

Učinkovito grijanje visokoregalnih skladišta upotrebom decentraliziranih ventilacijskih jedinica

Logistički sektor igra vrlo važnu i dinamičku ulogu u današnjoj ekonomiji. To znači da je taj sektor također subjekt za neprestano unapređenje i modernizaciju, što rezultira konstantnim povećanjem broja logističkih centara i glavnih distribucijskih čvorišta kao osnove učinkovite organizacije.

Ti logistički centri su, za većinu njih, jednoetažna skladišta minimalne visine 10 m, imaju betonske deke, odgovarajuće parkirne zone i transportne prometnice. Takve građevine su u pravilu opremljene s uređajima za klimatizaciju ili sustavima za automatsku ventilaciju. Nažalost, osobe uključene u planiranje često ne pridaju dovoljnu pažnju toj temi, bez obzira na činjenicu da se mogu uštedjeti značajne svote u investiciji i troškovima u radu pravilnim odabirom sustava.

Stoga, ovaj članak opisuje sustave zračnog grijanja u visokoregalnim skladištima (Sl. 1), te se osobito fokusira na utjecaj distribucije zraka kao i na ekonomičnost i tehničku efikasnost.



Sl. 1: Logistički centar s visokoregalnim skladištem

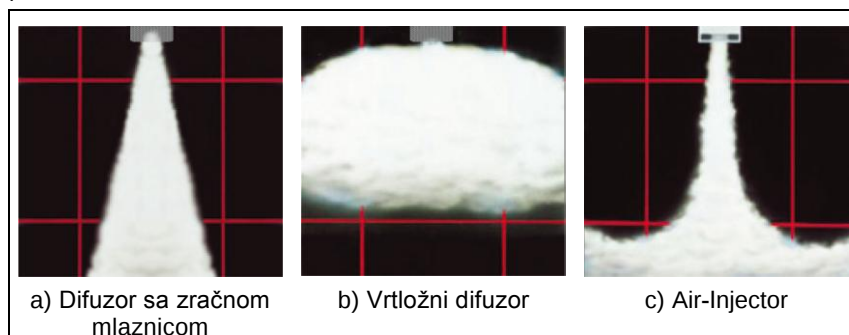
Sustav grijanja zrakom u visokoregalnim skladištima

Učinkovitost sustava grijanja zrakom primarno ovisi o smjeru istrujavanja zraka, kao i temperaturna distribucija koja je najčešće određena povećanjem struje zraka. U neučinkovitim sustavima, to vodi do značajnog temperaturnog porasta, koji rezultira neodgovarajućim uvjetima u području boravka (djelovanja) te i pretjeranim povećanjem potrošnje [2]. Cilj je, svakako, jednolična distribucija temperature od poda do stropa, održavajući temperature značajno niskom, čak i u gornjim dijelovima skladišta (uglavnom, dozvoljen je maksimum od 30 °C).

Naliza različitih sustava za grijanje zrakom prikazuje da je najučinkovitiji sustav koji usmjerava zraka ravno dole u područje boravka [1, 2, 3]. Ovaj članak bavi se detaljnim istraživanjem tri različita zračna difuzora koji se koriste za tu svrhu:

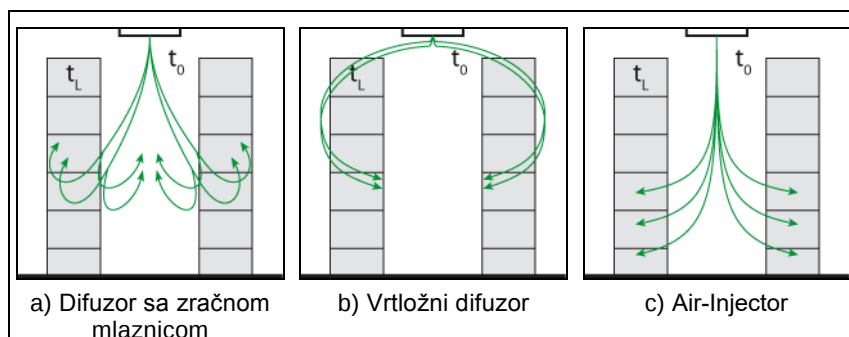
- Difuzor sa zračnom mlaznicom
- Vrtložni difuzor
- Air-Injector

Različiti tipovi dovoda struje zraka te njihovog raspršivanja u otvorenoj prostoriji prikazani su na Slici 2.



