

Analiza odsisne brzine zraka na usisnim ušćima strojeva u pogonu za proizvodnju parketa

Mržljak, Marko

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Forestry and Wood Technology / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet šumarstva i drvne tehnologije**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:108:041611>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-03**



Repository / Repozitorij:

[University of Zagreb Faculty of Forestry and Wood Technology](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU, FAKULTET ŠUMARSTVA I DRVNE TEHNOLOGIJE
UNIVERSITY OF ZAGREB, FACULTY OF FORESTRY AND WOOD TECHNOLOGY



PRIJEDIPLOMSKI STRUČNI STUDIJ DRVNA TEHNOLOGIJA

**Analiza odsisne brzine zraka na usisnim ušćima
strojeva u pogonu za proizvodnju parketa**

Završni rad

Marko Mržljak

Vinkovci, 2024.

Sadržaj

1. UVOD	1
1.1. Definiranje vrsta usitnjenih čestica drva u drvnoj industriji.....	1
1.2. Teorijske osnove djelovanja zračnih konvejera.....	2
1.2.1. Brzina lebdenja.....	2
1.2.2. Fizička svojstva zraka	3
1.2.3. Statički, dinamički i totalni tlak	4
1.2.4. Otpori strujanju zraka.....	5
1.3. Dijelovi zračnih konvejera.....	6
1.4. Cilj završnog rada.....	11
2. MATERIJALI I METODE	12
2.1. Mjerenje brzine strujanja zraka	12
2.2. Shematski prikaz sustava za odsis drvnih čestica i pozicija mjernih mjesta	14
3. REZULTATI MJERENJA	17
4. RASPRAVA.....	25
4.1. Usporedba rezultata mjerenja s uputama proizvođača	25
5. ZAKLJUČAK	27
6. LITERATURA.....	28

DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Naslov	Analiza odsisne brzine zraka na usisnim ušćima strojeva u pogonu za proizvodnju parketa
Title	Analysis of air flow speed on machines at the entrance to the pipeline in parquet production plant
Autor	Marko Mržljak
Mjesto izrade	Sveučilište u Zagrebu Fakultet šumarstva i drvne tehnologije
Vrsta objave	Završni rad
Mentor	prof. dr. sc. Ružica Beljo Lučić
Godina objave	2024.
Obujam	5 poglavlja, 29 stranica, 25 slika, 9 navoda literature
Ključne riječi	Zračni konvejeri, brzina strujanja zraka, učinkovitost
Key words	Air conveyors, the airflow speed, efficiency
Sažetak	<p>Zračni konvejeri su u drvoprerađivačkim pogonima najčešći i najučinkovitiji način transporta drvnih čestica nastalih mehaničkom obradom drva. Glavni je nedostatak zračnih konvejera velika potrošnja električne energije za pogon ventilatora. Za učinkovit odsis drvnih čestica od radnog mjesta potrebno je konstruirati odsisni sustav takav da brzina strujanja zraka bude veća od brzine lebdenja drvnih čestica koje nastaju obradom. U ovom završnom radu analizirana je učinkovitost sustava za odsis i transport drvnih čestica zrakom u pogonu za primarnu preradu drva i pogonu za proizvodnju parketa na temelju mjerenja brzine zraka na usisnim ušćima strojeva. Prezentirani su rezultati mjerenja i analize brzine strujanja zraka na izabranim strojevima na ulazu u cjevovod i na različitim udaljenostima od ulaza u cjevovod. Rezultati mjerenja pokazali su velike razlike u brzinama zraka u pojedinim dijelovima sustava. Smanjenje brzine zraka s povećanjem udaljenosti od usisne cijevi u skladu je s podacima iz literature. Za pojedine strojeve izmjerene su značajno veće brzine zraka od preporučenih što utječe na povećanu potrošnju električne energije za rad sustava za odsis i transport drvnih čestica a time i na veće troškove proizvodnje parketa.</p>
Summary	<p>In woodworking companies, air conveyors are most common and most efficient way of transporting wood particles created by wood processing. The main disadvantage of air conveyors is the high consumption of electricity to drive the system. For efficient extraction of wood particles from the workplace, it is necessary to construct an extraction system in such a way</p>

that the airflow speed is higher than the floating speed of the wood particles created by processing. In this thesis, the efficiency of the system for the extraction and transport of wood particles by air in the plant for primary wood processing and the plant for the production of parquet was analyzed based on the measurement of the air speed at the machines hoods. The results of the measurement and analysis of air flow speed on selected machines at the entrance to the pipeline and at different distances from the entrance to the pipeline are presented. The measurement results showed large differences in air velocity in certain parts of the system. The decrease in air velocity with increasing distance from the suction pipe is in accordance with data from the literature. For some machines, significantly higher air velocity than recommended were measured, which affects the increased consumption of electricity for the operation of the system for the extraction and transport of wood particles, and thus the higher costs of parquet production



IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

OB FŠDT 05 07

Revizija: 2

Datum: 11.04.2021.

„Izjavljujem da je moj završni rad izvorni rezultat mojega rada te da se u izradi istoga nisam koristio drugim izvorima osim onih koji su u njemu navedeni“.

U Vinkovcima, 20.9.2024. godine

vlastoručni potpis

Marko Mržljak

1. UVOD

Drvo se mehanički obrađuje različitim strojevima prilikom čega dolazi do odvajanja drvnih čestica. Odvajanje drvene materije prilikom obrade uzrokuje razne probleme. Naime, drvene čestice se nakupljaju oko alata koji je u zahvatu te tako otežavaju rad. Prostor u kojem dolazi do prekomjerne koncentracije drvnih čestica postaje nesiguran, ali i opasan za čovjekovo zdravlje (Kos i dr. 2002).

