

The background features abstract, overlapping green geometric shapes, primarily triangles and polygons, in various shades of green, creating a modern, layered effect. The shapes are concentrated on the left and right sides, leaving a central white space.

SUŠARE

SADRŽAJ

01

UVOD

02

TIPOVI SUŠARA

05

MERE ZAŠTITE

03

SUŠARA BEŠKA

04

AUTOMATIZACIJA

The background features abstract, overlapping green geometric shapes, primarily triangles and polygons, in various shades of green, creating a modern, layered effect on the right side of the slide.

01

UVOD

Šta je sušenje?

Sušenje je najstarija, najčešća i najraznovrsnija operacija hemijskog inženjeringa. Sušenje se dešava tako što se izaziva isparavanje tečnosti snabdevanjem toplote vlažnoj sirovini.

Prijavljeno je preko 400 vrsta sušara, dok je preko 100 različitih vrsta široko dostupno.



RAZNOVRSNOST SUŠENJA

01

VELIČINA

Veličina proizvoda može varirati od mikrona do desetina centimetara (u debljini ili dubini).

02

POROZNOST

Poroznost proizvoda može varirati od 0 do 99.9%.

03

VREME

Vremena sušenja se kreću od 0.25 sekundi (sušenje tkanina) do 5 meseci (za određene vrste tvrdog drveta).

04

KAPACITET

Proizvodni kapaciteti mogu varirati od 0.10 kg/h do 100 tona/h.

05

BRZINA

Brzine proizvoda se kreću od 0 (stacionarne) do 2000 m/min (tkanina).

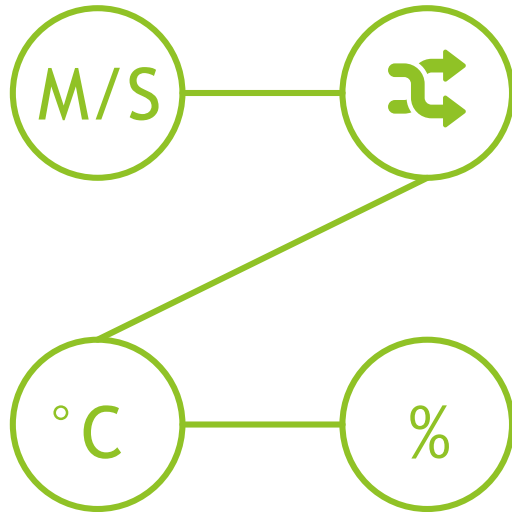
06

PRITISAK

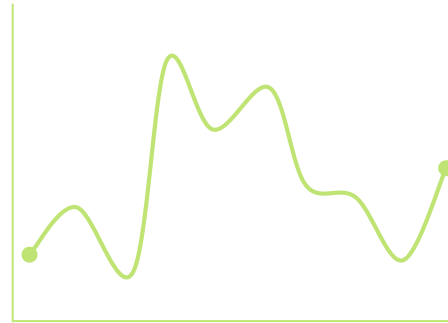
Radni pritisak može varirati od delića milibara do 25 bara.