Sl. 2: Distribucija zraka u otvorenim prostorima

Međutim, visoko-regalna skladišta sastoje se od zatvorenih prostorija koje sadrže barijere kao što su zidovi i stalaže, strukturom i rasporedom koji diktira oblik zračnih struja. Tipični raspored skladišnih regala u logističkim centrima i rasipanje dobavne struje zraka u takvim vjetima gore opisanih prikazano je na Slici 3.



Sl. 3: Distribucija zraka u zatvorenim prostorima

Skladišni regali osobito deformiraju struju zraka; njen osnovni okrugli oblik je "spljošten" i izdužen uzduž prolaza. To rezultira s dva aerodinamička efekta. Prvo, doseg pokrivanja dobavnog zraka je povećan u jednom smjeru do

prepreka. Drugo, povećanje brzine i tlaka zraka uz skladišne regale rezultira povećanim otporom struji zraka. Učin tih efekata na struju zraka može varirati, i ovisi o tipu difuzora zraka, te o strukturi skladišnih regala koja osobito utječu na količinu zraka koja prolazi kroz njih.

Sile teže javljaju se uslijed razlike u gustoći između zraka injektiranog u prostoriju i zraka koji ga okružuje u toj prostoriji. Te sile također utječu kako i na dovedenu struju zraka tako i na opću cirkulaciju zraka u prostoriji [3]. Ukoliko se zrak ubrizgava vertikalno, struja zraka se usporava ako su sile teže u suprotnom smjeru od sila inercije. Područje pokrivanja, u drugu ruku, se povećava ukoliko te sile djeluju u istom smjeru.

Radi određivanja odnosa između sila teže i inercije, Arhimedov broj se koristi da bi se definirala karakteristika raspona pokrivanja u upotrebi. Ako pretpostavimo da je struja izotermna, proračunava se prema slijedećoj jednadžbi [2]:

$$Ar_x = \beta \cdot Ar_0 \left(\frac{x}{d_0} \right)^2 \quad (1)$$

β Konstanta, ovisi o zračnom difuzoru

x Udaljenost između difuzora zraka i poprečnog presjeka struje
[m] tijekom ispitivanja

d_0 Promjer difuzora zraka [m]

$Ar_0 \sim \Delta t_0/t_{Room}$ Arhimedov broj u inicijalnom presjeku

$\Delta t_0/t_{Room}$ Porast temperature u inicijalnom presjeku struje u odnosu na
zraka koji ga okružuje u prostoriji [K]

Jednadžba se može pojednostaviti u slučaju simetričnih struja (u slučaju s Air-Injector-om) [2]:

$$Ar_x = 1.23 \left(\frac{x}{H} \right)^2 \quad (2)$$

H Geometrijski indeks struje [4]

Iskustvo pokazuje da je za vrijeme niskog nivoa indukcije da temperaturni gradijent kod starta strujanja najmanje 0.4 °C/m. To se događa jer je temperatura zraka pri stopu i u gornjoj zoni skladišta granično niža od temperature u direktnom utjecaju difuzora zraka.

Difuzor sa zračnom mlaznicom

U slučaju grijanja zrakom u kombinaciji s tlačnim strujanjem (Sl. 3a: Difuzor sa zračnom mlaznicom), znači da temperatura u difuzoru zraka t_0 nesmiye preći temperaturu ambijenta t_L ne više on nekoliko stupnjeva. U protivnom, gornji dijelovi visokoregálnih skladišta će se pregrijati, rezultirajući prekoračenjem regulative i uništenjem roba. Primjenjivati važna ograničenja kod upotrebe grijanja prirodnom cirkulacijom, te tlačnim zračnim strujama. Kod kalkulacija uzeti u obzir i nepoznavanje točne vrste uskladištene robe.

