

Tajne u savremenoj industriji

Kontrola vlage je jedna od značajnih, ali često zanemarenih potreba u savremenoj industriji. Efikasna kontrola vlage može odigrati iznenađujuće važnu ulogu kao praktično rešenje u proizvodnim pogonima, smanjenjem velikih troškova popravke i održavanja opreme, kao i očuvanjem energije. Najčešće tehnologije koje su nam na raspolaganju su kondenzaciono i adsorpciono odvlaživanje i one su dodatni efikasni alat za poboljšanje kvaliteta proizvoda i efikasnosti u svim granama industrije, kao i u postizanje bolje kontrole nad ključnim procesima u proizvodnji.

Voda, voda svuda oko nas

Prisustvo molekula vode u vazduhu koju nas okružuje prolazi dosta neopaženo iz razloga što se ne može „videti“, već se samo može „osetiti“ (subjektivni osećaj previše znojenja, umor i sl.). Upravo ta činjenica predstavlja skriven fenomen koji utiče kako na procese u industriji, tako i na zdravlje zaposlenih. Vlažnost vazduha ima veoma dubok uticaj na materijale, troškove proizvodnje, servisa, na dugotrajnost opreme, potrošnju energije...

U proizvodnji se previše vlage manifestuje kao kondenzacija na alatima, pojava škarta i buđi, što dovodi do smanjenja kvaliteta proizvoda, povećanja troškova održavanja, strukturnih oštećenja na opremi usled korozije. Pored svega toga, prevelika količina vlage u vazduhu negativno utiče na zdravlje zaposlenih. Zato je veoma važno da menadžment (poslodavac, šef proizvodnje i radnici) sagleda problem i identifikuje potencijal koji nudi kontrola vlage u vazduhu, naročito u proizvodnim halama i magacinskom prostoru. Planiranje proizvodnje i budžeta, kontrola kvaliteta proizvoda, potrošnja energije, uticaj na životnu sredinu i zdravlje zaposlenih najznačajniji su procesi na koje utiče vlaga u vazduhu.

U većini slučajeva je problem sa vlagom u vazduhom teško identifikovati i to je upravo iz razloga što vlaga različito utiče na procese u industriji. Tako nam jedan primer iz prakse ukazuje da je u proizvodnji kvasca moralo doći do planskog obustavljanja proizvodnje tokom letnjih meseci kada je sadržaj vlage u vazduhu najveći. Drugi primer iz tekstilne industrije ukazuje da sve mašine za šivenje na početku meseca rade perfektno dok u drugoj polovini prave dosta škarta, a problem se tu traži u ljudstvu, alatima i slično. Postoje i primeri koji ukazuju da bez kontrole vlage pojava kondenzata na alatima u industriji proizvodnje plastične ambalaže pravi veliki problem u krajnjem izgledu proizvoda i njegovom kva-

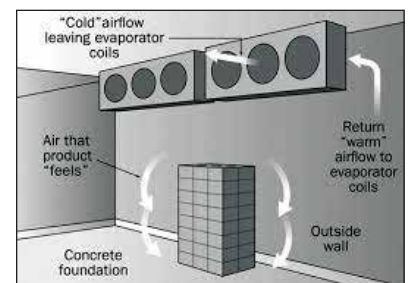
litetu. U hladnjačama nekontrolisana vlaga uzrokuje pojavu ledenica koje se opasno nadvijaju sa plafona, veći broj ciklusa odleđivanja na isparivačima (slika 1) što sve jasno ukazuje na problem u hladnjači bez kontrole vlage, pojava magle u manipulativnim hodnicima, opasno proklizavanje viljuškara, stvaranje leda na kartonskoj ambalaži koji se otapa po napuštanju hladnjače, što neminovno umanjuje vrednost proizvoda jer do krajnjem korisnika dolazi proizvod u oštećenoj ambalaži. Na slici 2 je prikazan dijagram toka vlage u hladnjačama. Cilj kontrole temperature i vlage u hladnjačama – postići očuvanje proizvoda bez oštećenja od pojave leda – ilustrovan je na slici 3.