Kako bi se spriječile negativne posljedice nakupljanja drvnih čestica, potrebno je ukloniti drvene čestice od radnog mjesta na kojem nastaju. Postoji nekoliko načina pomoću kojih se drvene čestice odvođe od strojeva. Jedan je pomoću raznih elevatora koji u posudama mogu piljevinu transportirati do mjesta skladištenja ili sušenja. Moguće je koristiti vibracijske konvejeve gdje se materijal prenosi u željenom smjeru vibracijom konvejera određenom frekvencijom. Nadalje, moguće je koristiti trakaste i stružne konvejeve koji horizontalno ili pod nekim kutom odvođe odvajani materijal. Također, za transport piljevine možemo koristiti pužne konvejeve koji pomoću spiralnog elementa unutar cijevi horizontalno prenose drvene čestice do mjesta skladištenja.

Zračni konvejeri se najčešće primjenjuju za odsis i transport drvnih čestica u pogonima za mehaničku obradu drva i proizvodnju gotovih proizvoda. Rade na principu transporta čestica zračnom strujom. Smjesa zraka i drvnih čestica usisava se sa radnog mjesta i transportira do odvajачa drvnih čestica te se drvene čestice deponiraju u prostor za skladištenje.

1.1. Definiranje vrsta usitnjenih čestica drva u drvnoj industriji

Većinu sipkih materijala odlikuje svojstvo jednolikih čestica. Drvo nije jedan od tih materijala jer sve oblike usitnjenog drva karakterizira nejednolikost usitnjenih čestica. Budući da je drvo nehomogen i anizotropan materijal, i za njegovu se obradu koriste različiti alati i strojevi, čestice koje nastaju pri obradi i ulaze u transportni sustav, razlikuju se prema masi, veličini i obliku (Elfasakhanya i dr. 2014). Potrebno je poznavati veličine čestica koje nastaju obradom drva i njihova svojstva jer su ta svojstva važna za daljnji transport, skladištenje, zaštitu i pakiranje pa i za daljnju upotrebu (Beljo Lučić i dr. 2005).

Usitnjeno drvo može se razvrstati prema veličini čestica i načinu na koje one nastaju. Tako se razlikuje sječka, blanjevina, iverje, strugotina, piljevina i drvena prašina.

Sječka su najkrupnije čestice usitnjenog drva koje se u načelu ne transportiraju zračnim konvejerima jer je potrebna velika brzina strujanja zraka za transport, već se transportiraju trakastim ili drugim konvejerima. Produkt je grubog usitnjavanja drvene mase.

Blanjevina je usitnjeno drvo nastalo procesom blanjanja. Veličina drvene čestice koja nastaje blanjanjem ovisi o debljini odvajane strugotine i o brzini posmaka obratka.

Iverje su drvene čestice nastale usitnjavanjem cjelovitog drva, drvene sječke ili drugih drvnih ostataka za potrebe proizvodnje. Većinom se koriste za proizvodnju drvnih ploča, a njihova

duljina ne bi trebala biti veća od 30 mm za ploče s mikroiverjem odnosno od 200 mm za ploče s makroiverjem (Jambrečković 2004).

Strugotina je usitnjeno drvo nastalo glodanjem i tokarenjem. Brzina posmaka alata prilikom obrade drva određuje veličinu odvajane drvene čestice. Zbog sigurnosti pri radu prilikom glodanja debljina strugotine ne bi trebala biti veća od 0,8 mm (Goglia 1994).

Piljevina je naziv za drvene čestice koje nastaju prilikom obrade drva piljenjem, a veličina čestica koje nastaju ovisi o tome da li se drvo pili poprečnim načinom piljenja ili uzdužnim te kolika je brzina posmaka.

Drvena prašina su sitne čestice koje karakterizira dugo lebdjenje u zraku. Veličine čestica ne prelaze 0,1 mm što im i omogućuje lako lebdjenje, a kao takve su i jako opasne za ljudsko zdravlje jer se mogu lako udahnuti (Kruljac 2020, prema: Svjatkov 1966).

1.2. Teorijske osnove djelovanja zračnih konvejera

Prilikom odrade drva nastaju drvene čestice koje otežavaju rad stroja, ali i narušavaju zdravlje djelatnika. Stoga je potrebno sve nastale čestice odvesti od stroja do mjesta gdje će se skladištiti. To je osnovna funkcija zračnih konvejera, a postoji više čimbenika zbog kojih su zračni konvejeri i najbolji način transporta drvnih čestica. To se najviše ističe time što zračni konvejeri osim drvene prašine prenose i krupnije čestice te nije potrebno konstruirati više transportnih sustava. Također, sustav je zatvoren što znači da će čestice, jednom kad uđu u struju zraka, doći do mjesta za skladištenje bez rasipanja. Sustav za odsis je jednostavno održavati i konstruirati jer su njegovi dijelovi jednostavni.

Nedostatak pri korištenju zračnih konvejera je velika potrošnja električne energije. Sustav ostaje u pogonu iako možda nisu svi strojevi u pogonu. Također, zračni konvejeri su izrazito bučni, što zbog ventilatora ili odvajaača čestica što zbog udaranja drvnih čestica o stjenke cjevovoda. Osim što se udaranjem drvnih čestica proizvodi buka može doći i do oštećenja cijevi. (Goglia i dr. 1996).

1.2.1. Brzina lebdenja

Osnovni princip djelovanja zračnih konvejera je strujanje zraka određenom brzinom čime se vrši pritisak na krutu česticu u struji zraka. Svaka čestica ima svoju masu te je potrebno odrediti dovoljnu brzinu strujanja zraka za transport, odnosno brzinu veću od brzine lebdenja čestice. Brzinu lebdenja dobijemo izjednačavajući težinu čestice sa silom kojom potisak zraka djeluje na nju, a možemo je izračunati prema izrazu:

$$v_{lebd.} = \sqrt{\frac{4}{3} * \frac{d * g * \rho_{d.č.}}{k * \rho_z}} \quad (1)$$

Gdje je:

d – promjer čestice (m)

ρ_z – gustoća zraka (kg/m^3)
 $\rho_{d.č.}$ – gustoća drvnih čestica (kg/m^3)
 g – gravitacijsko ubrzanje (m/s^2)
 k – faktor aerodinamičnih svojstava.

