушење

Сушење конвекционим струјањем загрејаног ваздуха у контролисаним условима представља један од најзаступљенијих начина сушења воћа. Сушење се обавља у затвореном простору, сушари, 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 је краће у поређењу са сушењем на сунцу. Струјање ваздуха утиче на брзину испаравања, односно на време трајања сушења. Брзина кретања ваздуха у овако контролисаним условима може да се креће од 2m/s до 10 m/s, најчешће се користе брзине од 4,5 m/s.



Слика 7. Модерна сушара [10]

Начин кретања сировине у сушари зависи од конструкционих решења сушаре. Обично је то обезбеђено померањем леса на вагонетима, специјалним држачима или бескрајним транспортерима. Да би се сушење што брже обавило, односно да би се постигао непходан квалитет осушеног производа сировина мора да се припреми за сушење. Ту подразумевамо сушење и сечење како би се олакшало испаравање и добила што већа површина испаравања. Овако припремамо крупније врсте воћа, јабуку, крушку, дуњу, кајсију. 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. На тај начин 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 kg до 3 kg сумпордиоксида. Сумпорисање траје неколико сати, а онда се производ уноси у сушару. Влажни поступак се обавља потапањем производа од 0,1 % до 0,5 % раствора сумпоране киселине, а овај поступак се ређе користи.

4.4.3. Сушење распрскавањем

Поступак којим се постиже разбијање производа у врло ситне капи величине од 5 до 1000 микрометара и стварају услови за врло брзо сушење, свега неколико секунди, а што омогућава висока температура загрејаног медијума назива се сушење распрскавањем. 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 који задржавају сва своја карактеристична својства са незнатним променама хемијског састава. Поступак је континуалан и омогућава велику продуктивност. [3]

Распрскавање захтева да производ буде течан, па се овај начин сушења, може да се примењује за сокове, екстракте кафе, какао, чај и слично. Овај процес сушења може да се дели у две фазе, које се одвијају у сушари. 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.

Уређаји за распрскавање могу да буду ротирајући или статички. Од ротирајућих уређаја познат је уређај са плочом и уређај са диском центрифугалног распрскавања. Правац кретања ваздуха може да буде истосмерни са кретањем производа или противсмерни. У случају истосмерног кретања, најтоплији ваздух долази у додир са производом кад садржи највећи проценат влаге, па се сушење обавља врло брзо и нема опасности да дође до превеликог загревања. Код против струјног сушења кретање производа и топлог ваздуха су супротни. Осушени производ се издваја тако што најкрупније осушене честице падају на дно сушаре, 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 сушаре. У сврху квалитетнијег производа, соку се додају стабилизатори и средства на бази скроба и целулозе, а због очувања боје могу се додати антиоксиданти међу којима су најпознатији соли сумпорне и аскорбинске киселине.

4.4.4. Сушење у пени

Осушени производ има боља рехидрациона својства повећањем гасовите фазе у производу чиме се олакшава испаравање воде, што је значајно за квалитет коначног осушеног производа.

Да би се произвела стабилна пена производа уз удување 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. Количина додатог стабилизатора креће се до 1 %. Како би произвели стабилну пену 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 сушења до два процената влаге трајало би око 60 минута, а са удувавањем ваздуха свега 15 минута. [4]

4.4.5. Концентрисање

Концентрисање производа заснива се на принципу стварања високог атмосферског притиска што се постиже додавањем шећера производу или испаравањем воде. У оба случаја ствара се средина истих физичких својстава у којима се микроорганизми ретко развијају. Концентрисање је термички процес који подразумева одстрањивање воде из производа испаравањем на температури кључања. Тачка кључања зависи од притиска, па се концентрисање може обављати на температури од 100 °C под нормалним атмосферским притиском или на знатно нижим температурама у вакууму. У циљу бољег квалитета концентрисаног производа, битно је концентрисање у условима сниженог притиска, при чему температура кључања не би требало да је изнад 45 °C.

Овим начином сушења остварује се економска уштеда јер се производ транспортује и складишти са мање трошкова. За испаравање воде троши се топлотна енергија, која се добија коришћењем прегрејане водене паре. За испаравање 1 kg воде потребан је теоријски 1 kg водене паре у условима обичног притиска као и у вакууму, али испаравање у вакууму пружа могућност вишестепеног испаравања чиме се постиже уштеда у потрошњи паре, поред тога што нижа температура кључања утиче повољније на састав производа.

Разликујемо једностепено и вишестепено испаравање. Једностепеним испаравање је испаравање код којег је потребна концентрација само у једном вакум апарату и нема никакве уштеде у пари (за 1 kg испарене воде троши се око 1,1 kg прегрејане паре). Вишестепеним испаравањем смањује се утршак паре из парног котла, а испаравање може да се обави у два или више вакум испаривача јер се уштеда радне паре испаравањем из другог и трећег испаривача коришћењем паре из првог односно другог испаривача.

5. Сушаре за сушење воћа

Конвекциони поступак у индустрији сушења подразумева разне типове сушара, различитих по капацитету тако и конструкционим решењима у погледу регулисања елемената неопходних за сушење. Најзаступљеније сушаре код нас су сушаре за сушење целих плодова шљиве. То је адаптирани тип калифорнијске сушаре домаће производње ЦЕР, тунелског типа. Заступљене су две врсте, једна је конструисана тако да топли гасови, који се добијају сагоревањем нафте, директно улазе у тунел за сушење, а други, новији тип, подразумева загревање тунела индиректно. У тунелској сушари која је додатно побољшана постављањем топлотне изолације, смањен је топлотни губитак, и пројектован и постављен рециркулацијски цевовод којим се део топлог ваздуха враће у процес сушења.

Радни флуид, тј. влажан ваздух из горњег канала сушаре вентилатором се усмерава у доњи канал где се преласком преко грејача врши његово загревање. При томе је температура ваздуха при улазу у доњи тунел 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 %. Сушара је снабдевана 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 сушаре 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 сушаре, а загрејан чист ваздух преко усмеривача убацује у сушару, односно у тунел за сушење. У овом случају загрејни медијум може да буде и водена пара. Сушење шљива са против струјним кретањем у овој сушари траје од 18 до 20 часова, а ако је истосмерна онда нешто краће.

Врсте воћа које се могу подвргнути процесу сушења су: јабука, кајсија, вишња, шљива, бресква, смоква, крушка, грожђе, банана, лубеница... У табели 1 приказани су параметри за сушење неких врста воћа који се у нашим крајевима најчешће суше.

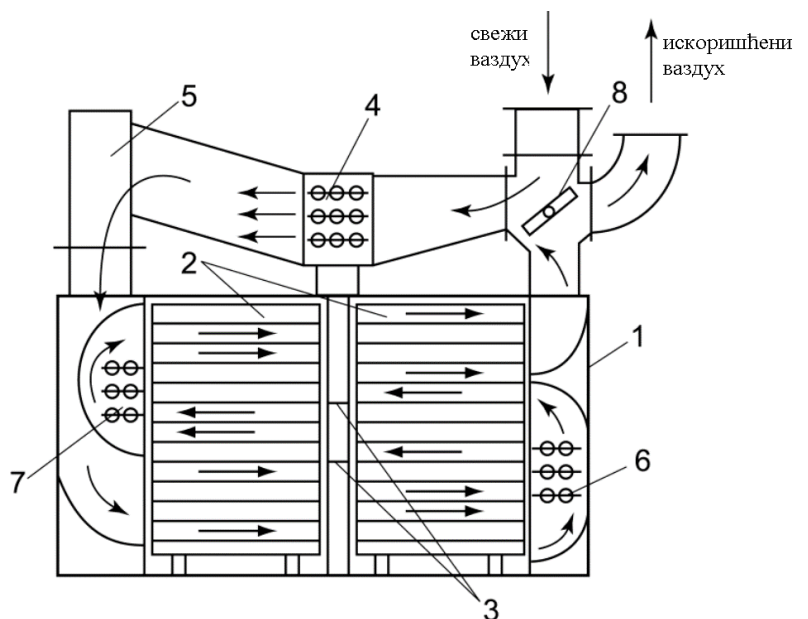
Табела 1- Параметри сушења [2]