Konditorska industrija, naročito proizvodnja čokolade, izuzetno je osetljiva na probleme sa vlagom u vazduhu u proizvodnim procesima – problemi u pneumatskom transportu sirovina, u skladištenju sirovina, u samom procesu izrade čokolade. Ukoliko postoje tuneli za brzo smrzavanje (slika 1.3) izuzetno je veliki uticaj vlage na proizvodni proces i na količinu proizvoda (zastoji zbog procesa odleđivanja na isparivaču). Proces pakovanja nije isključen iz problema kontrole vlage.

Farmaceutska industrija je najosetljivija na kontrolu vlage i temperature u svojim proizvodnim pogonima, i predstavlja jednu od grana industrije koja je vrlo svesna problema vlage. Postavljeni su i jasno definisani parametri temperature i vlage u proizvodnji lekova i druge opreme koji moraju biti postignuti.

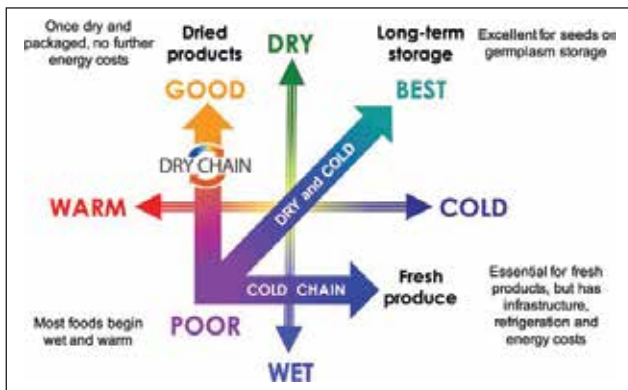
Većina materijala koji se upotrebljava u industriji uopšteno je higroskopan, što znači da imaju tendenciju apsorbovanja vlage iz vazduha. Povećanje sadržaja vlage u materijalima značajno utiče na povećanje težine i zapremine krajnjeg proizvoda, promena osobina proizvoda (elastičnost, čvrstoća...), promena električne provodljivosti, promene uslova za razvoj bakterija i ostalih mikroorganizama.

Slika 1. Nagomilavanje leda u hladnjači



Slika 2. Putevi vlage

Praktično, ne postoji grana industrije koja nije pogođena nepostojanjem kontrole vlage u proizvodnji – bilo kao primarni efekat na samom proizvodu, ili kao sekundarni efekat koji se ogleda na povećane troškove održavanja, potrošnje energije, kvalitet proizvoda i zdravlja zaposlenih.



Slika 3. Željeni efekti kontrole vlage u hladnjačama

Indirektno povećanje profita

Kao što je ranije objašnjeno pasusima, vlažnost može imati višestruki negativan uticaj: pojava korozije na materijalima, povećanje zapremine drvenih konstrukcija i otežanu proizvodnju, stvaranje ugrušaka u pneumatskom transportu, stvaranje ledenica u hladnjačama. Upravo to pokazuje veliku direktnu dobit od kontrole vlage. Investitoru moramo naglasiti da primenom kontrole vlage u proizvodnim pogonima i magacinu dolazi do povećanja kvaliteta proizvoda, ali i smanjenja negativnog uticaja vlage na zdravlja zaposlenih i smanjenja broja povreda na radu.

Sa druge, strane upravo činjenica da je kontrola vlage u većini slučajeva ostala nerešena čini da ta oblast ima ogromni potencijal za primenu u osnovne sisteme grejanja, hlađenja i ventilacije. Dobro izabran način kontrolisanja vlage sa sigurnošću otvara put ka velikom broju poboljšanja kao što su:

- povećanje obima proizvodnje,
- efektivna kontrola i preventivne mere – umesto korektivnih mera,
- niži troškovi održavanja i popravki,
- ostvarenje doslednog proizvodnog procesa,
- poboljšanje kvalitete proizvoda,
- produženje životnog ciklusa proizvodne opreme,
- niži troškovi potrošnje energije,
- smanjenje ugljeničnog otiska.