Potrebnu brzinu strujanja zraka u zračnom konvejeru određujemo tako da brzinu lebdenja pomnožimo s koeficijentom koji iznosi od 1,2 do 2 (Sever, 1988). Brzina lebdenja se odnosi na transport u vertikalnom smjeru.

1.2.2. Fizička svojstva zraka

Budući da se drvene čestice prenose u struji zraka potrebno je poznavati fizička svojstva zraka. Zrak je zapravo smjesa plinova kojeg promatramo kao idealni plin. Gustoću zraka možemo izračunati korištenjem jednadžbe stanja idealnog plina prema izrazu:

$$\rho_z = \frac{p}{R * T} \quad (2)$$

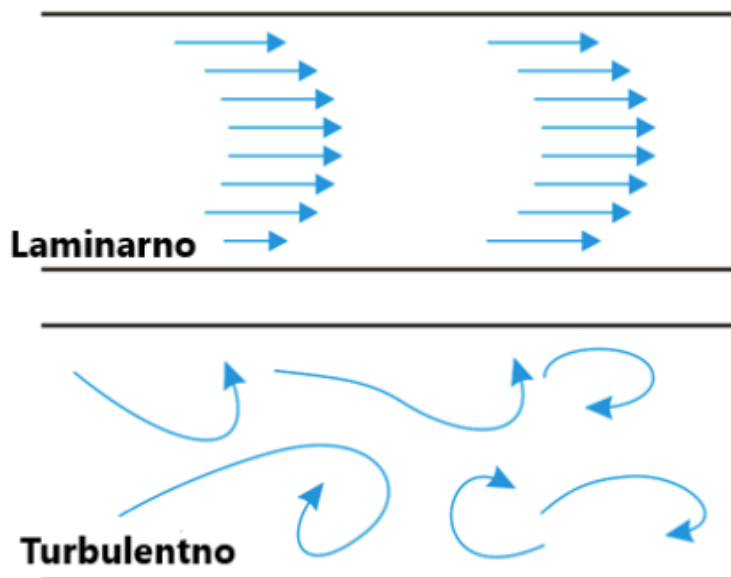
Gdje je:

p – atmosferski tlak (Pa)
 ρ_z – gustoća zraka (kg/m^3)
 T – termodinamička temperatura (K)
 R – opća plinska konstanta (287 J/kgK)

Drvene čestice koje se prenose odsisnim sustavom sa zrakom čine smjesu koja posjeduje nešto veću gustoću od samog zraka, a možemo je izračunati prema izrazu:

$$\rho_s = \rho_z + m_{d.č./m^3} \quad (3)$$

Zrak koji struji kroz sustav ima određenu viskoznost što za posljedicu ima različitu brzinu strujanja zraka kroz poprečni presjek cijevi kroz koju prolazi. Naime, uz stjenku cijevi dolazi do trenja te je brzina strujanja zraka manja u odnosu na brzinu strujanja u sredini presjeka. Svojstvo viskoznosti omogućava struji zraka laminarno strujanje kroz cjevovod što nam je i cilj jer je takva struja zraka postojana i lakše svladava prepreke. Kako u struji zraka zapravo imamo dodane drvene čestice, dolazi do pojave sila inercije zbog kojih strujanje zraka postaje turbulentno. Tada se, gledajući u pravcu strujanja zraka, zrak miješa unutar cjevovoda.



Slika 1. Prikaz laminarnog i turbulentnog strujanja zraka (Izvor: <https://glossary.periodni.com/glosar.php?hr=laminarno+strujanje>, Pristupljeno: 1. 7. 2024.)

Pokazatelj odnosa sila inercije i sila viskoznosti je Reynoldsov broj. On pokazuje granicu kod koje se može očekivati laminarno, odnosno turbulentno strujanje zraka. Reynoldsov broj može se izračunati prema izrazu:

$$Re = \frac{v * d}{\nu} \quad (4)$$

Gdje je:

- v – brzina strujanja (m/s)
- d – promjer cijevi (m)
- ν – kinetička viskoznost (m²/s).

Za vrijednost Re veću od 2320 može se očekivati turbulentno strujanje zraka, a ispod te vrijednosti se događa laminarno strujanje zraka (Sever, 1988).

1.2.3. Statički, dinamički i totalni tlak

Zračna struja koja prolazi kroz cijev istu pritišće tlakom kojeg nazivamo statički. Drugim riječima, statički tlak je tlak između čestica zraka koje se nalaze u struji. Računamo ga prema izrazu:

$$p_{stat} = \frac{E_p}{V_z} = \rho * g * h \quad (5)$$

Gdje je:

- ρ – gustoća zraka (kg/m^3)
- g – gravitacijsko ubrzanje (m/s^2)
- h – visina na koju se podiže medij (m).

Osim potencijalne energije, struja zraka ima i kinetičku energiju. Poznavanjem kinetičke energije određenog volumena zraka dobivamo podatak o dinamičkom tlaku. Možemo ga izračunati koristeći izraz:

$$p_{din} = \frac{E_k}{V_z} = \frac{v^2 * \rho}{2} \quad (6)$$

Gdje je:

- ρ – gustoća zraka (kg/m^3)
- v – brzina strujanja (m/s).

Naposljetku, zbrajanjem dinamičkog i statičkog tlaka dolazimo do ukupnog ili totalnog tlaka.