Врста воћа	Време сушења h	Температура °C почетак крај				Количина робе на леси kg/m ²	Потребно kg влажне робе за 1 kg суве робе
		сува	влажна	сува	влажна		
Јабука	10-15	74-70	63	62-65	52	9,8	6-8
Кајсија	15-25	45	37	65	52	10	7-8
Шљива	14-18	75	64	60-65	52	16,4	3-4

Вишња	8-12	55	46	75	60	6,5	8-10
Бресква	15-24	45	37	65	52	13,5	7,9
Смоква	15-20	50	41	75	60	14	2,5-3
Крушка	15-24	45	37	65	52	16,5	6-7
Грожђе	15-20	75	64	70	56	14	5-6

5.1. Коморна сушара

Коморна сушара најједноставнији тип сушаре која користи ваздух као медијум за сушење. Рад сушаре је дисконтинуалан. Сушара омогућава обраду различитих производа, од течних емулзија до чврстих материјала па су распрострањене у прехранбеној индустрији. Карактеристична коморна сушара састоји се од изолованих комора са полицама на које се стављају посуде у којима се налази влажни материјал који се суши. Вентилатор потискује ваздух кроз грејач, а потом хоризонтално између полица или вертикално кроз њих. Део ваздуха се може рециркулисати, или се сав ваздух испушта у атмосферу. Влажан материјал ставља се на полице у релативно танком слоју дебљине 1 до 6 cm па капацитети ових сушара нису велики. Недостаци овог типа сушара је велики мануелни рад потребан за опслуживање сушаре и релативно слаб интензитет сушења па се понекад користе за финално сушење и изједначавање осушеног поврћа.

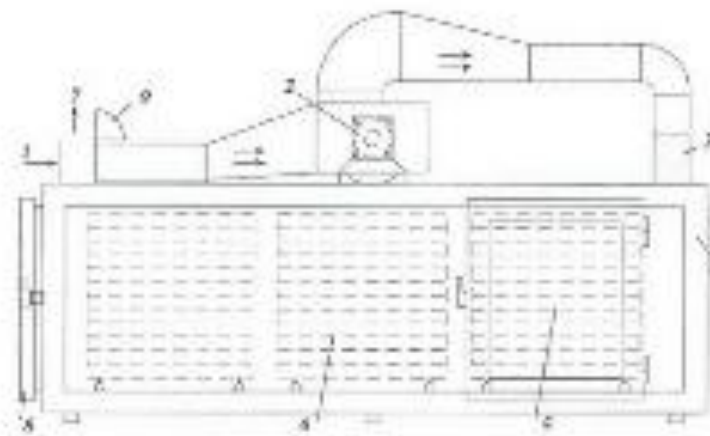


Слика 8. Коморна сушара: [8]

1 - комора за сушење; 2 - подови на којима се налази влажан материјал; 3 - преграде које одвајају секције у сушари; 4 , 6 и 7 - калорифери; 5-вентилатор; 8 - плоча за расподелу свежег и искоришћеног ваздух.

5.2. Тунелска сушара

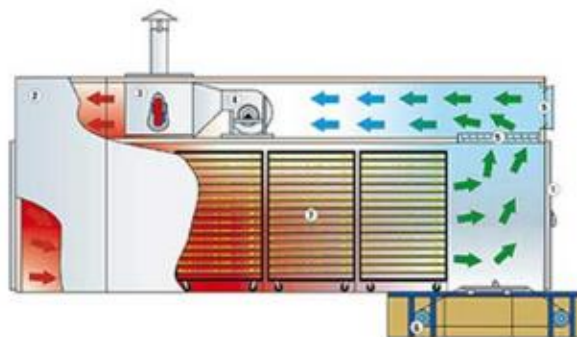
За разлику од коморних сушара које се заснивају на дисконтинуалном начину рада, тунелске сушаре представљају сушаре са континуалним радом. Основни део ових сушара је издужена комора тунел која може да буде различите дужина и до 90 m и најчешће су израђене у облику објекта.



Слика 9. Шематски приказ тунелске сушаре [8]

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 комори се налазе 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 хидрауличног 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 лесе са плодовима.

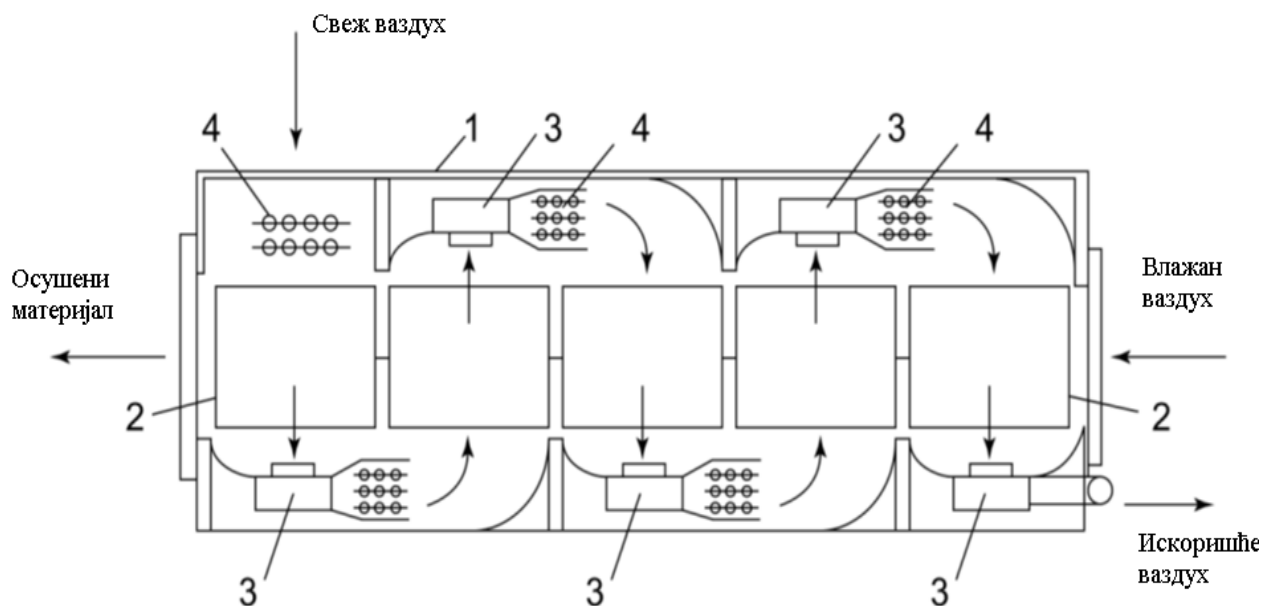


Слика 10. Принцип рада тунелске сушаре [8]

На овај начин потпуније се користи топлотна енергија, што 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 модернијих сушара на излазу не постоје врата, како би влажан ваздух излазио 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 капацитета и преко 20 тона.

Кретање колица у односу на ваздух може бити истосмерно и противсмерно. Свеж ваздух вентилатором се потискује преко измењивача топлоте, где се загрева на потребну температуру и усмерава на влажни материјал. Део ваздуха може се рециркулисати или цео избацити у атмосферу.

Неки од главних недостака су неравномерно сушење и велик утршак мануелног рада.