Načini kontrolisanja vlažnosti vazduha

Efikasno upravljanje vlagom često predstavlja zapanjujuće isplativ način za povećanje kvaliteta proizvoda i smanjenje troškova proizvodnje. Naš cilj je da ukažemo na parametre koji utiču na vlažnost vazduha i koji su načini za njeno kontrolisanje.

Jedna od najznačajnijih karakteristika usko specijalizovanog, ali malo cenjenog procesa kontrole vlage jeste što karika između problema i rešenja nije uvek očigledna. Velika korist od svih dobro projektovanih sistema za kontrolu vlažnosti vazduha jeste da se ne rešava samo trenutni problem.

Za kontrolu vlage moramo početi od osnovnih načela fizike i uzeti u obzir osnovne parametre: temperaturu, pritisak, nadmorsku visinu na kojoj se nalazimo, sadržaj vodene pare.

Efikasna kontrola vlažnosti vazduha i odabir sistema za kontrolisanje zahtevaju viši nivo znanja i potpuno inženjerski pristup u rešavanju problema. Sistem za kontrolu vlage nije jedan komad opreme. Predimenzionisan adsorpcioni odvlaživač može takođe praviti dodatne probleme u proizvodnom procesu. Proces sušenja vazduha sa adsorpcionim odvlaživačem je inertan (što je veći sistem inercija je više izražena). Po startu sistema za sušenje vazduha treba da prođe najmanje 10–15 minuta kako bi sistem počeo sa odvlaživanjem. Tek

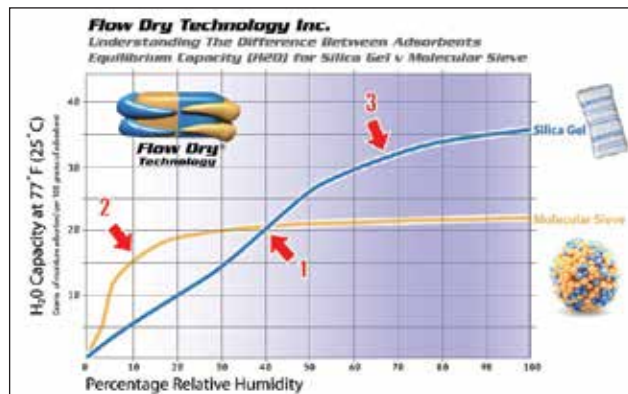
nakon sat vremena rada sistem postiže potreban kapacitet sušenja. Po zaustavljanju sistema za sušenje vazduha svojom inercijom sušenje se nastavlja još 10–15 minuta. Iz tog razloga je vrlo bitno odabrati sušač koji nam treba po kapacitetu, sa eventualnom rezervom ne većom od 10%. U suprotnom vlaga u kontrolisanom prostoru osciluje oko zadate vrednosti za više od 20%.

Za kontrolu vlage na raspolaganju su nam sledeće tehnologije.

I. Kondenzaciono odvlaživanje. Kada vlažan vazduh pređe preko razmenjivača toplote (na klima-uređaju, fan-coil jedinici) čija je temperatura niža od temperature rose vazduha, dolazi do kondenzacije kojom se vazduha uklanja vodena para. Kako bi ovaj proces u industrijskim uslovima bio pouzdan i stabilan nekada je potrebno vazduh i dodatno zagrejati pre ubacivanja u halu, a posle hladnjaka tako da trošimo energiju i za hlađenje i za grejanje. Kako se približavamo nižim vrednostima potrebne relativne vlažnosti u vazduhu tako je potrebno da nam temperatura u hladnjaku bude sve niža, tako da čiler u tim trenucima troši više energije kako bismo dobili temperaturu na hladnjaku od +2 °C umesto +10 °C.

II. Korišćenje ventilacije je dosta čest način sušenja koji u principu troši manje energije od načina I, ali ima svoje nedostatke. Vazduh koji se spolja ubacuje mora biti sa manjim sadržajem vlage od vazduha koji se izbacuje – taj način je moguće upotrebiti samo pri povoljnim meteorološkim uslovima.