1.2.4. Otpori strujanju zraka

Strujanje zraka kroz cjevovod možemo opisati Bernoullijevom jednadžbom jer ona omogućuje prikaz struje zraka na različitim presjecima zbog zakona o očuvanju energije. Naime, promatrajući tlakove i brzinu strujanja zraka dolazimo do izraza:

$$p_{st1} + \frac{v_1^2 * \rho}{2} = p_{st2} + \frac{v_2^2 * \rho}{2} + \Delta p \quad (7)$$

Gdje je:

- ρ – gustoća zraka (kg/m^3)
- v_1, v_2 – brzine strujanja zraka na promatranim presjecima (m/s)
- p_{st1}, p_{st2} – statički tlakovi na promatranim presjecima (Pa)
- Δp – pad tlaka koji nastaje zbog otpora struji zraka (Pa).

Pad tlaka prilikom strujanja zraka nastaje zbog raznih otpora toj struji. Računa se prema Darcyjevoj jednadžbi:

$$\Delta p = \Sigma \xi * \frac{v^2 * \rho}{2} \quad (8)$$

$$\Sigma \xi = \xi_1 + \xi_2 + \xi_3 + \xi_c \quad (9)$$

Gdje je:

- ρ – gustoća zraka (kg/m^3)
- v – brzina strujanja zraka na promatranom presjeku (m/s)

$\Sigma \xi$ – suma koeficijenata otpora struji zraka
 Δp – pad tlaka koji nastaje zbog otpora struji zraka (Pa)
 ξ_1 – koeficijent otpora ušća
 ξ_2 – koeficijent otpora trenja
 ξ_3 – koeficijent otpora koljena
 ξ_c – koeficijent otpora odvajača drvnih čestica (ciklona).

Koeficijente otpora, također, možemo izračunati, no za neke imamo predefimirane vrijednosti. ξ_1 je otpor struji zraka koji nastaje na usisnom ušću i ovisi o tome kako je usisno ušće konstruirano. Vrijednost koeficijenta iznosi od 0,1 do 0,5. (Sever, 1988) Nadalje, ξ_c je definiran odvajačem drvnih čestica. ξ_2 je koeficijent otpora struji zraka koja prolazi kroz ravnu cijev, a pri tome dolazi do trenja između cijevi i struje zraka. Računamo ga prema izrazu:

$$\xi_2 = \lambda * \frac{l}{d} = \left(0,0125 + \frac{0,0011}{d} \right) * \frac{l}{d} \quad (10)$$

Gdje je:

l – duljina ravnog dijela cijevi (m)
 d – promjer cijevi (m)
 λ – faktor trenja

Posljednji u nizu je koeficijent otpora koljena. Budući da zračna struja ima tendenciju pravocrnog gibanja, koljeno je mjesto na kojem dolazi do značajnog otpora jer koljenom, prilikom konstruiranja sustava, usmjeravamo zračnu struju u smjeru koji je nama potreban. Računamo ga prema sljedećem izrazu:

$$\xi_3 = i * f_1 * f_2 * \xi_{90}^{r/d} \quad (11)$$

Gdje je:

i – broj koljena
 f_1 – korekcijski faktor za kut koljena
 f_2 – korekcijski faktor za udaljenost koljena od izvora turbulencije
 $\xi_{90}^{r/d}$ – korekcijski faktor za omjer radijusa luka koljena i promjera cijevi.

1.3. Dijelovi zračnih konvejera

Osnovni dijelovi sustava za odsis drvnih čestica su cjevovod, usisna ušća, koljena, ventilator, odvajači drvnih čestica i elektromotor.

Cjevovod je dio sustava zračnih konvejera koji je najčešće kružnog presjeka. Izrađuje se uglavnom od čeličnog lima, a moguće je koristiti i cijevi izrađene od drugih materijala kao što je PVC. Naime, PVC cijevi su fleksibilne i lako se mogu postaviti od jedne grane cjevovoda do usisnog ušća na stroju. Posebice ako na stroju postoji više usisnih ušća. Cjevovod se sastoji od niza cijevi kojima se drvni ostatci transportiraju od strojeva do skladišnog prostora ili pogona za daljnju obradu.

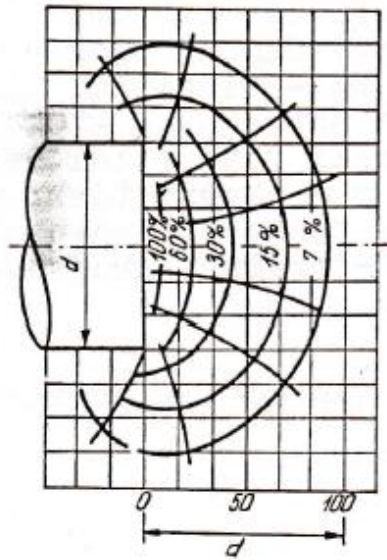


Slika 2. Prikaz cjevovoda

Uisno ušće je poseban dio odsisnog sustava pomoću kojeg se usmjerava zračna struja i pospješuje odsis drvnih čestica. Naime, ravna cijev usisava sav zrak koji se nalazi u zamišljenoj sferi oko ruba cijevi, dok se sa posebno konstruiranim ušćima usis ograničava na dio sfere ispred ušća. Budući da je protok jednak u oba slučaja, brzina odsisa drvnih čestica će biti veća kada koristimo usisno ušće. Prema Palubicki i dr. (2020.) idealno je postaviti usisno ušće ispod i iznad alata jer se time smanjuje zaprašivanje radnog prostora i do pet puta.