USLOVI SUŠENJA

SPOLJAŠNJI



UNUTRAŠNJI



VLAGA U MATERIJALIMA

SLOBODNA

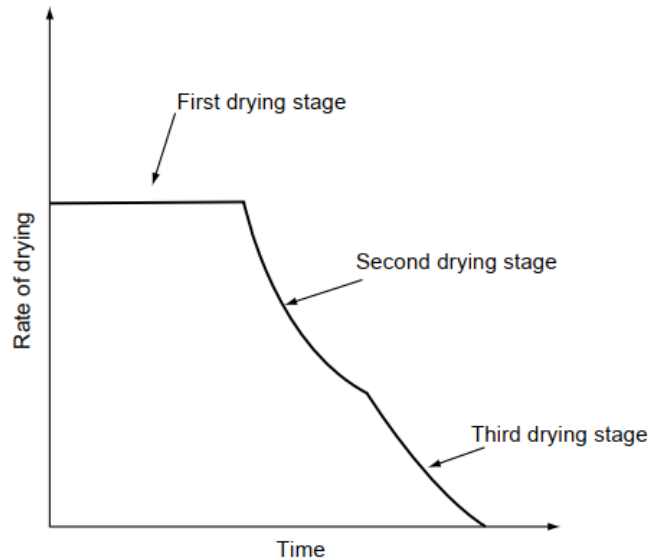
- ISPARAVANJE
- VAPORIZACIJA



VEZANA

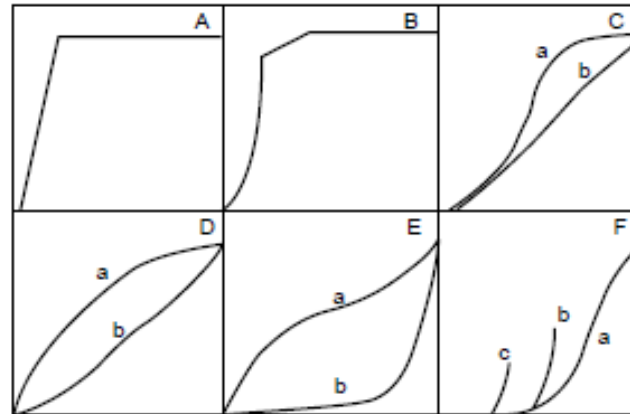


TIPIČNA KRIVA SUŠENJA



NORMALIZOVANE KRIVE SUŠENJA

Drying of solids



PODELA I IZBOR SUŠARA

01

**DOVOĐENJE
TOPLOTE**

02

**RADNA
TEMPERATURA
I PRITISAK**

03

**MANIPULACIJA
MATERIJALOM**

- **METOD PRENOSA TOPLOTE**
- **VREME SUŠENJA**
- **VRSTA RADNOG FLUIDA**
- **TIP MATERIJALA**

Nature of Feed	Liquids			Cakes		Free-Flowing Solids					Formed Solids
	Solution	Slurry	Pastes	Centrifuge	Filter	Powder	Granule	Fragile Crystal	Pellet	Fiber	
<i>Convection Dryers</i>											
Belt conveyer dryer							x	x	x	x	x
Flash dryer				x	x	x	x			x	
Fluid bed dryer	x	x		x	x	x	x		x		
Rotary dryer				x	x	x	x		x	x	
Spray dryer	x	x	x								
Tray dryer (batch)				x	x	x	x	x	x	x	x
Tray dryer (continuous)				x	x	x	x	x	x	x	
<i>Conduction Dryers</i>											
Drum dryer	x	x	x								
Steam jacket rotary dryer				x	x	x	x		x	x	
Steam tube rotary dryer				x	x	x	x		x	x	
Tray dryer (batch)				x	x	x	x	x	x	x	x
Tray dryer (continuous)				x	x	x	x	x	x	x	

Vreme sušenja

TABLE 1.2
Solids' Exposures to Heat Conditions

Dryers	Typical Residence Time Within Dryer				
	0–10 (s)	10–30 (s)	5–10 (min)	10–60 (min)	1–6 (h)
<i>Convection</i>					
Belt conveyor dryer				×	
Flash dryer	×				
Fluid bed dryer				×	
Rotary dryer				×	
Spray dryer		×			
Tray dryer (batch)					×
Tray dryer (continuous)				×	
<i>Conduction</i>					
Drum dryer		×			
Steam jacket rotary dryer				×	
Steam tube rotary dryer				×	
Tray dryer (batch)					×
Tray dryer (continuous)				×	

Odabir sušare

TABLE 1.6
Typical Checklist for Selection of Industrial Dryers

Physical form of feed	<ul style="list-style-type: none">• Granular, particulate, sludge, crystalline, liquid, pasty, suspension, solution, continuous sheets, planks, odd-shapes (small/large)• Sticky, lumpy
Average throughput	<ul style="list-style-type: none">• kg/h (dry/wet); continuous• kg per batch (dry/wet)
<i>Expected variation in throughput (turndown ratio)</i>	
Fuel choice	<ul style="list-style-type: none">• Oil• Gas• Electricity
<i>Pre- and postdrying operations (if any)</i>	
For particulate feed products	<ul style="list-style-type: none">• Mean particle size• Size distribution• Particle density• Bulk density• Rehydration properties
Inlet–outlet moisture content	<ul style="list-style-type: none">• Dry basis• Wet basis
<i>Chemical/biochemical/microbiological activity</i>	
Heat sensitivity	<ul style="list-style-type: none">• Melting point• Glass transition temperature
<i>Sorption isotherms (equilibrium moisture content)</i>	
Drying time	<ul style="list-style-type: none">• Drying curves• Effect of process variables
Special requirements	<ul style="list-style-type: none">• Material of construction• Corrosion• Toxicity• Nonaqueous solution• Flammability limits• Fire hazard• Color/texture/aroma requirements (if any)
Footprint of drying system	<ul style="list-style-type: none">• Space availability for dryer and ancillaries

02

TIPOVI SUŠARA

Solarne sušare - sušenje solarnom energijom

Sušenje na suncu na otvorenom se koristi od pamtiveka za sušenje biljaka, semena, voća, mesa, ribe, drveta i drugih poljoprivrednih ili šumskih proizvoda kao sredstva za očuvanje.



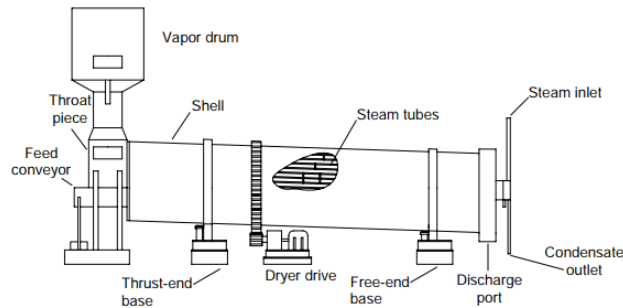
Indirektno sušenje – sušare sa tacnama

Indirektne sušare, po definiciji, su sušare u kojima grejni fluid ne dolazi u dodir sa proizvodom koji se suši. Umesto toga vlažan materijal se suši dolaskom u kontakt sa zagrejanom površinom.