Vrtložni difuzor

Opcija upotrebe vrtložne zračne struje (Sl. 3b) postavlja čak većim problemima. Veliki udio vrućeg dovedenog zraka usmjeren je u područje djelovanja, te prikazuje nisku razinu vertikalne inercije. Kao rezultat, raspon putanje je vrlo malen, značajno manji nego u slučaju kod tlačnih zračnih struja. Iz tog razloga, $t_L \sim t_0$ pokazuje primjenu u grijanju visokoregalnih skladišta upotrebom vrtložnih difuzora. Drugačije rečeno, samo nekoliko stalaža u gornjim dijelovima su prozračene. Ukoliko želimo proširiti prostor zagrijavanja, mora se povećati učin grijanja. To neizbježno rezultira povećanjem temperature u razini stropa, te uzrokuje pregrijavanje u području viših stalaža i zanačajne gubitke energije. Također, javlja se značajna razlika u temperature između poda i pod stropom.

Treba zabilježiti, svakako, da je ovaj tip distribucije zraka (Sl. 3b) vrlo pogodan za hlađenje skladišta. To je zato jer je gustoća dovedenog zraka veća od zraka u prostoriji. Kao rezultat, dovedeni zrak pada i cirkulira u području djelovanja bez pojave propuha.

Air-Injector

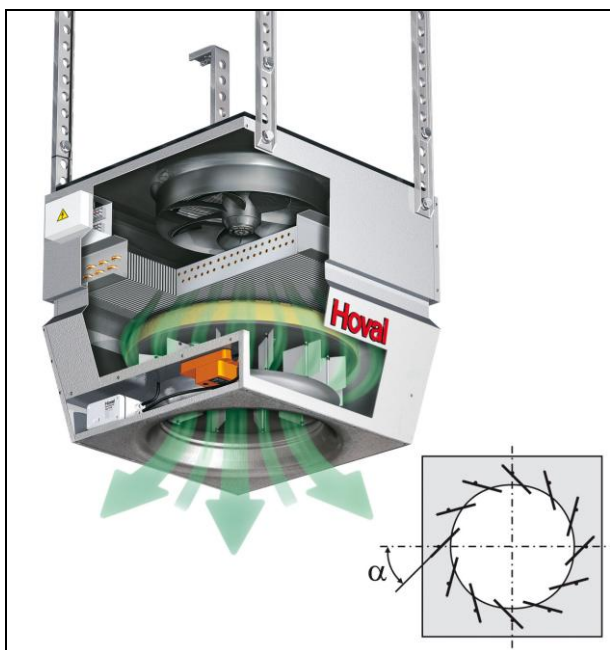
Ova zračna struja okarakterizirana je kao visokoindukcijska struja koja je osobito potrebna kod učinkovitog grijanja visokoregalnih skladišta. U tom slučaju, decentralizirani sustav grijanja je zamišljen za obuhvaćanje višestruku ventilaciju u različitim zonama građevine [5]. Ventilacijske jedinice osiguravaju ubrizgavanje zraka od stropa prema dole u prostoriju (temeljeno na principu ventilacije u području djelovanja) [6, 7]. Ventilacijski kanali nisu potrebni.

Jedinice sadržavaju dvije komponente: grijači element (s ventilatorom i izmjenjivačem topline) i zračnu mlaznicu (Air-Injector) (Sl. 4).

Difuzor zraka sastoji se od dva dijela koji imaju suprotan efekt na stvaranje zračne struje:

- Kombinacija deflektora i mlaznice odgovorna je za stvaranje dobavne struje zraka s maksimalno mogućom površinom pokrivanja;
- Vrtložni uređaj koji rotira zračnu struju, povećavajući kut raspršivanja (indukciju) struje zraka.

Način rada Air-Injector-a baziran je na slijedećem principu: dobavni zrak usmjeren je preko deflektora u obliku diska, te upućen preko lopatica na vrtložni uređaj preko izlazne mlaznice u prostoriju. Deflektor igra vrlo važnu ulogu; on osigurava visoku indukciju upotrebom negativnog tlaka u korijenu zračne struje. To vodi do oblikovanja duge, stlačene zračne struje na početku struje. Ovdje je kut raspršivanja skoro 0° (za razliku od vrijednosti od 11° , koja je karakteristična za slobodno-cirkulirajuće tlačne zračne struje).