Слика 11. Тунелска сушара. [8]

1 - комора за сушење; 2 - вагонети са влажним материјалом; 3 - вентилатори; 4 – калорифери

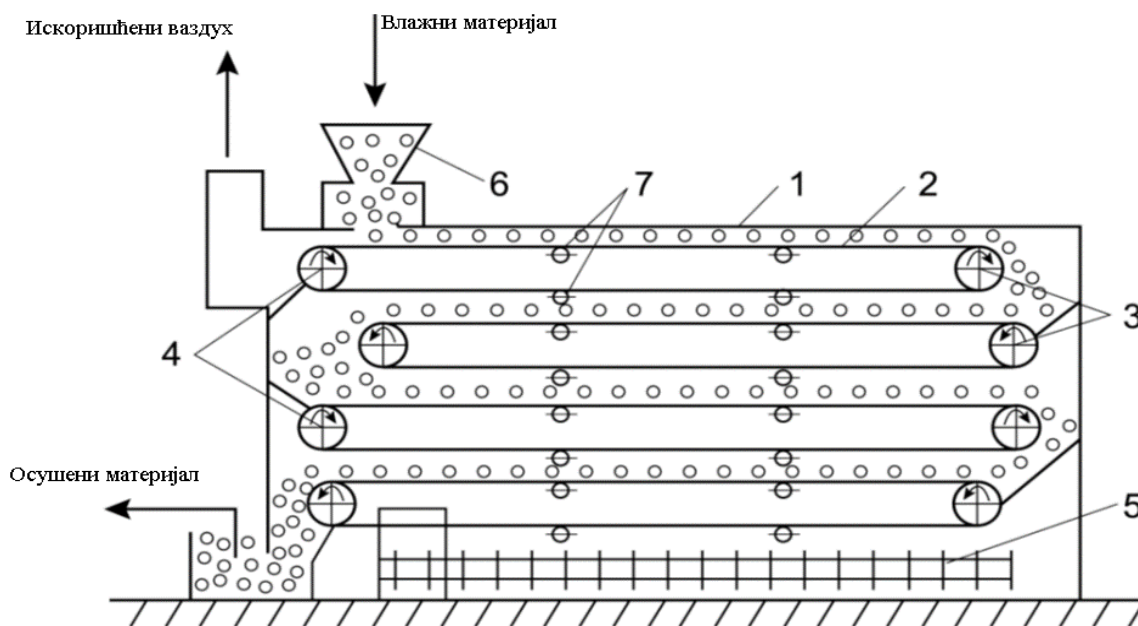
5.3. Тракасте сушаре

Овај тип сушаре је веома популаран у области прераде поврћа и карактерише га континуалан рад. Поступак рада заснива се на томе да се влажан материјал носи кроз тунел на перфорираним (мрежастим, рупичастим или решеткастим) бескрајним покретним

тракама при чему се загрејани ваздух усмерава кроз покретну траку и слој материјала, или се усмерава преко површине материјала, уколико се ради о сушењу у танком слоју на неперфорираним тракама. Кретање ваздуха у односу на покретан влажан материјал може бити противсмерно или унакрсно при чему ваздух струји изнад чврстог материјала, загрева га и одузима му воду. Али, постоје модели са струјањем ваздуха у истом или супротном смеру од кретања материјала које су искључиво за храну која је исечена, гранулисана па формира порозну подлогу. [12]

Постоје модели који се састоје од две или више покретних трака у серији (редно постављених). За сушење поврћа, могу се користити вишеструке покретне траке (до 5), једна изнад друге. Влажан производ се уводи на горњу покретну траку и креће надоле са једне покретне траке на другу. Циркулација ваздуха је обично комбинација укрштеног и истосмерног/противсмерног кретања.

Основни недостаци ових сушара су релативно висока потрошња топлоте и уско поље могућности примене јер су погодне само за сушење растреситог материјала. Проблем неравномерног сушења површине сировине и унутрашњости слоја решава се пресипањем сировине са једне траке на другу и унакрсним кретањем ваздуха у односу на влажан материјал при чему се повећава површина контакта између топлог ваздуха и честица сировине и тако постиже брже и равномерније сушење.



Слика 12. Тракаста сушара [8]

1 - комора за сушење; 2 - бесконачна трака; 3, 4 - погонски бубњеви; 5 - калорифер; 6 - дозатор; 7 - лежајеви за покретање траке

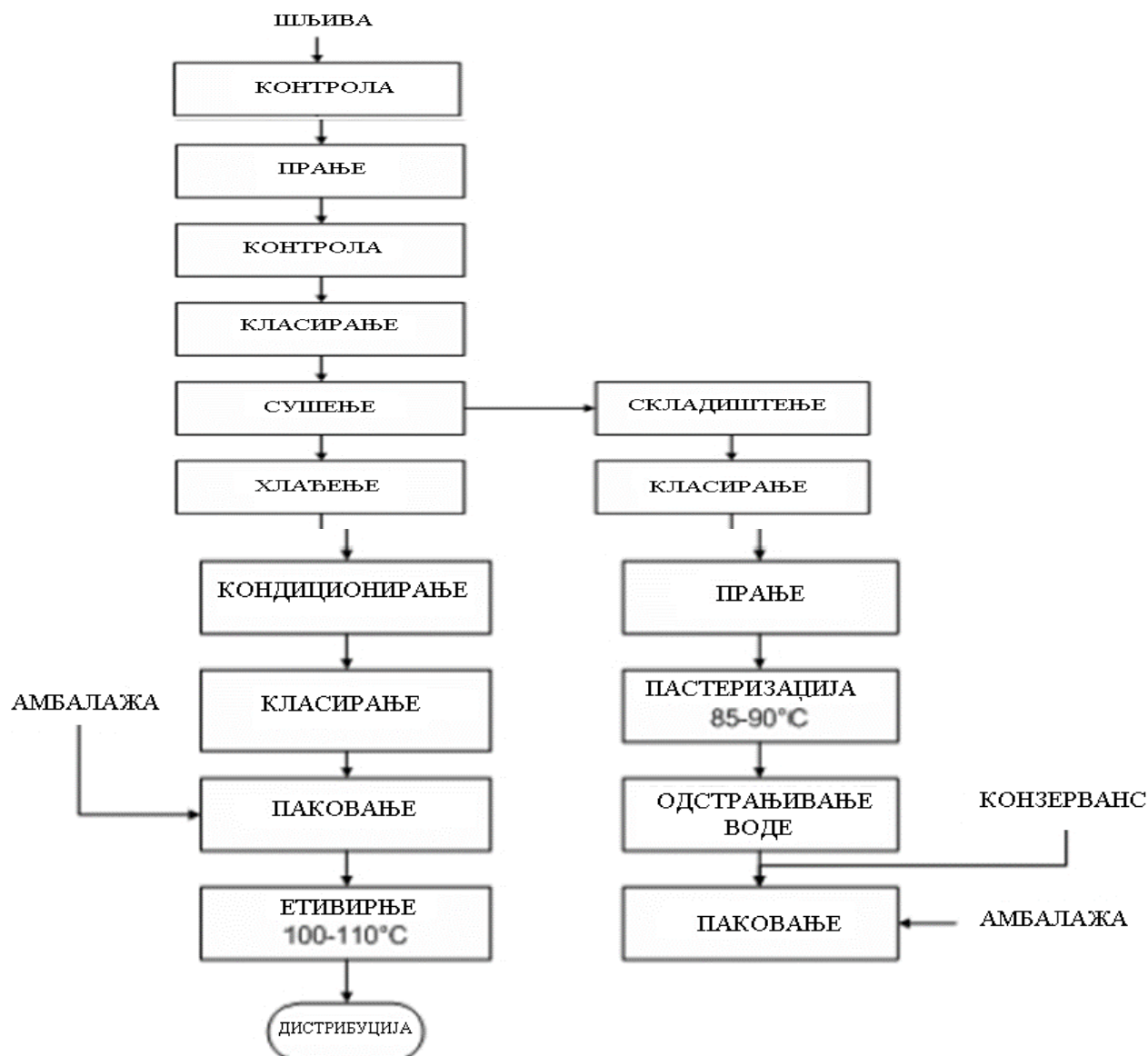
6. Пројектовање сушаре

За пројектовање је изабрана сушара тунелског типа, а воће које би се сушило су шљиве. Ове сушаре могу бити веома великих капацитета по једном тунелу. Зависно од начина кретања загрејаног ваздуха у односу на кретање колица са плодовима могу бити:

- Противсмерне – загрејан ваздух се креће у супротном смеру у односу на смер кретања колица са лесема и плодовима и
- Истосмерне - колица са плодовима се крећу у истом смеру са смером кретања агенса сушења.