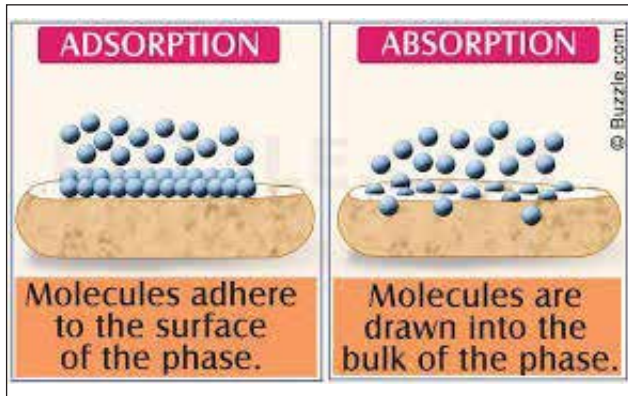
III. Adsorpciono odvlaživanje je hemijski proces u kome se molekuli vodene pare hemijski sjedine sa molekulima apsorbera. Taj proces se odigrava po celoj zapremini apsorbera i nije reverzibilan (teško je dovesti apsorber u početno stanje). Sa druge, strane ta tehnologija je dosta dobra prilikom postizanja niskih vrednosti vlage (dijagram 1). Pri vrednostima relativne vlažnosti od 10%, apsorber je efikasniji od adsorbovanja (tačka 2 na dijagramu 1), tačka 1 je prekretnica gde su obe tehnologije podjednako efikasne.



Dijagram 1. Poređenje adsorbovanja i adsorbovanja (HE), TO JE ISTO

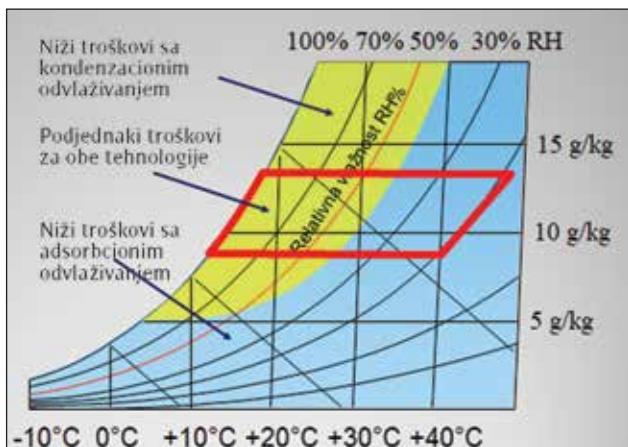
IV. Adsorpciono odvlaživanje je fizičko-hemijski proces koji se odvija na površini adsorbera pri čemu se atomi vodene pare vezuju za površinu adsorbera. Veza između atoma vodene pare i adsorbera može se ostvariti kao samo fizička veza (koje je jako slaba, a ostvaruje se samo dejstvom površinskih sila) ili kao hemijska veza (kada se ostvaruje i kovalentna veza). U većini slučajju koristimo adsorber (silica gel) koji vezuje molekule vodene pare i čija se veza lako uklanja. Taj način odvlaživanja koristimo najviše kada je potrebno ostvariti usko kontrolisane uslove temperature i vlage (najčešće u farmaceutskoj industriji) ili kada je potrebno spustiti vlagu ispod 30% relativne vlažnosti da ne bismo imali kondenzaciju

na alatima i sl. Na slici 4 ilustrovana je suštinska razlika između adsorpcije i apsorpcije



Slika 4. Ilustracija razlike tehnologija adsorbovanja i absorbovanja

Prilikom odabira načina kontrole vlage istovremeno možemo koristiti i više opcija: ukoliko zaista želimo minimalnu potrošnju energije koristeći ventilaciju, kada to meteorološki uslovi dozvoljavaju, vodeći računa o temperaturi i vlazi unutar prostora i van njega. Kasnije uključujemo sistem za hlađenje koji sam po sebi ima efekat kontrolisanja vlage. Kao pomoć sistemu sa hlađenjem uključujemo i adsorpcione odvlaživače. Uvek moramo imati u vidu dijagram 2 koji ukazuje kada je koji od ovih sistema najisplativiji.