Sl. 4: Unutrašnji presjek decentralizirane jedinice za grijanje zrakom s ugrađenim Air-Injector-om

Ovisno o kutu ispuha plopatice rotiraju zračnu struju, ali zbog negativnog tlaka pri startu struje to stvarno ne daje efekt. Ali na veće udaljenosti zraka od mlaznice smanjuju se utjecaj negativne tlačne zone. Rotacija širi zračnu struju indukcijom okolišnih zraka. Oblik struje je jednak obrnutoj gljivi s tankim stablom i velikom kapom. Na taj način, zračnom mlaznicom moguće je dosegnuti veliku površinu i veliku udaljenost.

Visoka razina indukcije uzrokuje cirkulaciju zraka, s gornjih polica regala prema struji zraka. Kao rezultat toga, temperatura u mlaznici može biti viša bez uzrokovanja pregrijavanja područja gornjih stalaža regala ($t_L \ll t_0$). Zbog toga je moguće upotrijebiti svaku od jedinica za grijanje s većim učinkom, npr, s višom temperaturom. U smjeru prema dolje, dobavna zračna struja se hladi indukcijom s okolišnim zrakom te na taj način dostiže potrebnu razinu u području boravka.

Formila (3) za određivanje Arhimedovog broja za Air-Injector-e u otvorenim prostorijama temelji se na eksperimentalnoj bazi:

$$Ar_{d_0} = 2.66 \cdot \left(\frac{d_0}{H_{EQ}} \right)^2 \quad (3)$$

d_0 Promjer difuzora zraka [m]

$H_{EQ} = H_h - 1.5$ Jednadžba indeksa zračne struje

H_h Visina skladišta [m]

Ukoliko usporedimo formule (2) i (3) jasno se vidi da indukcija udvostručuje opseg pokrivanja zračne struje.

Podešavanje struje zraka se bazira na vrtložnom (vortex) efektu i postiže se rotacijom lopatica: udaljenost pri kojoj difuzija prelazi kompresiju ovisi o kutu istrujavanja. Pri kutu istrujavanja od $\alpha = 0^\circ$, dostiže se maksimalna moguća duljina stlačene struje, a pri kutu od $0^\circ < \alpha < 50^\circ$, smanjuje se udaljenje. Maksimalna razina koja se može postići pri kutu od 50° , kada se horizontalna struja zraka raspršuje duljinom stropa (vrtložna struja). To je idealno za potrebe hlađenja.

Air-Injector također nudi za visokoregalna skladišta:

- Podesivo, jednolično grijanje u području djelovanja bez rizika od pregrijavanja u gornjem dijelu regala
- Minimalno temperaturno uslojavanje, i kao rezultat, mali gubitke topline kroz krov
- Za vrijeme hlađenja, idealno distribuciju zraka i temperature pomoću vrtložne struje

Optimalno rješenje

Jednom kad se odredi da Air-Injector-i predstavljaju najbolje rješenje za sustav grijanja zrakom u visokoregalnim skladištima, moraju se dati određeni podaci za određivanje veličine i rasporeda jedinice.

Veličina i količina jedinica

Minimalan broj potrebnih jedinica izračunava se kako slijedi:

- Bazirano na kriteriju: prozračivanje čitave površine S:

$$n_S = \frac{S}{s} \quad (4)$$

- Bazirano na kriteriju: grijanje čitavim učinkom Q:

$$n_Q = \frac{Q}{q} \quad (5)$$

s dosegnuta površina poda po jedinici [m²]

q Toplinski učin po jedinici [kW]

Toplinski učin po jedinici q izračunat je pomoću jednadžbe (6):

$$q = \kappa \cdot \dot{V} \cdot \Delta t \quad (6)$$

κ Koeficijent, ovisi o dizajnu generatora topline

$\dot{V}$ Količina zraka [m³/h]