Изабрана сушара била би супротносмерног типа. Шљиве као главна врста воћа која би се сушила, су плодови вишегодишње, дрвенасте, листопадне биљке цветнице. У свету се узгаја чак око 2000 сорти шљиве међу којима је Кина највећи произвођач, а потом САД, Румунија, Немачка. Најважнији центри производње шљиве у Србији су региони Ваљева и Западне Мораве, а мањи су шумадијски, подунавски и понишавски. Плод домаће шљиве је сочна коштунца. Његова маса се креће од 7-100 грама. Јестиви део плода (покожица и месо) чини 94 – 96% масе, а остатак коштица и семенка. Састојци јестивог дела плода шљиве су вода, шећери, органске киселине, масне, азотне, опоре, бојене и ароматичне материје, витамини, ензими и минералне материје (пепео). Вода чини 74 до 87% масе плода.

Технологија сушења шљиве садржи две фазе а то су сушење и завршна обрада. Поступак сушења подразумева технолошке операције као што су инспекција → прање → инспекција → класирање → стављање на лесе → сушење, а поступак завршне обраде укључује операције инспекцију → класирање → прање → пастеризацију → одстрањивање површински задржане воде → додавање конзерванаса → паковање (пуњење амбалаже и затварање). [12]



Слика 13. - Технолошки поступак сушења шљива [10]

Инспекцијом из гајбица преко пријемног транспортера шљива се убацује у машину за прање при чему он мора бити подешен тако да се пре прања обави прва инспекција ради уклањања трулих, зелених плодова и доспелих страних примеса што се најчешће обавља ручно.

Након прања плодова у хладној води уз барботирање и испирање преко тушева, обавља се поново инспекција сада већ чистих плодова који иду на даљу обраду.

Класирањем се пробрани плодови упућују на уређај за класирање по крупноћи при чему се шљива класира у три класе. Прва и друга класа се суше, а трећа, ситни плодови, се користи за друге производе (џем, пекмез, алкохолна пића). Свака класа се суши посебно,

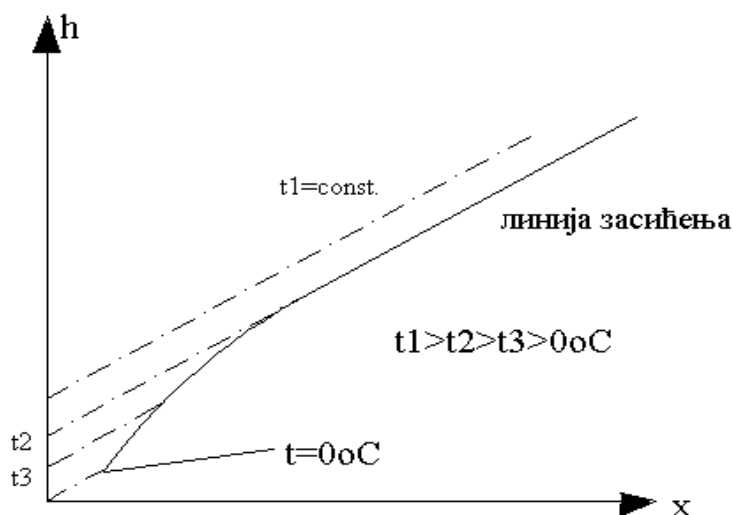
јер се уједначеном крупноћом плодова омогућава равномерније сушење.

Стављање на лесе може бити ручно или аутоматски преко специјално конструисаног уређаја. Уколико је реч о машинском пуњењу леса, ручно се само контролише дебљина слоја плодова. Напуњене лесе стављају се на колица која се преко шина убацују у сушару.

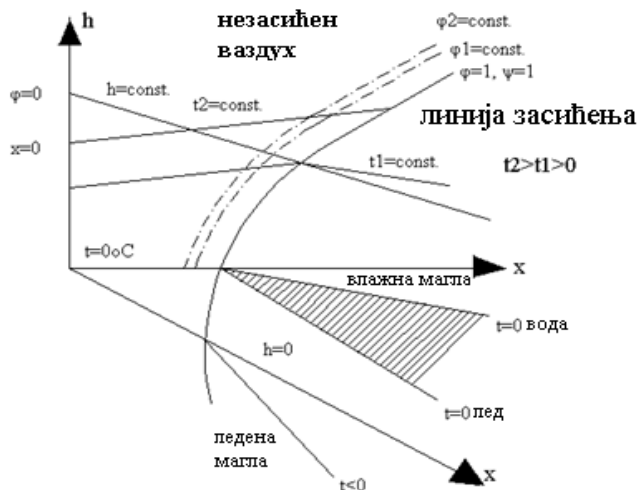
Код континуалних сушара плодови се стављају поступно на покретну траку, преко које се плодови уносе у сушару на сушење. У сушарама са супротносмерним кретањем загрејаног ваздуха сушење траје око 20 часова. Почетна температура је од 75 до 78°C, а крајња од 50 до 60°C. Код истосмерних тунелских сушара почетна температура ваздуха може се кретати од 85 до 90°C, а крајња 60 до 65°C, при чему сушење траје од 16 до 18 сати. Осушена шљива треба да има 22 до 26% влаге, што зависи од начина даље обраде.

7. Молијеров h - x дијаграм за влажан ваздух

Приликом пројектовања инсталација за сушење, као и за извођења процеса сушења и многих других топлотних процеса, потребно је одредити за различита стања ваздуха одговарајуће параметре, а то су: t, ϕ, x, h . Ове величине, могу да се одреде аналитичким путем. Промене стања ваздуха и параметри ваздуха могу се такође пратити и одређивати веома једноставно и брзо са довољном тачношћу и графичким путем, коришћењем Молијеровог h - x дијаграма (слика 14). Подручје незасићеног влажног ваздуха у правоуглом h - x дијаграму је веома сужено. Тачност читавања вредности параметара у оваквом h - x дијаграму за влажан ваздух је мала, па је овакав облик h - x дијаграма неподесан за техничку примену.



Слика 14. Правоугли h - x дијаграм [13]



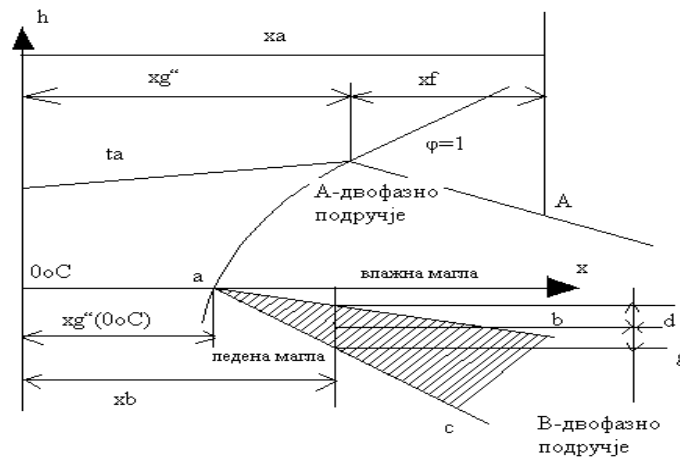
Слика 15. Шема Молијеровог h - x дијаграма [13]

Дијаграм на слици 15 је конструисан за нормалан атмосферски притисак од 1bar. На апцисну осу се наноси апсолутна влажност x , а на ординату енталпија h у kJ/kg s.v. Из једначине за енталпију влажног ваздуха се види да се линије $x=\text{const.}$, $t=\text{const.}$ и $h=\text{const.}$, графички могу представити правим линијама. На дијаграму вертикалне праве представљају линије константне апсолутне влажности x , праве које се приближавају хоризонтали представљају праве константне температуре t (изотерме), док праве нагнуте под углом γ једнаку енталпију h .