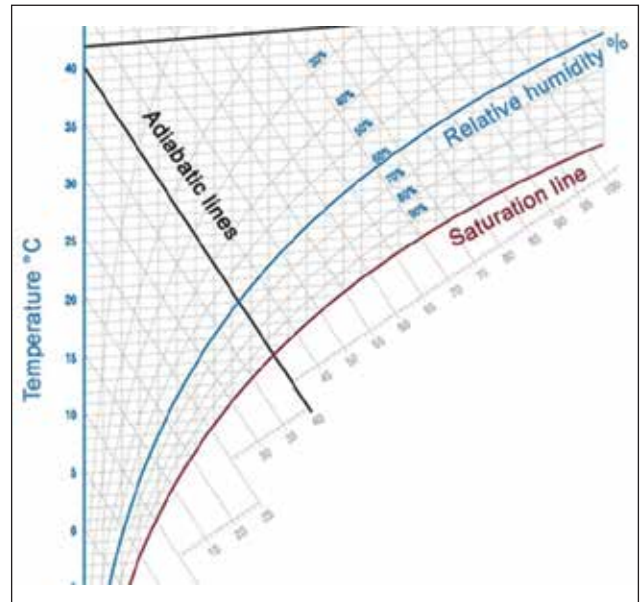


Dijagram 2. Poređenje kondenzacione i adsorpcione tehnologije odvlaživanja

Odabrati najbolju tehnologiju koja odgovara potrebama klijenta predstavlja veliki izazov za inženjera jer je neophodno voditi računa da je sistem odvlaživanja u većini slučajeva sastavni deo postojećeg sistema grejanja, hlađenja i ventilacije i da se tim sistemom značajno direktno i indirektno utiče i na mnoštvo stvari koje naš investitor u početku ne vidi. Najveći izazov je menadžmentu predstaviti dobiti od uvođenja sistema za kontrolu vlage. Sistem mora imati monitoring i integrisano upravljanje koje radi besprekorno. Prilikom odabira senzora vlage najviše se greši oko mesta ugradnje senzora, kao i oko odabira tipa senzora. Sva kolena na kanalima za distribuciju vazduha, kao i mesta u neposrednoj blizini hladnjaka i sušača nepovoljni su za postavljanje senzora. Takođe mora se voditi računa da imamo natpritisak u kanalu za distribuciju vazduha u odnosu na atmosferske uslove (h-x dijagram se pomera). Senzor mora biti zaštićen od uticaja kao što su kondenzat od hladnjaka, prolivanje tečnosti i sl. Sve navedeno je važno jer senzor značajno utiče za potrošnju energije za kontrolu vlage.

Izazov relativne vrednosti vlage (RH%)

Vrednosti temperature i pritiska vezane su za jedinstvenu apsolutnu vrednost. Međutim, s obzirom da se sadržaj vodene pare u vazduhu često označava kao RH% to je čini težom za razumevanje. Sadržaj vodene pare u vazduhu koji nije označen kao apsolutna vrednost [g/kg], već kao RH%, mora biti vezan za temperaturu, jer je sadržaj vodene pare pri 99% RH na temperaturi od $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ mnogo manji od 60% PH pri temperaturi od $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ (dijagram 3).