Slika 3. Prikaz usisnog ušća



Slika 4. Prikaz pada brzine strujanja zraka u odnosu na udaljenost od usisne cijevi (Sever, 1988)

Koljena su dijelovi zračnog konvejera koji služe za izmjenu smjera struje zraka. Naime, nije moguće konstruirati idealni sustav za odsis drvnih čestica koji je potpuno ravan. Stoga koristimo koljena kojima se usmjerava zračna struja prema potrebama proizvodnog procesa. Budući da se u koljenima prekida linearnost toka zračne struje, ona predstavljaju značajan koeficijent otpora, kako je već ranije i navedeno.



Slika 5. Prikaz koljena

Ventilator je neizostavni dio odsisnog sustava koji za posljedicu svoga rada ima strujanje zraka. Za odabir ventilatora potrebno je proračunati pad tlaka cijelog sustava i potreban protok zraka. Temeljem tih podataka je potrebno izabrati odgovarajući ventilator iz kataloga proizvođača (Sever 1988).



Slika 6. Centrifugalni ventilator

Prema odabranom ventilatoru se odabire pogonski elektromotor. Treba se uzeti u obzir kolika je potrebna pogonska snaga ventilatora te prema tome odrediti potrebnu snagu elektromotora. Nadalje, elektromotor je potrebno predimenzionirati jer uvijek postoje gubici pri radu koji smanjuju mehaničku snagu koja se prenosi na ventilator.



Slika 7. Elektromotor (Izvor: <https://webshop.rexel.hr/hr/shop/trofazni-elektromotor-weg-3kw-1400omin-230400v-ac-b3-28mm-ie3-2746655>, Pristupljeno 4. 7. 2024.)

Kako se zračnim konvejerima drvene čestice prenose u smjesi sa zrakom, u jednom dijelu transporta ih je potrebno razdvojiti jer nam je cilj uskladištiti drvni ostatak. Odvajači drvnih čestica upravo tome i služe. Prolaskom smjese zraka i drvnih čestica kroz njih se, uz razne

principe, drvni ostatak odvoji od zraka i čisti zrak se pušta u okolinu. Postoji nekoliko vrsta odvajača drvnih čestica, no zasigurno su u drvenoj industriji najzastupljeniji centrifugalni i filtarski odvajači.

Centrifugalni odvajači, poznatiji pod nazivom cikloni, drvene čestice odvajaju zbog pojave centrifugalne sile prilikom prolaska smjese zraka kroz njih. Naime, struja zraka ulazi u odvajač gotovo tangencijalno u odnosu na plašt odvajača i kružno struji do izlaza. Masa drvnih čestica je relativno veća od zraka te na njih djeluje centrifugalna sila koja ih odvlači do stjenke odvajača. Tu dolazi do trenja, pada brzine strujanja zraka te djelovanja gravitacijske sile što za posljedicu ima padanje drvnih čestica na dno odvajača.



Slika 8. Ciklonski odvajač čestica

Filtarski odvajači rade na principu prolaska smjese zraka kroz filtarske vreće gdje se drvene čestice odvoje od zraka i padnu na dno filtera, a pročišćeni zrak izlazi van filtera u okolinu. Koriste se većinom za odvajanje suhih drvnih čestica i drvene prašine jer kroz filter ne može proći gotovo ništa osim zraka.



Slika 9. Filtarski odvajač čestica

1.4. Cilj završnog rada

Cilj završnog rada bio je izmjeriti i analizirati brzine zraka na usisnim ušćima strojeva u pogonu za proizvodnju parketa te usporediti izmjerene brzine strujanja zraka s brzinama preporučenim od strane proizvođača strojeva. Na temelju rezultata procijenit će se učinkovitost rada sustava za odsis i transport drvnih čestica.

2. MATERIJALI I METODE

2.1. Mjerenje brzine strujanja zraka

Cilj ovog rada bio je izmjeriti brzinu strujanja zraka na usisnim ušćima odabranih strojeva u pogonima za proizvodnju parketa. Stoga je bilo potrebno odabrati strojeve na kojima će se vršiti mjerenja. Budući da je za mjerenje brzine strujanja zraka potreban pristup usisnom ušću, to je bio glavni kriterij za odabir mjernih mjesta. Kako su odsisne cijevi na različite načine spojene na strojeve i teško ih je odvojiti, mjerenja su vršena na mjestima gdje je bilo moguće odvojiti cijev od usisnog ušća. Mjerna mjesta su označena na tlocrtima pogona u kojima su obavljena mjerenja brzine strujanja zraka (Slika 14., Slika 15. i 16.)