$\Delta t = t_0 - t_{Soba}$ Razlika između temperature dobavnog zraka t_0 i sobne temperature t_{Soba} [K]

Maksimalna visina montaže izračunava se prema jednadžbi (7):

$$H_{\max} = \mu \cdot \dot{V} \cdot \sqrt{\frac{t_{Soba}}{d_0^3 \cdot \Delta t}} \quad (7)$$

μ Koeficijent, ovisi o dizajnu generatora topline

Bazirano na jednadžbama (6) i (7) te i (4) i (5), možemo zaključiti sljedeće: S ekonomskog gledišta, odabir najvećeg mogućeg generatora topline je najprikladnija odluka. To je i najuvjerljivija opcija, ukoliko nema ograničenja u bruini zraka (propuha) u skladištima. Međutim, ukoliko se zahtijeva veći komfor preporučava se instalacija nekoliko manjih jedinica.

Raspored jedinica

Potreba za grijanjem u skladištu može se značajno mjenjati. Zbog toga je potrebno rasporediti jedinice u različite zone u skladištu ili, drugačije rečeno kreirati odgovarajuće kontrolne zone.

Distribucija zraka je pod utjecajem regalnih polica. Dobavna struja zraka je "uzdužno spljoštena" kroz prolaze, što rezultira većim dosegom površine poda. Pored toga, nije potrebno postaviti jedinice u sve prolaze jer se i susjedni prolazi opskrbljuju preko istih difuzora. To zahtijeva prostor između polica unutar regala, što je ionako standard u regalnim skladištima, kako bi se prilikom punjenja ili pražnjenja moglo kvalitetno manipulirati s robom. Prema tome, dovoljno je instalirati samo jednu jedinicu na tri prolaza (čak i u većim intervalima).



Sl. 5: Distribucija zraka upotrebom Air-Injector-a u visokoregalnim skladištima

Ovo razmatranje, podržano tehničkim publikacijama i praktičnim iskustvima, pokazuje da decentralizirane jedinice za grijanje zrakom s Air-Injector-om čine optimalni sustav grijanja visokoregalnih skladišta. Sustav takve vrste nudi sljedeće specifične prednosti:

- Jednoliku temperaturnu slojevitost kao rezultat optimalne distribucije zraka. Vertikalna temperaturna strmina mjenja se samo od 0.1 do 0.15 °C/m. To osigurava prikladnu upotrebu energije za grijanje u području djelovanja i smanjuje gubiotke energije kroz krov.
- Minimalni broj jedinica smanjuje troškove investicije zahvaljujući pokrivanju velike površine sa svakom jedinicom.
- Nema potrebe za dobavnim i odsisnim zračnim kanalima.
- Decentralizirani pristup osigurava visoku razinu pouzdanosti u radu te mogućnost proširenja postojeće instalacije.

Praktično iskustvo s Air-Injector-ima [5, 7] potvrđuje visoku razinu učinkovitosti u radu te podržava preporuku rješenja za te vrste sustava grijanja zrakom u modernim logističkim centrima.

Literatura

- [1] Agafonova I.A., Strongin A.S., Shilkrot E.O. "Heating and ventilation of modern warehouse complexes", AVOK, №6, 2004
- [2] Grititlin M. I. "Distribution of air indoors", St. Petersburg, 1994
- [3] Balandina L.J. "Features of distribution of warm air indoors with air heating systems", C.O.K., №1, 2007.
- [4] Shepelev I.A. "Aerodynamics of air streams indoors", Moscow: Stroyizdat, 1978.
- [5] Vishnevskij E.P. "Experience of ventilation of objects of the industry and social appointment with use of the decentralized units of manufacturer by HOVAL", AVOK, №5, 1999.
- [6] Grititlin M. I. "Energetically effective ventilation of industrial buildings", Technologies of safety and engineering systems, №6, 2005.
- [7] Balandina L.J., Vishnevskij E.P. "Ventilation of large industrial and public constructions with use of the twirled streams", Works of VII congress AVOK, 2000.