Тачка 0 узета је у пресеку $h=0$ kJ/kg, $t=0^\circ\text{C}$, и влажности $x=0$ kg/kg s.v. Изотерма $t=0^\circ\text{C}$ је нормална на ординату у незасићеном подручју. Свака изотерма има одређену вредност влажности засићења x_g . Спајањем тих тачака добија се гранична линија, или линија засићења (росе). На њој је релативна влажност $\phi=100\%$ и степен засићења $\psi=1$. Изнад линије засићења је независно подручје, а испод је подручје влажне магле. Одређивањем дате релативне влажности за све изотерме и њиховим спајањем се добијају линије константне релативне влажности $\phi=\text{const.}$ Линија $\phi=0$ дефинише потпуно сув ваздух $x=0$ и поклапа се са ординатом на којој леже сва стања сувог ваздуха. Нагиб изотерми у незасићеном подручју од $x=0$ до $x=x_g$ је:

$$\left(\frac{dh}{dx_g}\right)_t = C_{pg} \cdot t + r_0 = 1.93 \cdot t + 2500$$

из чега се види да топлота испаравања воде r_0 дефинише нагиб изотерме у незасићеном подручју. Све изотерме за $t>0^\circ\text{C}$ имају већи нагиб због веће вредности члана $1.93 \cdot t$, па је зато подручје незасићеног влажног ваздуха веома сужено и тачност читавања параметара је мала. Изотерма кључања воде t_k (за стални притисак влажног ваздуха за који је дијаграм конструисан) сече линију засићења у бесконачности ($x_g=x_g(t_k)=\infty$) па представља њену асимптоту. Изотерме у подручју влажне магле такође су праве линије. Изотерме овог подручја имају мањи нагиб у односу на осу x него у незасићеном подручју (скоро се поклапају са изенталпијама), па је за $t=0^\circ\text{C}$ најмање одступање.



Слика 16. Двофазно и трофазно подручје [13]

У тачки А у подручју магле дефинисано је стање влажног ваздуха у коме се у равнотежи налазе суви ваздух, сувозасићена пара и вода на температури t_A и то је двофазно подручје. Очигледно је због чега се ово подручје назива двофазним, када се јасно види да се влага налази у гасовитом и течном стању (слика 16).

Маса сувозасићене водене паре $x_g''(t_A)$ по килограму сувог ваздуха може се директно прочитати у $h-x$ - дијаграму. Маса воде x_f по kg сувог ваздуха дата је разликом:

$$X_f = x_A - x_g''(t_A)$$

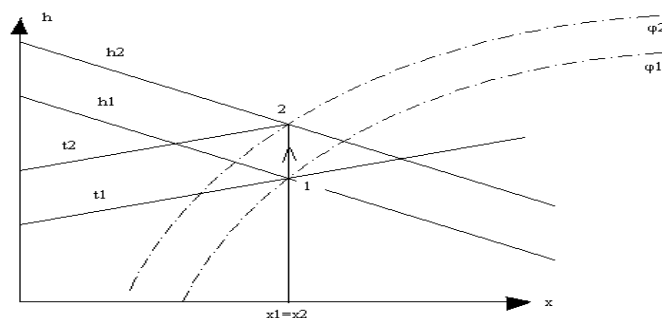
Ако је влага у влажном ваздуху делимично у чврстом стању тада се формира ледена магла у влажном ваздуху ($t \leq 0^\circ C$). У том случају је $x_g'' = \text{const.}$ и $x_f = 0$, па се добијају изотерме које су стрмије од изенталпи овог подручја, тако да из тачке „а“ на линији засићења полазе две изотерме у засићено подручје. Изотерма „ab“ припада влажној магли при $t=0^\circ C$, а изотерма „ac“ припада леденој магли при $t=0^\circ C$. Између тих изотерми јавља се површина у облику клина, а на слици 16 је та површина шрафирана. Овом површином дефинисано је трофазно подручје, а тачком В је дефинисано стање влажног ваздуха у том подручју. Ту су гасна фаза (суви ваздух и сувозасићена пара), течна фаза (вода) и чврста фаза (снег и лед) у равнотежи (слика 16).

7.1. Промена стања влажног ваздуха

При грејању и хлађењу влажног ваздуха уз услов да је $p = \text{const.}$ важи да је $q_{ij} = h_j - h_i$, па се вредности размењене топлоте могу лако читавати као отсечци ордината у $h-x$ -дијаграму.

7.1.1. Процес загревања влажног ваздуха

Загревањем влажног ваздуха не мења се његова апсолутна влажност $x = \text{const.}$, не мења се ни парцијални притисак водене паре $p_g = \text{const.}$, али се повећава температура (са t_1 на t_2). Кроз почетно стање (стање 1) влажног ваздуха са параметрима t_1 и ϕ_1 повуче се права $x_1 = x_2 = \text{const.}$ до пресека са изотермом која одговара температури загрејаног ваздуха t_2 . Добија се стање са параметрима t_2 и ϕ_2 које представља стање загрејаног ваздуха (стање 2). При томе се за загревање доводи количина топлоте: $q_{12} = h_2 - h_1$. То је процес од тачке 1 (t_1, ϕ_1, x_1) до тачке 2 (t_2, ϕ_2, x_2). Графички приказ овог процеса је дат на слици 17.

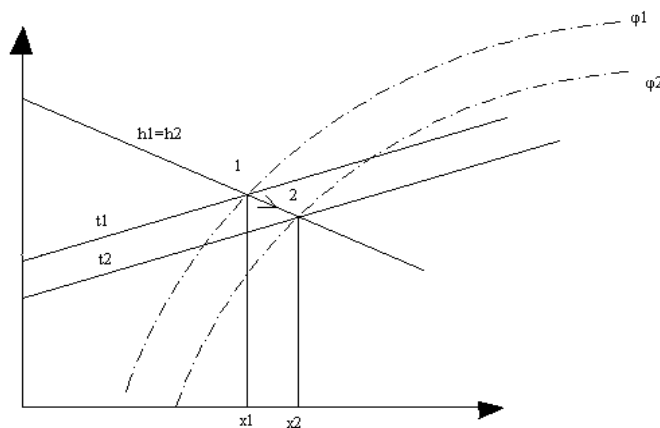


Слика 17. Процес загревања влажног ваздуха [13]

7.2. Процес хлађења влажног ваздуха-сушењем

Процеси хлађења влажног ваздуха се могу раздвојити на: процес када ваздух приликом хлађења прима водену пару из материје која се суши и процес хлађења без примања водене паре.

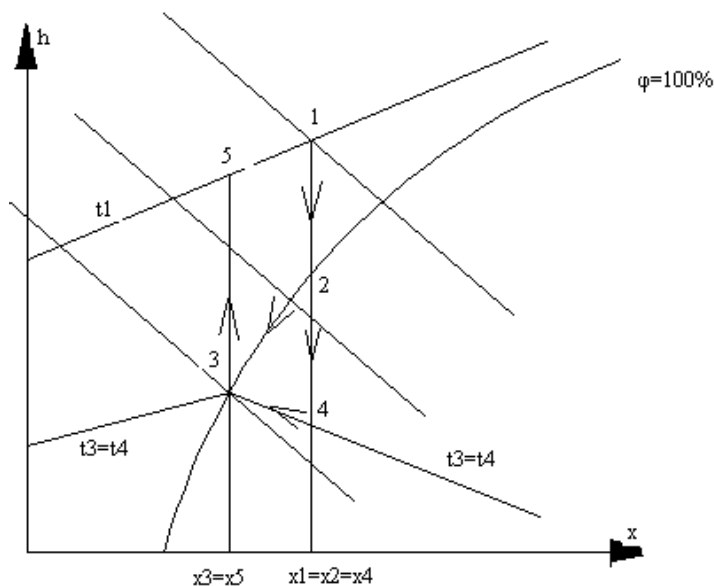
У првом случају процес хлађења се одвија по константној енталпији, јер и поред тога што се део топлоте предаје материјалу, та иста топлота се враћа ваздуху путем водене паре.