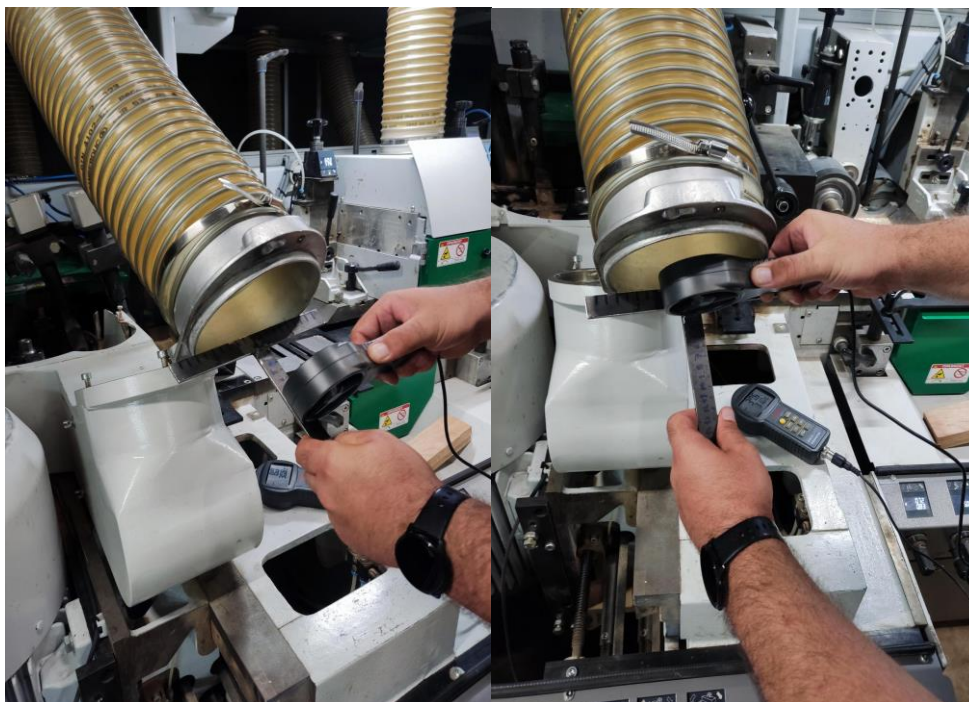
Brzina strujanja zraka mjerena je digitalnim anemometrom „TECPEL AVM-715“ koji je prikazan na slici 10., a brzina strujanja zraka je mjerena u jedinici m/s. Brzina strujanja zraka mjerena je na više različitih udaljenosti od usisne cijevi. Udaljenost mjerenja određena je u ovisnosti o promjeru cijevi d . Mjerni uređaj bio je postavljen na sredinu poprečnog presjeka cijevi te na udaljenosti od cijevi u iznosu $0*d$, $0,25*d$, $0,5*d$, $0,75*d$ i $1*d$, a brzina zraka je mjerena pet puta na svakom mjernom mjestu. Kako bi se olakšalo mjerenje izrađen je priručni alat s mjernom skalom koji se može postaviti na čeonu presjek usisne cijevi te u jednom potezu odrediti promjer cijevi i udaljenost od cijevi (Slika 10. i Slika 11.).



Slika 10. Mjerni instrument za mjerenje brzine zraka



Slika 11. Priručni alat s mjernom skalom za određivanje mjernog mjesta na određenoj udaljenosti od usisne cijevi



a)

b)

Slika 12. Prikaz mjerenja brzine strujanja zraka a) na udaljenosti $0,5*d$ i b) na udaljenosti $0*d$



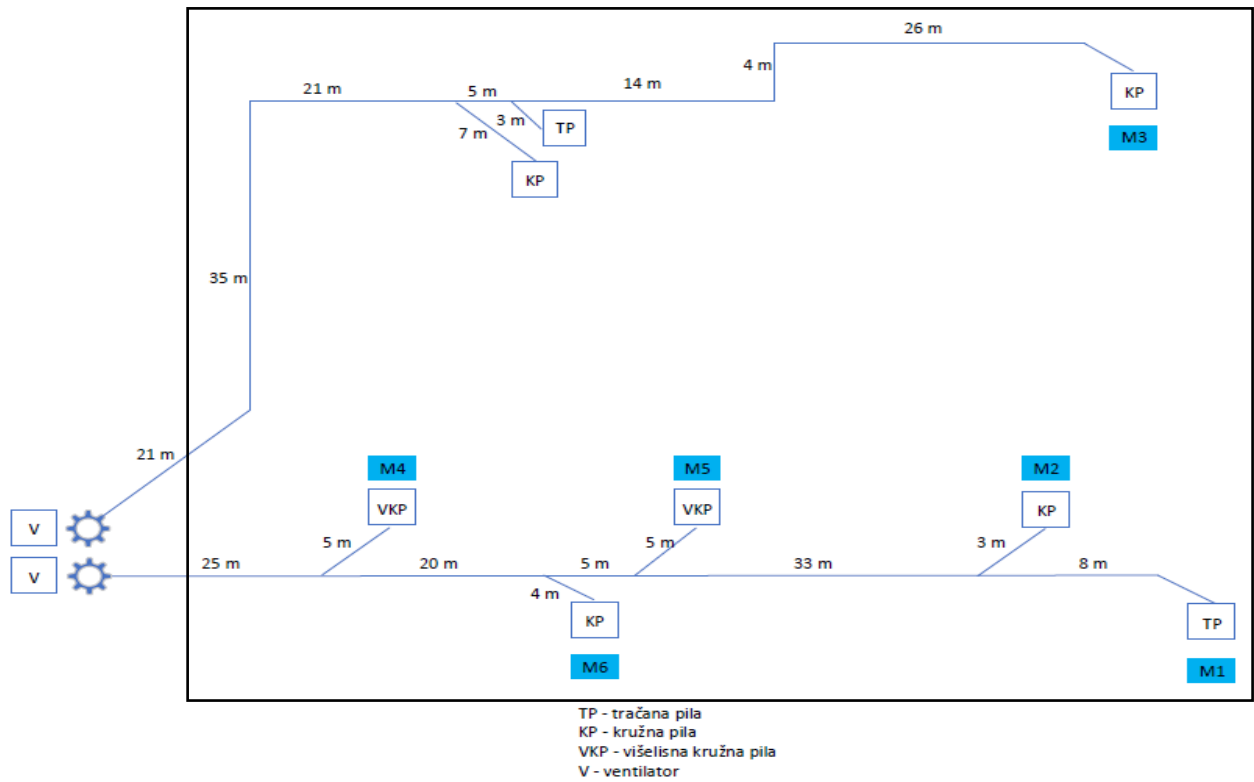
a)

b)