U ovom osnovnom tipu indirektne sušare materijal koji se suši postavlja se u tepsije ili tacne na šuplje police koje se zagrevaju grejnim medijumom, koji može da se kreće od pare visokog pritiska preko umerene do visoke temperature, vrućeg ulja, ili čak i električnim grejačem u slučaju manjih jedinica.

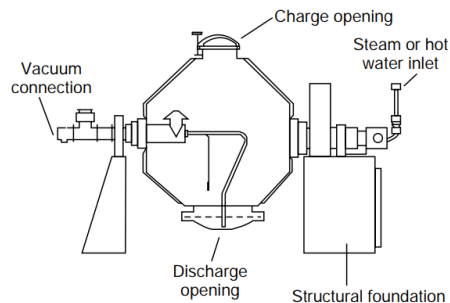
Indirektno sušenje - indirektne rotacione sušare

Najčešći tip rotacione sušare sa indirektnim kontaktom je sušač sa parnim cevima.



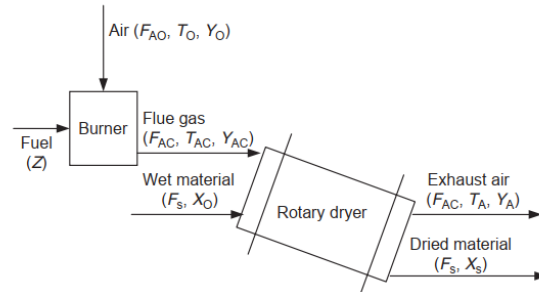
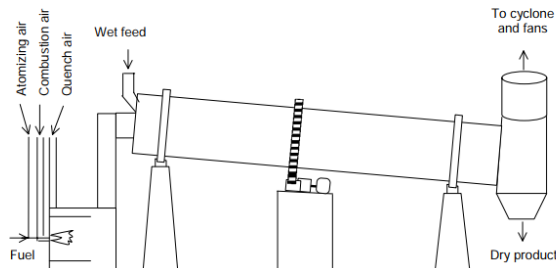
Indirektno sušenje - indirektne rotacione vakuumske sušare

Rotirajuća (ili dvostruko-konusna) vakuumska sušara je u suštini rotirajući sud koji sadrži materijale koji se suši.



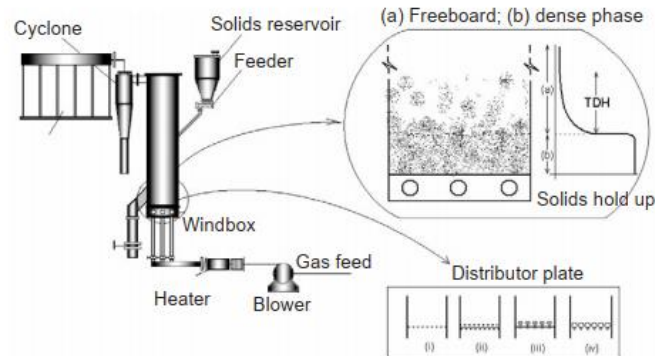
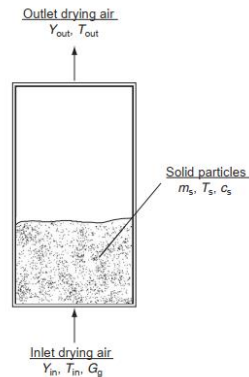
Rotacione sušare

Sušenje se odvija u rotacionim sušaćima, koji se sastoje od cilindrične konstrukcije koja se okreće na ležajevima i obično je blago nagnuta prema horizontali. Vlažan materijal se uvodi u gornji kraj sušaća, a materijal prolazi kroz njega zahvaljujući rotaciji, efektu gravitacije i nagibu konstrukcije, a suvi proizvod se izvlači na donjem kraju.



Sušare sa fluidizovanim slojem

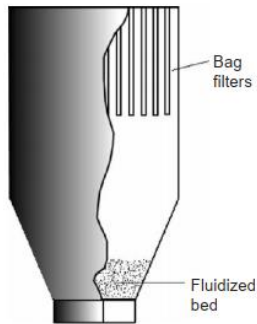
Sušare sa fluidizovanim slojem se u velikoj meri koriste za sušenje vlažnih čestica i zrnastih materijala koji se mogu fluidizovati. Obično se koriste u preradi mnogih proizvoda kao što su hemikalije, ugljeni hidrati, hrana, biomaterijali, proizvodi za piće, keramika...