Слика 18. Хлађење ваздуха са примањем влаге [13]

На слици 18 почетно стање ваздуха са параметрима t_1 и ϕ_1 означено је са стањем 1. Ваздух се хлади по правој $h_1=h=\text{const.}$ која пролази кроз тачку 1. Стање охлађеног ваздуха се налази у пресеку $h=\text{const.}$ и изотерме која одговара температури t_2 охлађеног ваздуха (стање 2). Охлађени влажан ваздух има вишу релативну влажност ($\phi_2 > \phi_1$), вишу апсолутну влажност, а самим тим и већи парцијални притисак водене паре ($p_{g2} > p_{g1}$), док је енталпија остала непромењена. [13]

Уколико се влажан ваздух хлади, а да притом не прима влагу, процес је одвија по изобарском процесу, односно $p_{g2}=p_{g1}=\text{const.}$ У том случају се повећава релативна влажност $\phi_2 > \phi_1$, смањује се енталпија $h_1 > h_2$, док се апсолутна влажност не мења. При томе треба одвести топлоту $q_{12}=\Delta h=h_1-h_2$. Овакав термодинамички процес се одвија све док је температура хлађења виша од тачке росе. Међутим, када температура хлађења почиње да се снижава испод тачке росе, тј., ако се хлађење врши од тачке 2 (x_2, t_2) до тачке 4 (x_4, t_4) у подручју влажне магле, добија се мешавина засићеног влажног ваздуха стања 3 (x_3, t_3) и воде у течном стању температуре t_4 . Количина течне фазе износи $x_f=x_4-x_3$ и односи се на један килограм сувог ваздуха, или на $(1+x)$ kg влажног ваздуха. При овом процесу вода се кондензује и долази до смањења влажноси влажног ваздуха. Том приликом одводи се топлота $q_{24}=h_2-h_4$. Тада можемо рећи да се овај процес хлађења (условно речено) одвија по кривој релативне влажности ваздуха од 100% која је константа ($\phi_3=\phi_r$) од стања 2 до стања 3 (слика 19.).

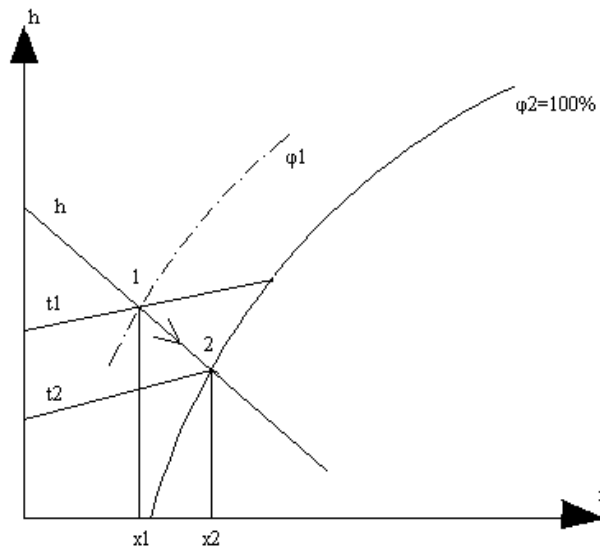


Слика 19. Хлађење ваздуха без примања влаге; сушење влажног ваздуха [13]

Ваздух који треба да суши материју апсорбује влагу и његов садржај влаге се уочава, па је за процес сушења погодан само незасићен ваздух, тако да је влажан ваздух потребно сушити. Када се засићен ваздух стања 3 (слика 19) загреје тако да се добије температура t_1 у стању 5, може се рећи да је процесом 1,2,3,5 влажан ваздух у стању 1 осушен. Доведена топлота при сагоревању је $q_{35}=h_5-h_3$. [13]

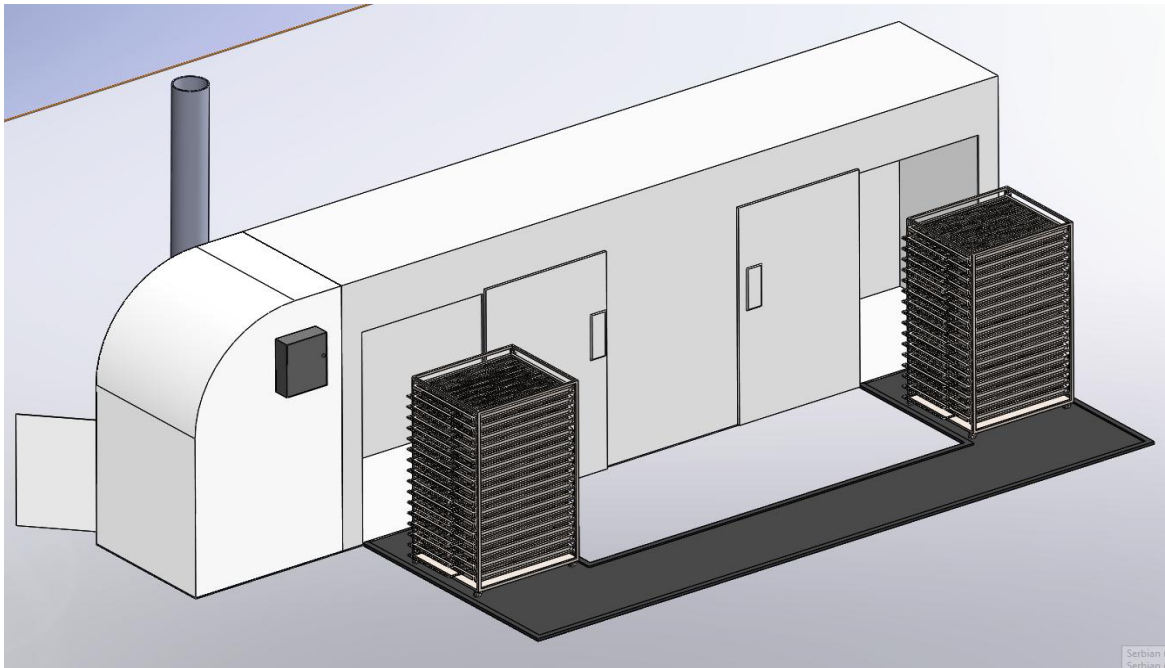
7.2.1. Процес испаравања влаге

Претпоставимо да је незасићен ваздух стања 1 (слика 20.) у додиру са водом чија је температура $t=0^{\circ}\text{C}$. У том случају вода испарава и постепено засићује ваздух. Испаравање воде врши се на рачун топлоте ваздуха, услед чега његова температура опада до температуре t_2 , када ваздух постаје засићен (стање 2). Температура t_2 се назива температура границе хлађења. Приликом испаравања воде ослобађа се топлота (латентна топлота) испаравања 2500 kJ/kg испарене воде. Ова се топлота са воденом паром враћа поново ваздуху. На тај начин апсолутна влажност се повећава по $h=\text{const.}$ (адијабатска промена стања).



Слика 20. Процес испаравања влаге [13]

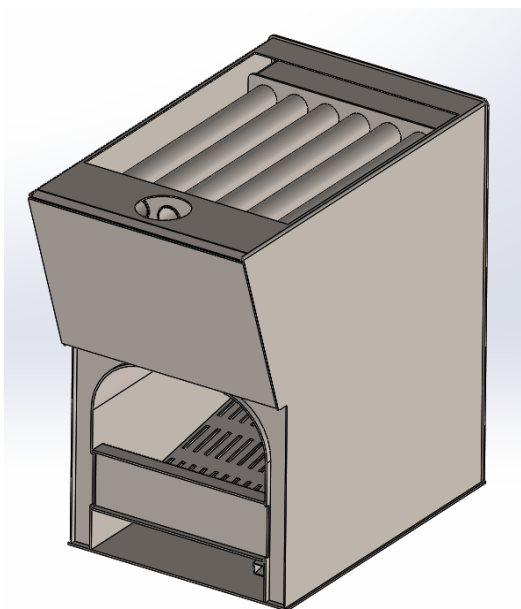
8. 3D модел сушаре



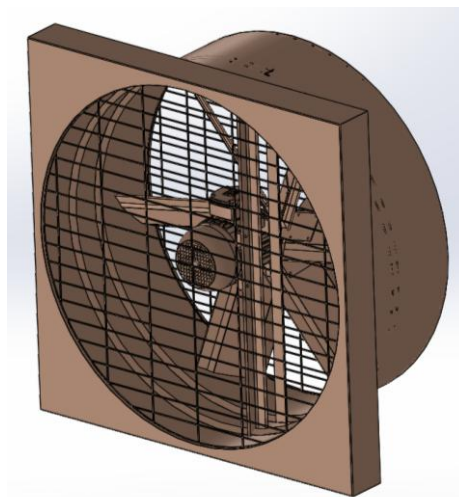
Сл. 21. Приказ комплетне сушаре са лесема [14]