Dijagram 3. Molijerov (h-x) dijagram

Nezumevanje razlike između apsolutne i relativne vlage dovodi do grešaka, kao što je bespotrebno zagrevanje. Zagrevanjem vazduha ne vrši se njegovo sušenje, smanjuje se relativna vlage, ali se sadržaj vodene pare u vazduhu ne menja. Da bismo sprečili kondenzaciju potrebno je razumeti i pojam tačke rose. Ukoliko je temperatura vazduha $25\text{ }^{\circ}\text{C}$, koja je najčešća temperatura u unutrašnjem prostoru, pri 60% RH na h-x dijagramu jasno se uočava da do kondenzacije dolazi na temperaturi od $17\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ta temperatura predstavlja tačku rose. Do pojave kondenzacije doći će na svim površinama u prostoru koje imaju temperaturu nižu od $17\text{ }^{\circ}\text{C}$. Za sve vrednosti vlage u vazduhu preko 60% RH, ukoliko je temperatura vazduha veća od $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ nastaje mnogo potencijalnih problema: pojava gljivice, rđe, subjektivni osećaj zamora, otežanog disanja itd. Za sve načine odvlaživanja vazduha (kondenzaciono, adsorpciono) potrebna je energija kojom se voda dovodi iz stanja tečnosti u gasovito stanje. Sa odvlaživanjem neminovno smanjujemo temperaturu tačke rose a to znači da više nemamo kondenzaciju na hladnim površinama, pojavu buđi itd.

Isplativost sistema odvlaživanja

U industriji je svako ulaganje praćeno pitanjem menadžmenta: koliko godina je potrebno da se uložena sredstva isplate? Za odgovor na to pitanje potrebne su sledeće informacije: koliki su trenutni troškovi održavanja, potrošnje energije, koji je trenutni a koji željeni kvalitet proizvoda, koliki je procenat vraćene robe (škarta), koliko je bilo povreda na radu (koje su povezane sa proklizavanjem na vlažnim podovima i sl.), da li već postoje kriterijumi (npr. ostvariti vlagu ispod 30% RH u proizvodnji u svakom trenutku tokom 365 dana godišnje).

Kontrolom vlage direktno utičemo na kvalitet proizvoda, a indirektno na troškove proizvodnje, zdravlje zaposlenih i sl.

Efekti neadekvatne kontrole vlage

Naredno pitanje menadžmenta bilo bi pitanje referenci. Gde je to urađeno u Srbiji? Da li su korisnici odvlaživača vazduha zadovoljni? Da li su stvarno odvlaživanjem vazduha rešili svoje probleme?

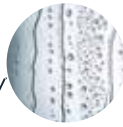
Sledi par primera iz prakse u Srbiji:

- U mesnoj industriji Neoplanta urađena je instalacija adsorpcionih odvlaživača vazduha u manipulativnim hodnicima koji su, pored primarnog cilja – sprečavanja kondeza u hodnicima, doprineli i smanjenju ciklusa odležavanja u hladnjačama.
- U fabrici plastičnih pretformi Energo pet, odvlaživanje je izvršeno lokalno na mašinama radi postizanja optimalnih uslova proizvodnje.
- U farmaceutskoj kući Adoc instaliran je sistem odvlaživanja prema unapred poznatim kriterijumima.
- Radi poboljšanja uslova proizvodnje u fabrici Ball uvedena je kontrole vlage u celom jednom pogonu sa unapred poznatim uslovom (temperatura mora biti ispod 25 °C i vlaga ispod 35% RH).
- U proizvodnji sladoleda Froneri instalirani su sušaći vazduha na tunelu za brzo smrzavanje i u hladnjačama na –15 °C.

Svako rešenje za kontrolu vlage u navedenim referentnim objektima ima svoje specifičnosti. Ne postoje dva ista rešenja. Inženjerski pristup problemu mora da postoji, da bi se postiglo optimalno rešenje za kontrolu vlage u vazduhu.

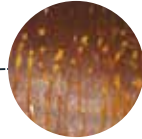
Industrije u kojima kontrola vlage ima najviše uticaja:

- **Proizvodnja litijum-jonskih baterija** – Proizvodnja nije moguća bez ostvarivanja niske vrednosti vlage vazduha u zoni proizvodnje.
- **Farmaceutska industrija** – Proizvodnja nije dozvoljena bez postizanja odgovarajuće temperature, relativne vlažnosti vazduha, klase vazduha itd.
- **Spray Dry** – Proizvodnja u letnjim mesecima nije moguća bez odvlaživanja. Korišćenjem odvlaživača postiže se povećanje kapaciteta sušare do 35%.
- **Skladišta** – Kontrolom vlage smanjuju se troškovi – manje robe oštećene dejstvom vlage.
- **Hladnjače** – Bezbednija manipulacija, manje oštećenja kartonske ambalaže, smanjenje perioda za odležavanje, smanjivanje nagomilavanja leda, eliminisanje magle.