Sušare sa fluidizovanim slojem

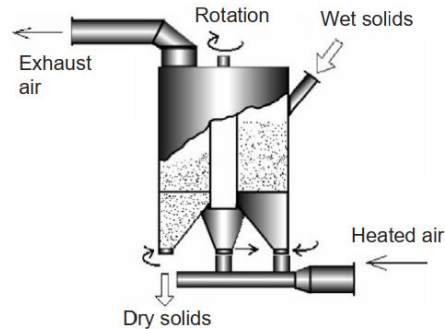
01

Serijska sušara



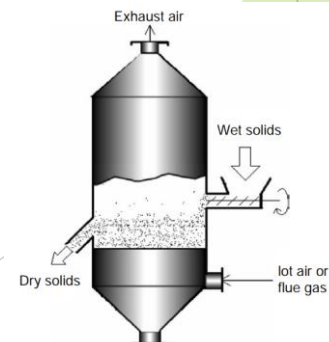
02

Polukontinualna sušara



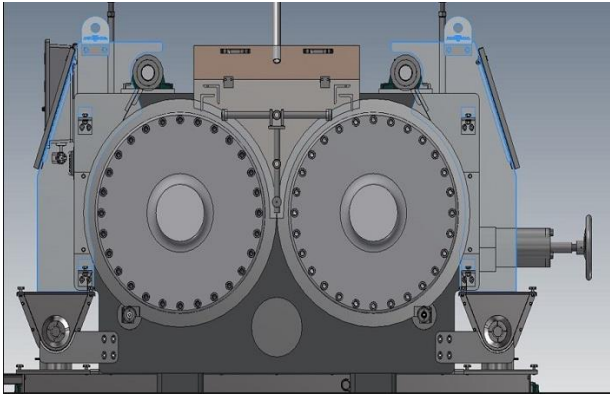
03

Dobro izmešana, kontinualna sušara



Bubanj za sušenje

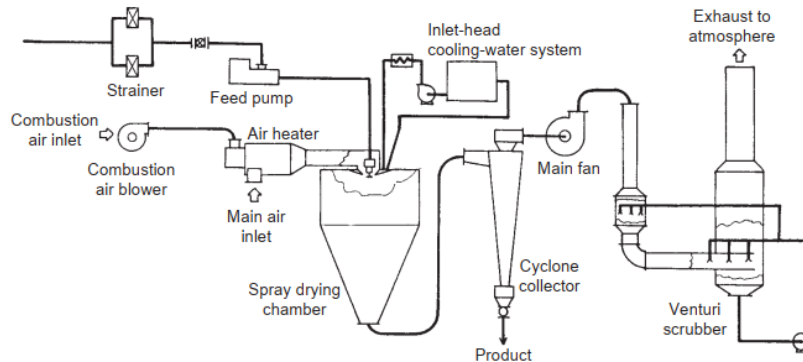
Bubanj za sušenje se obično koristi za sušenje viskoznih, koncentrovanih rastvora, kaša ili pasta na rotirajućim bubnjevima zagrejanim parom.



Kod bubnja za susenje najcesce se upotrebljavaju atmosferska susara sa duplim(dvostrukim) bubnjem ili atmosferska susara sa jednim bubnjem za susenje.

Sušare sa tehnikom rasprskivanja

Sušenje raspršivanjem je tehnika obrade suspendovanih čestica koja koristi atomizaciju tečnosti za stvaranje kapljica koje se pojedinačno suše dok se kreću u vrućem gasovitom medijumu za sušenje, obično vazduhu.



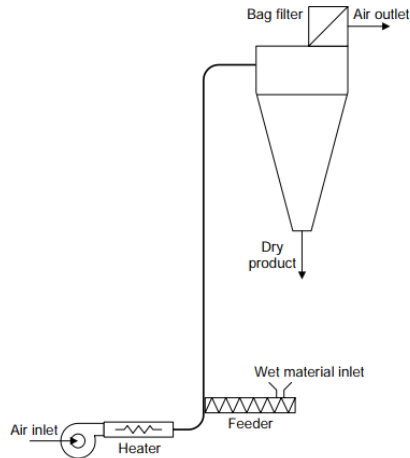
Sušenje zamrzavanjem

Određeni biološki materijali, farmaceutske proizvodi i namirnice, koje se pri običnom sušenju ne smeju zagrevati čak ni na umerene temperature, mogu se sušiti zamrzavanjem.

Sušenje zamrzavanjem hrane i bioloških materijala takođe ima prednost u malom gubitku ukusa i arome.

Pneumatske sušare

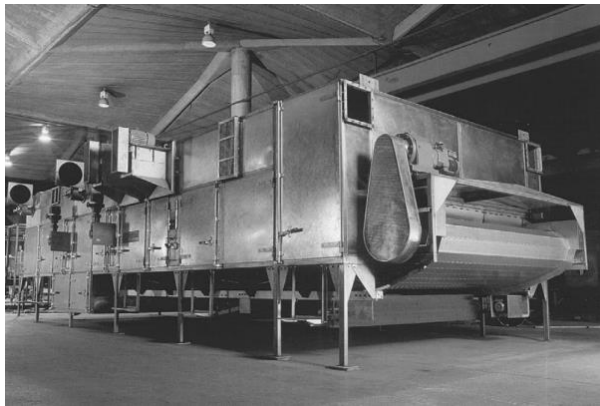
Jedan od najčešće korišćenih sistema sušenja je fleš sušenje koje je poznato i kao pneumatsko sušenje.



Pneumatske/flash sušare su pogodne za sušenje zrnastih, praškastih i kristalnih proizvoda.