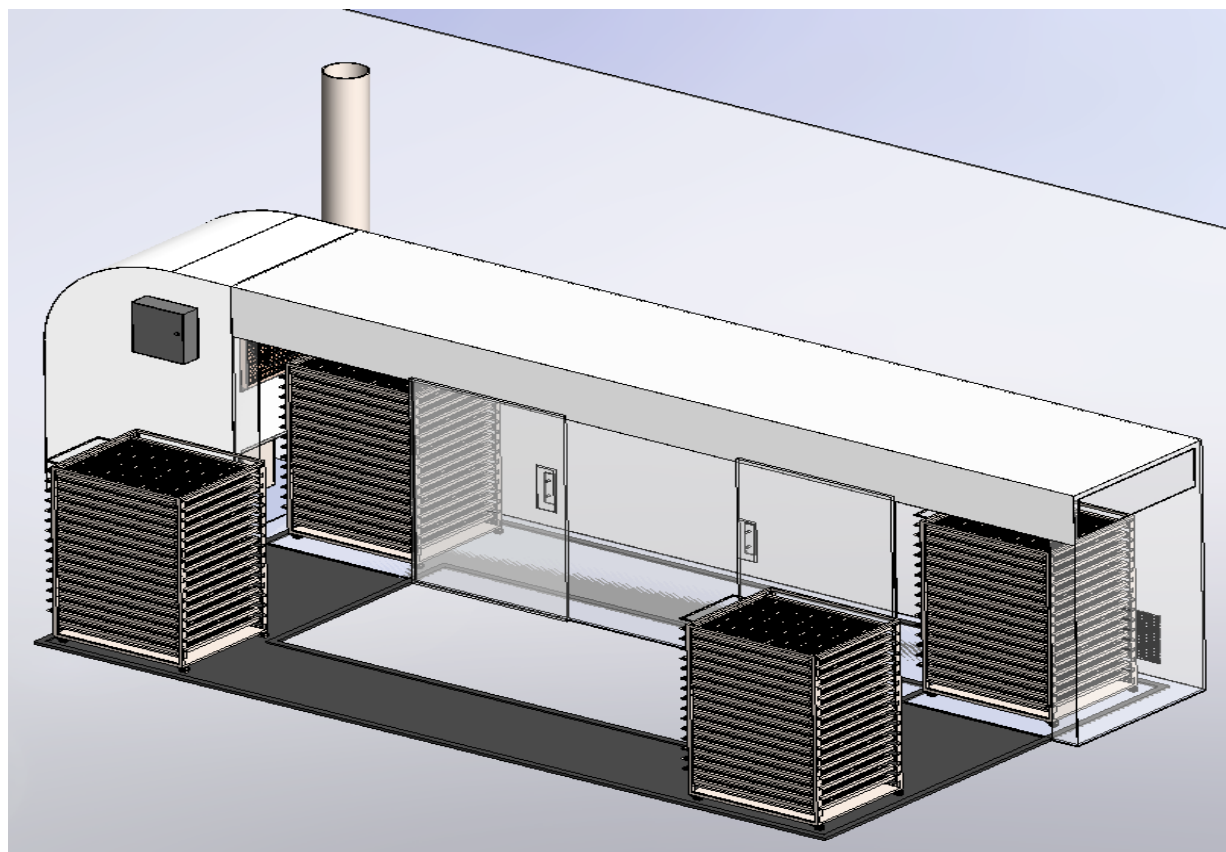
Сл.22 Лесе за воће



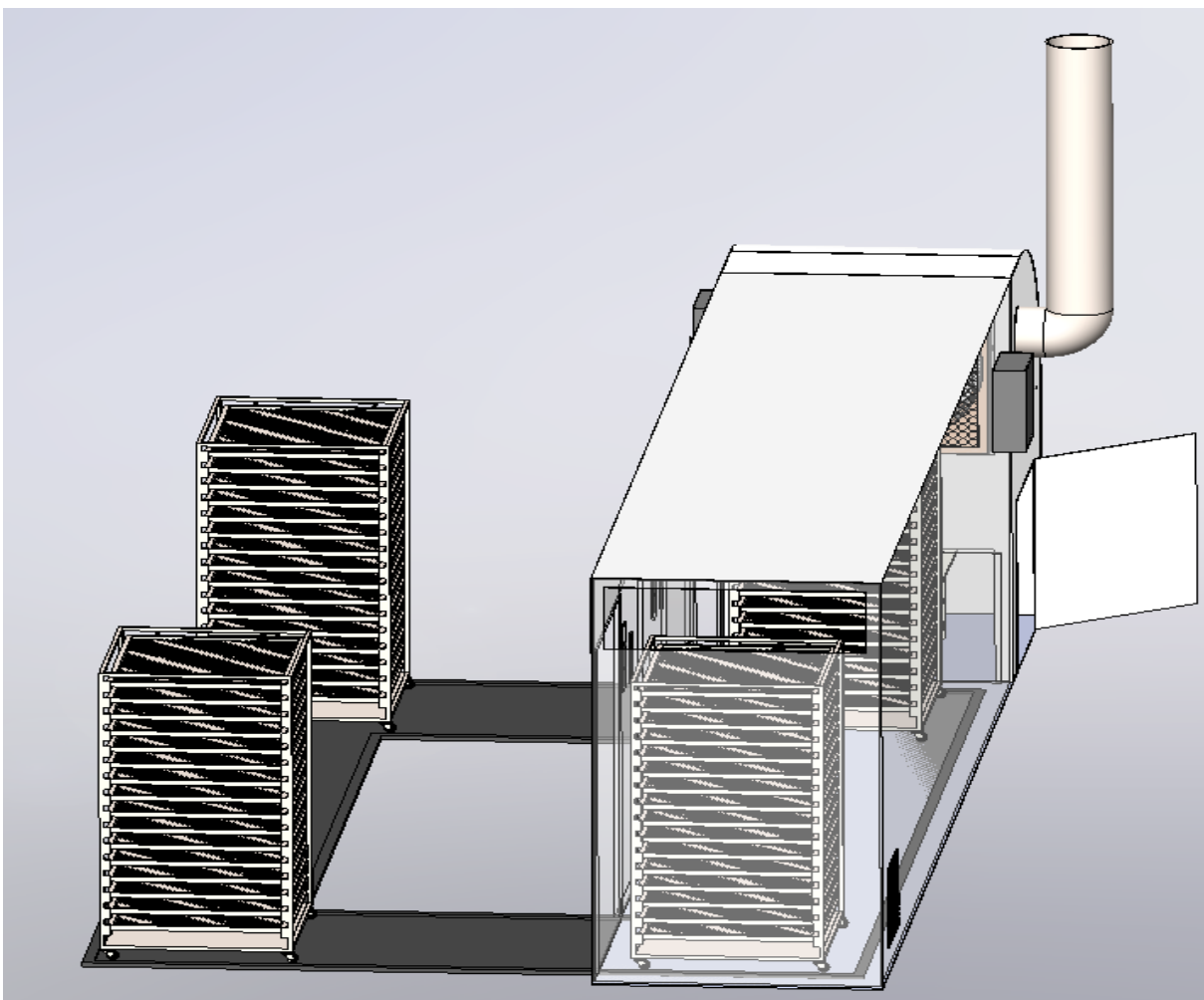
Слика. 23 А) Котао са размењивачима топлоте