Kondenzacija

Kondenzacija nastaje na površima čija je temperatura niža od temperature tačke rose i uzrokuje dalje mnoštvo problema.



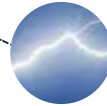
Korozija, rđa

Kombinacija povećane vlage sa kiseonikom u vazduhu uzrokuje koroziju na metalnim površinama, koja neizbežno utiče na izdržljivost i mehaničke osobine. Osim što izuzetno može oslabiti nosivost i uticati na strukturu objekta korozija značajno utiče i na sve električne komponente.



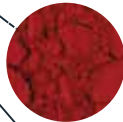
Bud, spore, neprijatni mirisi

Bez kontrolisanja vlage, na svim materijalima mogu nastati uslovi za razvoj plesni, buđi i spora koje utiču kako na zdravlje ljudi, tako i na kvalitet proizvoda i sl.



Problemi sa elektroinstalacijama

Prekomerna vlaga može izazvati pojavu korozije i na legurama i lemljenim spojevima u električnim kolima, i na taj način povećati opasnost od kratkog spoja, varničenja i sl.



Začepjenja i blokade

Sirovine koje su u obliku praha, granulata i sl., vrlo lako apsorbiraju vlagu uz stvaranje grudvica koje lako začepljuju pneumatski transportni sistem. Ta pojava uveliko utiče i na kvalitet proizvoda, uz neizbežne zastoje u proizvodnji radi odgušenja. Kombinacija praškastih sirovina sa visokom vlagom predstavlja vrlo pogodnu podlogu za bakterije i spore gljiva.



Promenljivi proizvodni uslovi

Promena vlage u toku godine predstavlja jedan od uzroka promenljivih uslova u proizvodnji. Upravo takvi promenljivi uslovi utiču na kvalitet proizvoda, potrošnju energije i planiran budžet.



Neefikasno korišćenje energije

Vlagu možemo kontrolisati na više načina. Potrebno je definisati uslove koje želimo postići u proizvodnji i na osnovu željenih kriterijuma biramo najefikasniji način kontrole vlage.



Nedostatak kontrole

Bez potpune kontrole vlažnosti imamo sledeće probleme:

- period isplativost investicije se produžava (ulaganje u opremu i dr.),
- problem sa pouzdanošću električnih i elektro-sistema,
- probijanje rokova,
- kvalitet i trajnost proizvoda,
- povećanje troškova za energete,
- povećanje troškova redovnog održavanja opreme.

- **Fabrike za preradu vode** – Smanjenje troškova održavanja skupe opreme.
- **Stambeni objekti** – Prednost brzih završnih radova, kao i velika efikasnost za rekonstrukciju objekata nakon poplava.
- **Pivare** – Sirovine su bolje očuvane, nema pojave kondenzata, nema problema sa odlepljivanjem etiketa sa flaša, nema korozije na čepovima, nema buđi na tankovim, brže sušenje nakon pranja celog objekata itd.

Praktično ne postoji grana industrije u kojoj vlaga nema uticaja direktno ili indirektno. Probuditi svest kod investitora i menadžmenta da je vlaga uzrok brojnih problema, najvažniji je posao inženjera. U praksi se kao uspešan pokazao moto: *bez rešenog problema – nema naplate.*

* * *

Kao osnova za ovaj tekst poslužila je brošura The Hidden Secret in Modern Industry, kompanije COTES Dehumidifying Solutions, čije proizvode na tržište Srbije donosi preduzeće AND DESIGN DOO SMEDEREVO.

*Saša Živković, dipl. inž. maš., i
Dubravka Živković, saradnica*