Transportne sušare

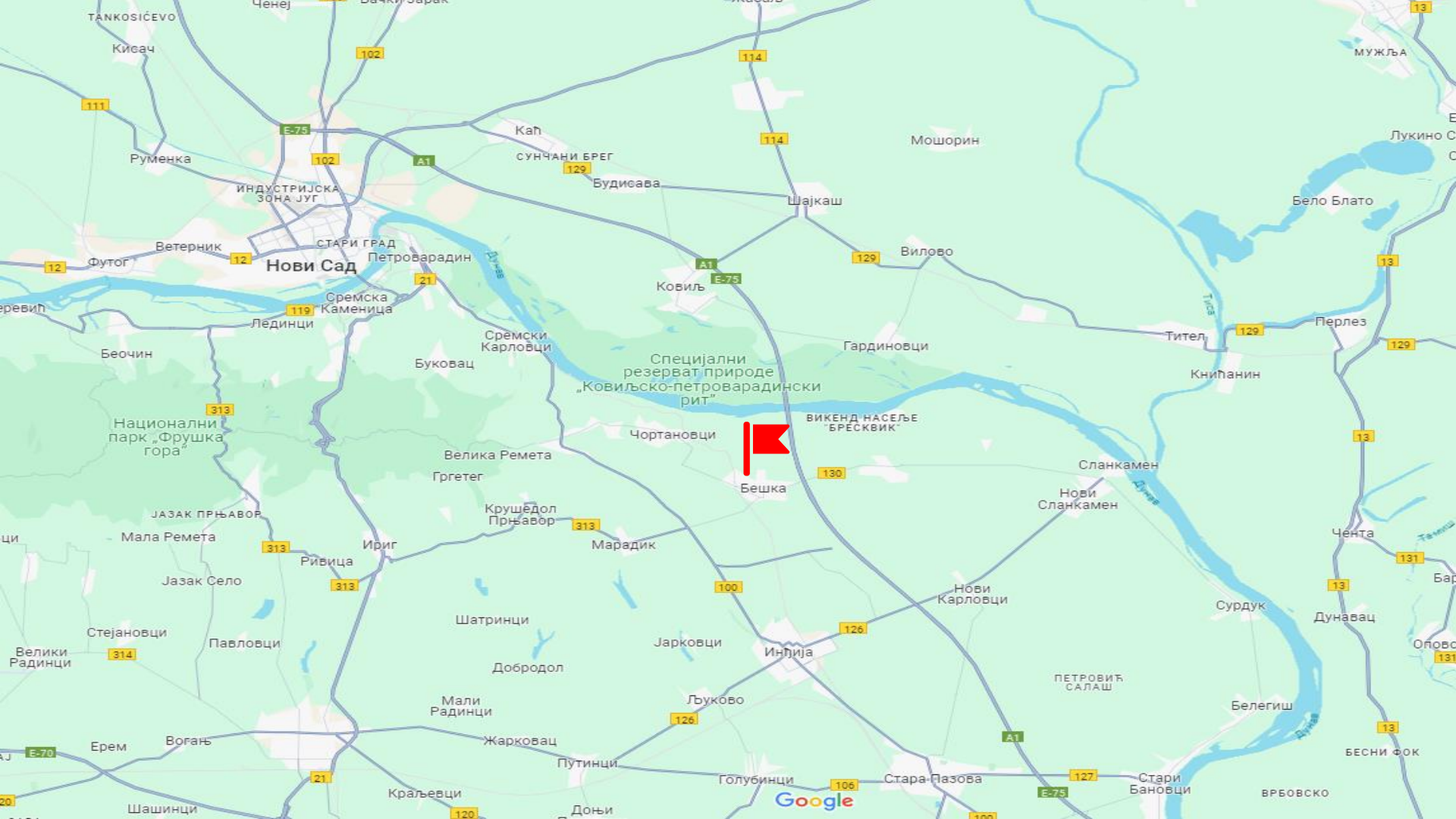
Često se opisuje jednostavno kao transporter u kutiji sa toplim vazduhom. Transportna sušara je jedna od najsvestranijih dostupnih sušara što se ogleda u sposobnosti ovog tipa sušare da prima različite vrste materijala