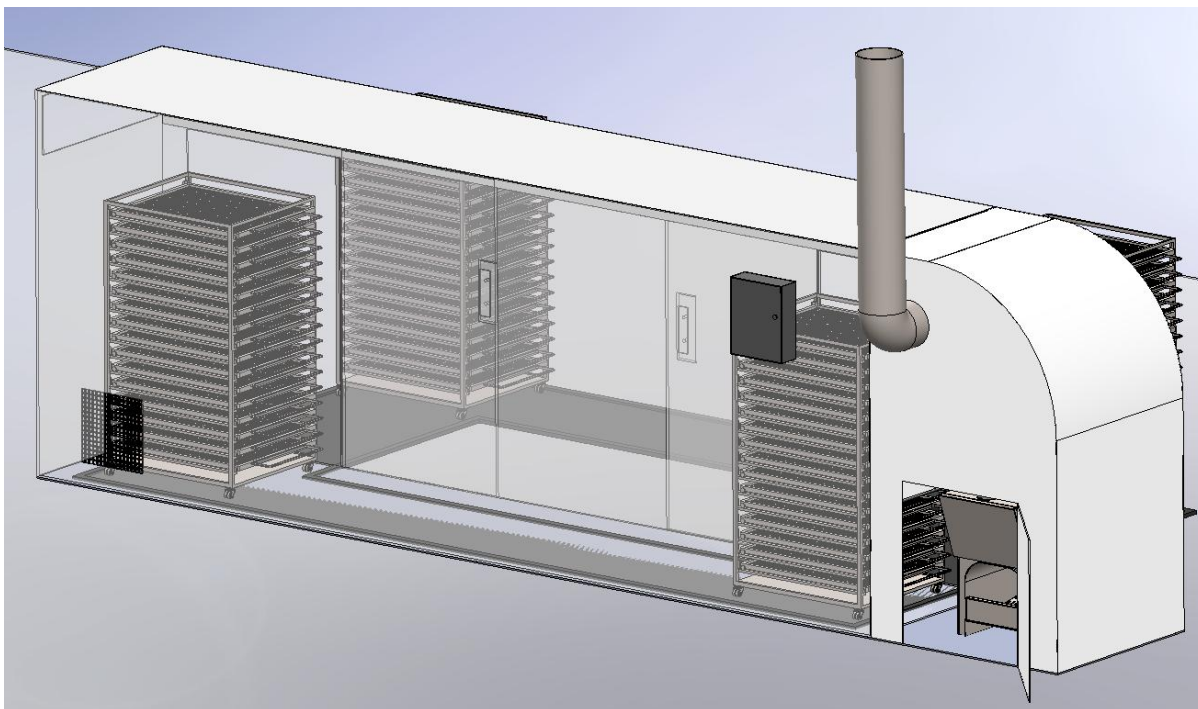
Б) Вентилатор



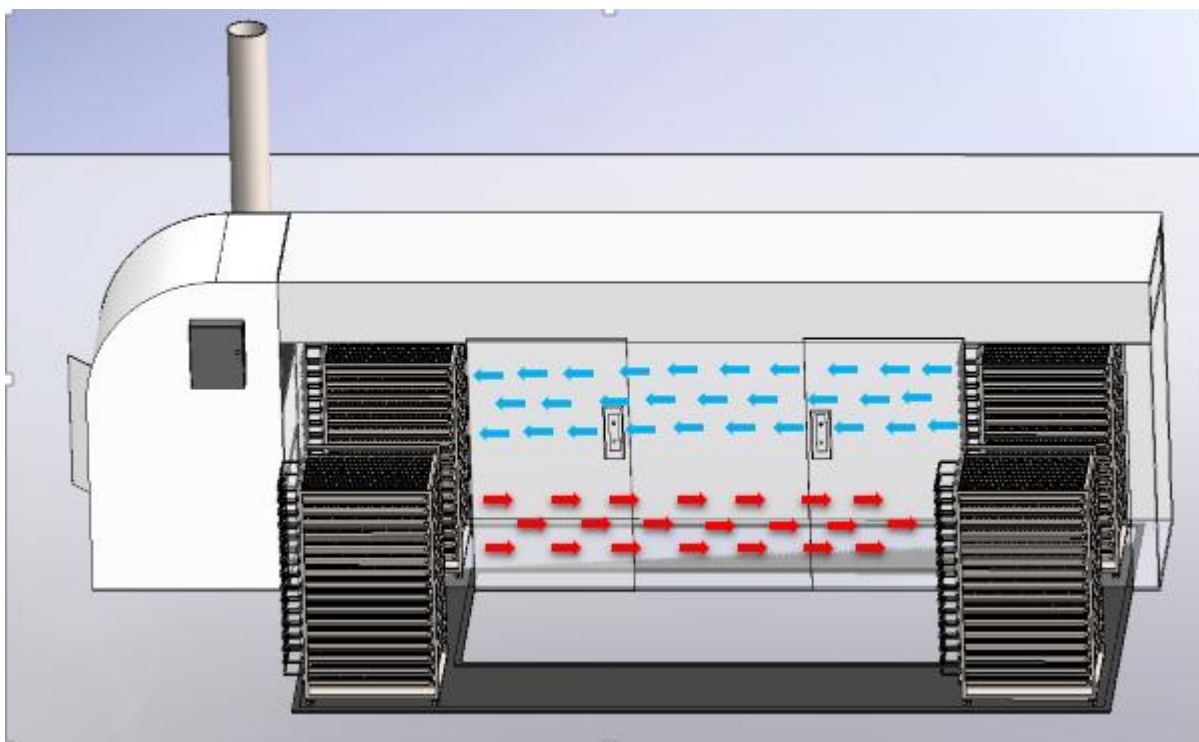
Сл. 24. Унутрашњи приказ сушаре са лесам [14]



Слика. 25. Бочни приказ сушаре [14]



Слика. 26. Приказ задњег дела сушаре [14]



Слика. 27. Кретање топлог и влажног ваздуха унутар сушаре [14]

9. Закључак

Овим радом имао сам намеру да пружим основне информације у вези са технологијом сушења воћа у сушарама, као и да анимирам будуће заинтересоване произвођаче да смелије крену у ову област која има своју будућност.

Наиме, 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 асортименту тако и о сортама аутохтоног порекла које могу да се одгајају без присуства пестицида или уз мале количине.

Овим радом настојао сам да детаљно опишем поступак сушења воћа кроз све његове фазе, осврћући се како на хемијски састав и основне карактеристике самог воћа, тако и на технологију и начине сушења воћа са посебним освртом на сушење у различитим врстама сушара од којих је и једна приказана у 3D моделу.

Пројектовање инсталација за сушење и праћење топлотних процеса је од велике важности када је реч о сушарама. Промене стања ваздуха и параметри ваздуха могу се такође пратити и одређивати веома једноставно и брзо са довољном тачношћу и графичким путем, коришћењем Молијеровог h - x дијаграма који су такође приказани у самом раду.

Приликом припреме за израду овог рада имао сам прилику да се сусретнем са домаћим произвођачима сушеног воћа који су самном поделили своја искуства из ове области. Оно што се може закључити је да 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 у нашој земљи.

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. (2006). Сушење поврћа у тунелским сушарама биомасом на малом газдинству, Савремена пољопривреда производња, Југословенско научно друштво за пољопривредну технику, Нови Сад.
- [9] Марковић, В., Врачар, Ј. (1998). Производња и прерада паприке, Фељтон д.о.о. Нови Сад.
- [10] Мујић И., Алибабић В. Технолошки процеси конзервирања хране.
- [11] Марковић, В. (2005). Полумеханизована берба зачинске паприке, Савремена пољопривредна техника, Нови Сад.
- [12] Живковић М. Сушење у сушарама.
- [13] Козић, Ђ. СИ „ Приручник за термодинамику“.
- [14] Шљивко Д.О.О. , Доња Шаторња (Крагујевац).