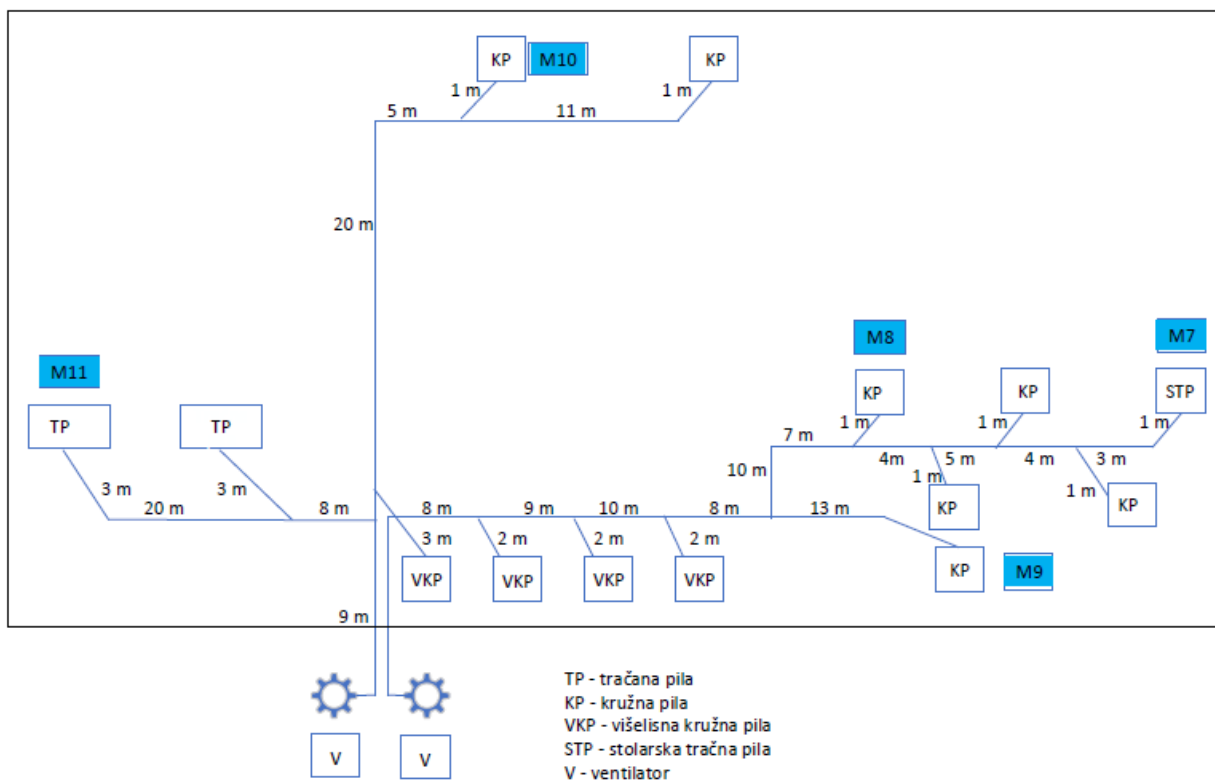
Slika 13. Prikaz mjerenja brzine strujanja zraka a) na udaljenosti $0,75*d$ i b) na udaljenosti $0*d$

2.2. Shematski prikaz sustava za odsis drvnih čestica i pozicija mjernih mjesta

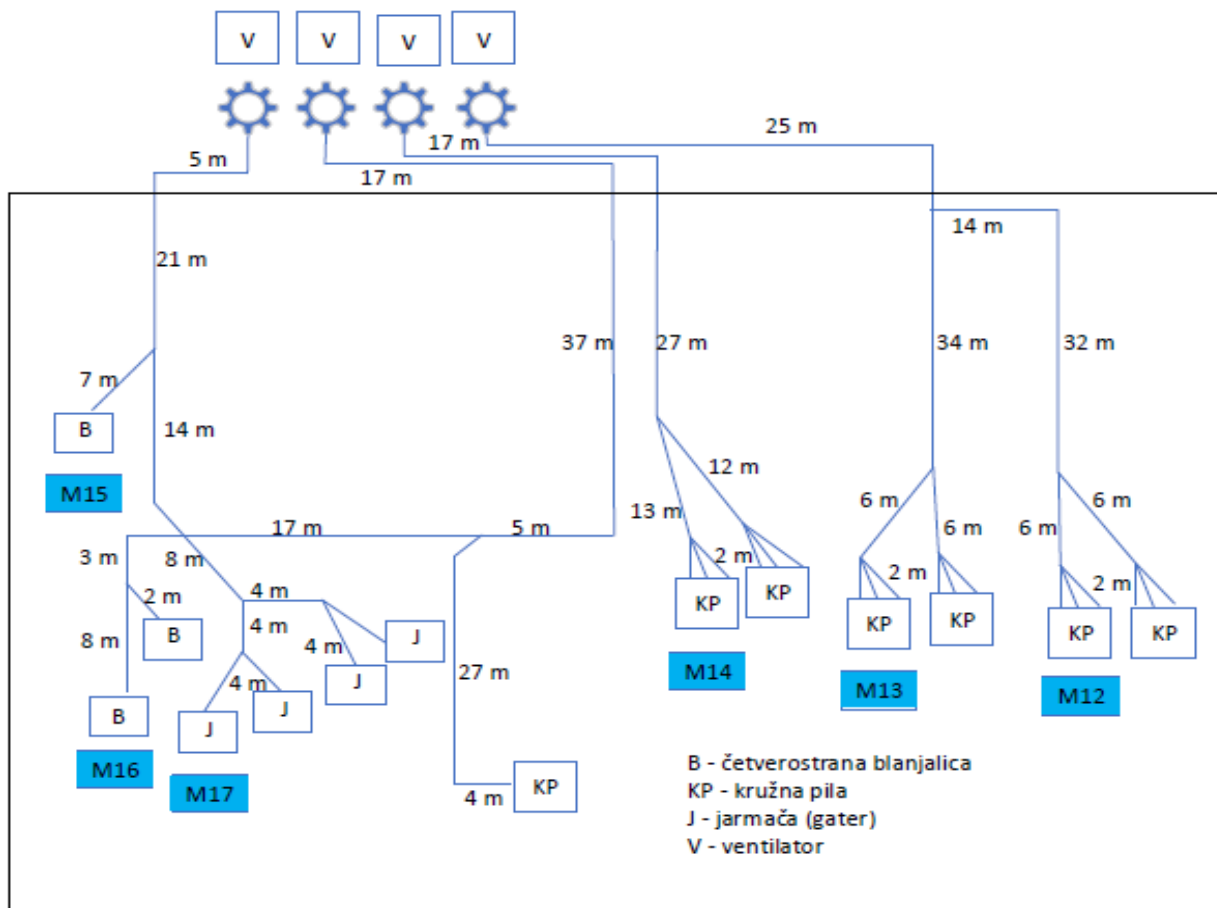
Za razumijevanje dobivenih rezultata mjerenja važno je imati tlocrt cijeloga sustava i poziciju strojeva na kojima je mjerena brzina strujanja zraka. Proizvodnja parketa u kojoj su provedena mjerenja podijeljena je u tri dijela (pogon za primarnu preradu 1, pogon za primarnu preradu drva i pogon za proizvodnju parketa) stoga je bilo potrebno za svaki dio proizvodnje izraditi tlocrt sustava za odsis drvnih čestica. Na tlocrtima (Slika 14., Slika 15., Slika 16.) su shematski prikazani instalirani stojevi i sustavi za odsis i transport drvnih čestica te označena mjerna mjesta, pozicije dijelova odsisnog sustava i njihove udaljenosti.