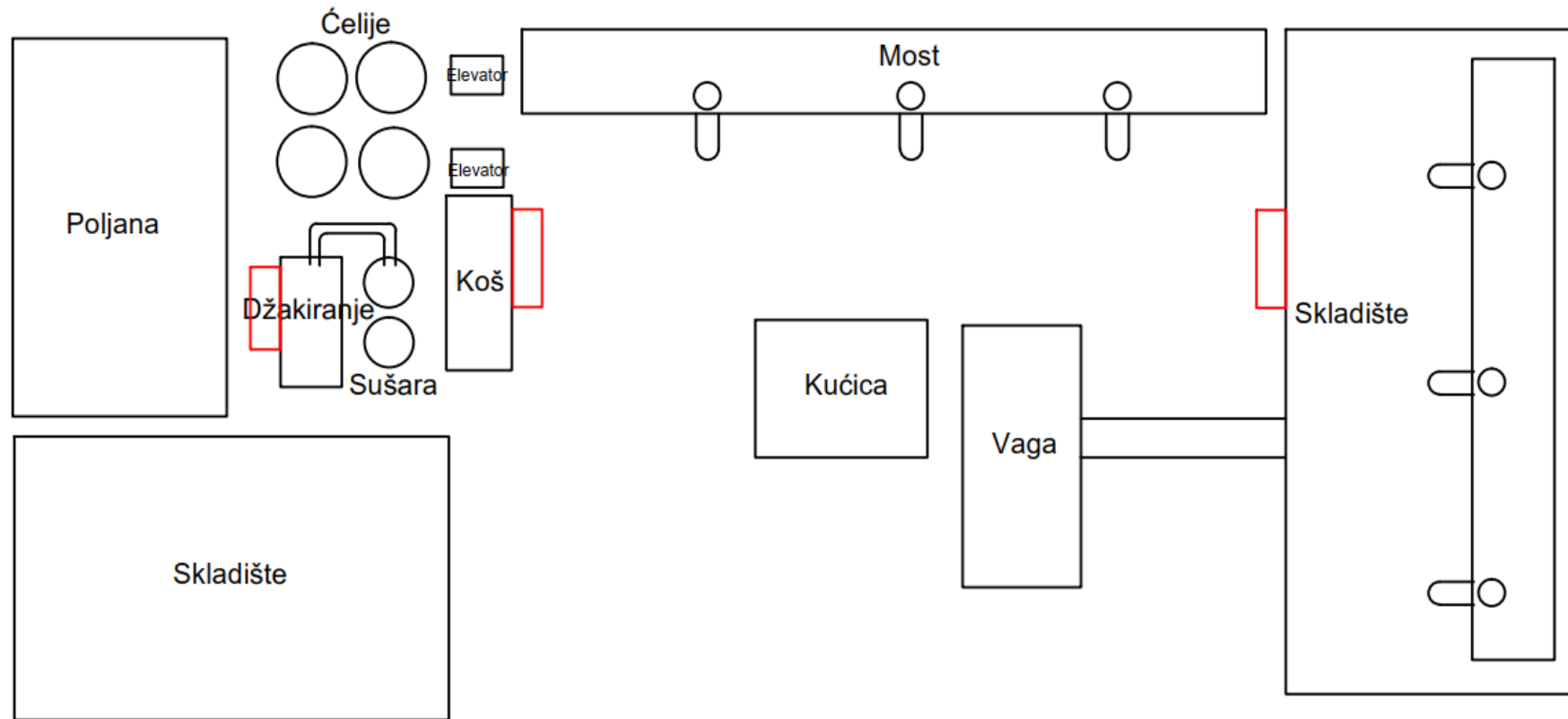
Proizvodi različitog sastava, oblika i veličine, kao što su žitarice za doručak, orasi, stočna hrana, briketi od drvenog uglja i guma, mogu se sušiti u transportnoj sušari.

03

SUŠARA BEŠKA



Tlocrt sušare





IZGLED I TIP SUŠARE



OPIS SISTEMA





TRANSPORTNI
MOST

SKLADIŠTE



VAGA

- Opseg: 0.4 t - 60 t
- Minimalni korak: 20 kg
- Klasa tačnosti: 3
- Opseg radne temperature: 0 °C - 40 °C
- Napajanje: 220 V, 50 Hz
- Najveća dozvoljena apsolutna vrednost apsolutne greške merenja: 1.8 t



PI Dijagram



Ulazi i izlazi sistema

DI	DO	AI	AO
M1 Radi	M1 Upravljanje	Temp Čelija1	
M1 Kvar	M2 Upravljanje	Temp Čelija2	
M2 Radi	M3 Upravljanje	Temp Čelija3	
M2 Kvar	M4 Upravljanje	Temp Čelija4	
M3 Radi	M5 Upravljanje	Temp Sušara1	
M3 Kvar	M6 Upravljanje	Temp Sušara2	
M4 Radi	M7 Upravljanje	Vlažnost Čelija1	
M4 Kvar	M8 Upravljanje	Vlažnost Čelija2	
M5 Radi	M9 Upravljanje	Vlažnost Čelija3	
M5 Kvar	Klapna gore Čelija1	Vlažnost Čelija4	
M6 Radi	Klapna gore Čelija2	Vlažnost Sušara1	
M6 Kvar	Klapna gore Čelija3	Vlažnost Sušara2	
M7 Radi	Klapna gore Čelija4	Nivo Čelija1	
M7 Kvar	Klapna dole Čelija1	Nivo Čelija2	
M8 Radi	Klapna dole Čelija2	Nivo Čelija3	
M8 Kvar	Klapna dole Čelija3	Nivo Čelija4	
M9 Radi	Klapna dole Čelija4	Nivo Sušara1	
M9 Kvar	Klapna gore Sušara1	Nivo Sušara2	
Kos Indikator	Klapna gore Sušara2		
Gorionik radi	Gorionik upravljanje		
	Gorionik klapna		

04

AUTOMATIZACIJA

Ručno upravljanje

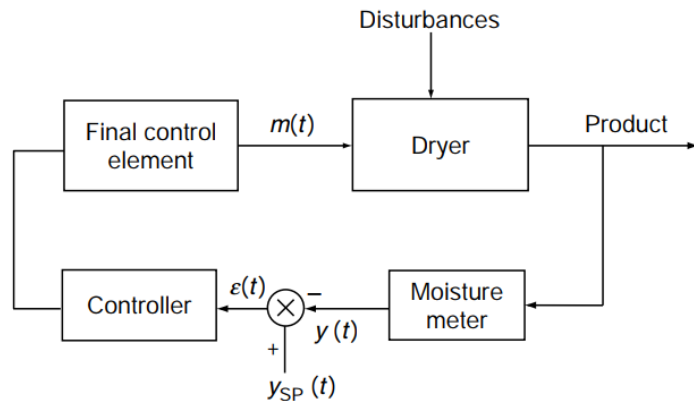
- Pokrenuti sistem za sušenje
- Sipati predviđenu količinu žitarica za trenutni ciklus sušenja
- Izmeriti vlažnost žitarica, i uporediti sa željenom vrednošću
- Ponavljati merenje periodično i u odnosu na to upravljati temperaturom vazduha u sušari

Ovaj način upravljanja idealan za manje sisteme ili sušenje na meru, ne zahteva ulaganje u automatizaciju, mali broj radnika može ispratiti..

Feedback upravljanje

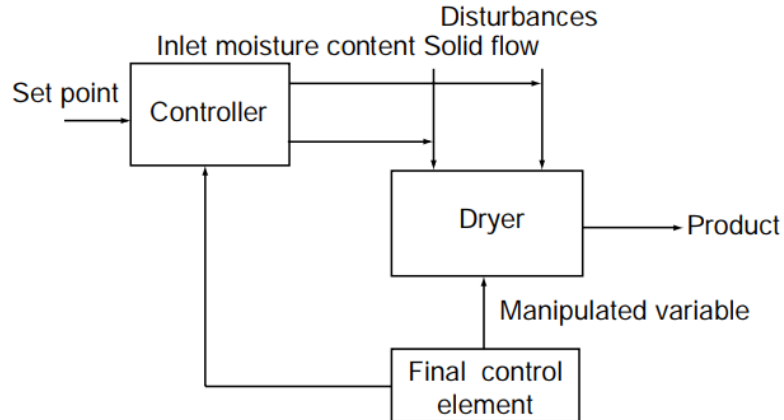
Najčešći način upravljanja u oblasti sušenja

$$m(t) = K_c \varepsilon(t) + \frac{K_c}{\tau_I} \int \varepsilon(t) dt + K_c \tau_D \frac{d\varepsilon}{dt} + \text{BIAS}$$



Feedforward upravljanje

- Koristi se u tromim sistemima
- Kontroler reaguje čim se desi poremećaj, iako se on još uvek nije odrazio na sistem



Prednosti i mane različitih tipova upravljanja

Advantages

Disadvantages

Feedforward Controller

1. Acts before the effect of the disturbance has been felt by the system
2. Good for slow systems or those with significant dead time
3. Does not introduce instability in the closed-loop response

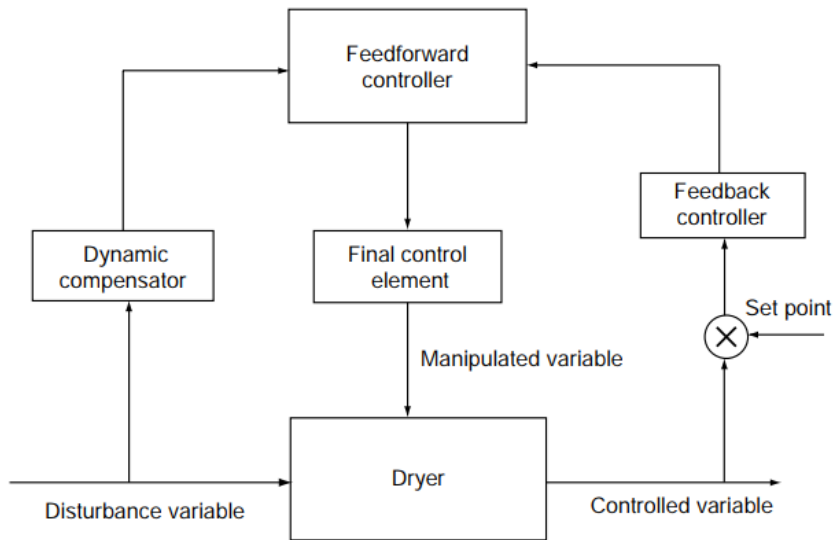
1. Requires identification of all possible disturbances and their direct measurement
2. Cannot cope with unmeasured disturbances
3. Sensitive to process parameter variations
4. Requires a process model

Feedback Controller

1. Does not require identification and measurement of any disturbance
2. Insensitive to modeling uncertainties
3. Insensitive to parameter changes

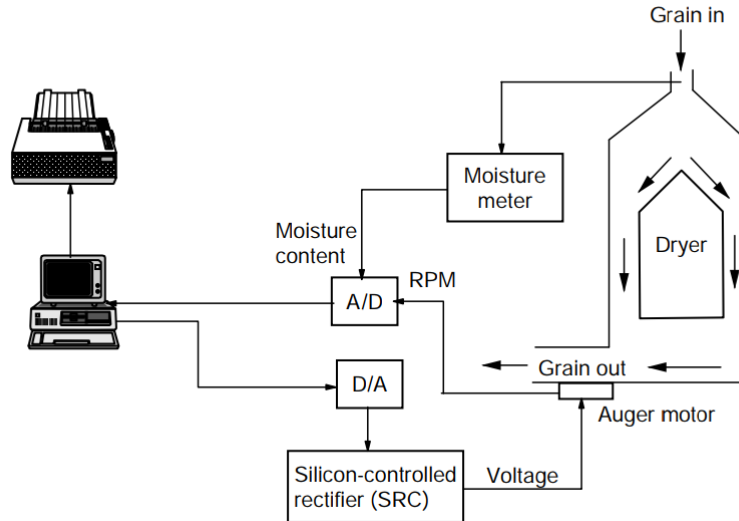
1. Waits until the effect of the disturbances is felt by the system before control action is taken
2. Unsatisfactory for slow processes or those with significant dead time
3. May create instability in closed-loop response

Feedforward - feedback upravljanje



Predlog automatizacije

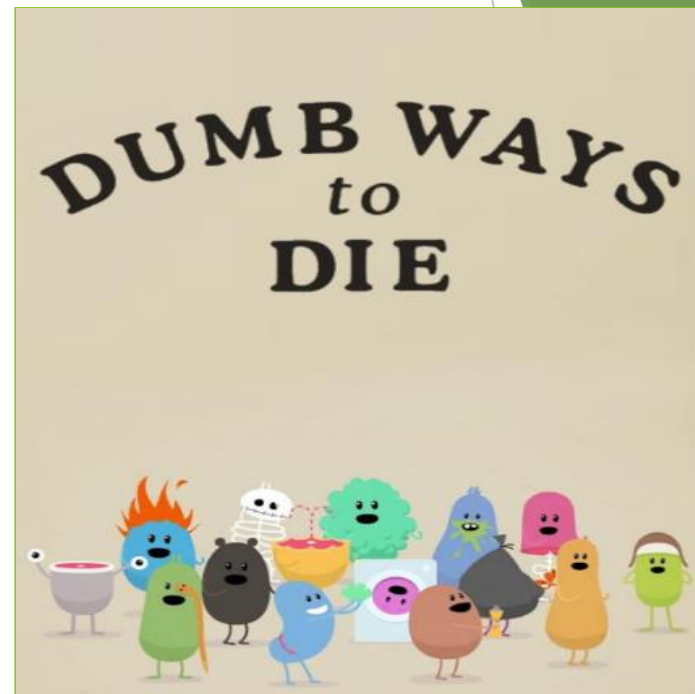
- Vлага se kreće u granicama $\pm 0.5\%$ od zadate vrednosti.



05

MERE ZAŠTITE

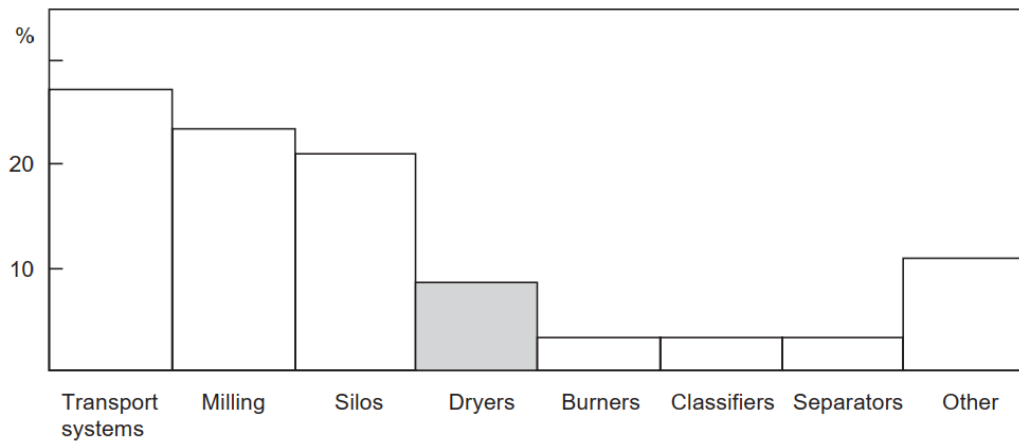
Opasnosti i sigurnost na radu



Eksplodije izazvane prašinom

Uslovi za požar ili eksploziju:

- Gorivo (zapaljiv gas ili sitna zapaljiva prašina npr. od žitarica)
- Kiseonik
- Izvor plamena





HVALA NA PAŽNJI

Pitanja?



LITERATURA

↓ Arun S. Mujumdar *Handbook of industrial drying*