Slika 14. Tlocrt pogona za primarnu preradu drva 1



Slika 15. Tlocrt pogona za primarnu preradu drva 2



Slika 16. Tlocrt pogona za proizvodnju parketa

U pogonima za primarnu preradu instalirana su po dva sustava za odsis i transport drvnih čestica a mjerenja brzine strujanja zraka provedena su na barem jednom usisnom ušću na svakom sustavu. U pogonu za proizvodnju parketa instalirana su četiri sustava za odsis i transport drvnih čestica a brzina strujanja zraka izmjerena je na usisnom ušću jednog ili dva stroja u svakom sustavu.

3. REZULTATI MJERENJA

Rezultati mjerenja prikazani su u tablici 1. Iz rezultata se može zaključiti da brzina strujanja zraka na svim mjernim mjestima opada s povećanjem udaljenosti od usisne cijevi. Budući da bi brzina strujanja zraka trebala biti veća za drveni ostatak sa većim sadržajem vode, nego za onaj s manjim, odvojeno su prikazani podaci o izmjenjenim brzinama strujanja zraka.

Tablica 1. Izmjerene vrijednosti brzine strujanja zraka na ušćima strojeva M1-M11 (odsisava se drveni ostatak sadržaja vode većeg od 40 %)

Mjerno mjesto	M1 (d= 180 mm)					M2 (d= 110 mm)					M3 (d= 130 mm)					M4 (d= 200 mm)				
	0*d (m/s)	0,25*d (m/s)	0,5*d (m/s)	0,75*d (m/s)	d (m/s)	0*d (m/s)	0,25*d (m/s)	0,5*d (m/s)	0,75*d (m/s)	d (m/s)	0*d (m/s)	0,25*d (m/s)	0,5*d (m/s)	0,75*d (m/s)	d (m/s)	0*d (m/s)	0,25*d (m/s)	0,5*d (m/s)	0,75*d (m/s)	d (m/s)
1	38,6	23,8	12,6	6,8	2	38,5	16,8	7,4	4,6	2,6	16,9	11,8	5,4	3,9	1,5	56,9	43,5	28,3	26,5	23,8
2	39,2	24,2	12,2	6,6	2,4	40	17,2	8	4,8	2,6	16,5	12,2	5,2	3,8	1,8	56,5	44,2	29,1	27,2	24,5
3	38,7	23,8	12	6,5	2,7	38,7	16,8	7,5	4,6	2,9	16,4	11,9	5,5	4,2	1,6	56,1	43,6	29,5	27,1	23,6
4	38,6	23,9	11,9	7,4	2,3	38,6	16,9	7,7	4,8	2,4	16,5	12,1	5,7	3,6	1,5	55,9	43,9	28,6	26,8	24,2
5	38,9	24	12,6	7,1	2,5	38,9	17	7,7	4,9	2,7	16,8	11,7	5,7	3,7	1,7	56,3	44,1	28,6	26,7	24,4
Srednja vrijednost	38,8	23,9	12,3	6,9	2,4	38,9	16,9	7,7	4,7	2,6	16,6	11,9	5,5	3,8	1,6	56,3	43,9	28,8	26,9	24,1
Standardna devijacija	0,255	0,167	0,329	0,37	0,259	0,611	0,167	0,23	0,134	0,18	0,217	0,207	0,212	0,23	0,13	0,385	0,305	0,476	0,288	0,387
Mjerno mjesto	M5 (d= 200 mm)					M6 (d= 100 mm)					M7 (d= 130 mm)					M8 (d= 80 mm)				
	0*d (m/s)	0,25*d (m/s)	0,5*d (m/s)	0,75*d (m/s)	d (m/s)	0*d (m/s)	0,25*d (m/s)	0,5*d (m/s)	0,75*d (m/s)	d (m/s)	0*d (m/s)	0,25*d (m/s)	0,5*d (m/s)	0,75*d (m/s)	d (m/s)	0*d (m/s)	0,25*d (m/s)	0,5*d (m/s)	0,75*d (m/s)	d (m/s)
1	35,8	23,7	8,4	6,9	2,2	19,8	16,4	13,9	9,2	5,5	15,7	6,2	2,6	1	0	31,7	21,4	5,9	5,2	1,4
2	36,1	24,2	8,6	6,5	2,8	20,3	16,2	14,2	9,8	5,6	16	6,9	2,9	0,8	0	32,2	21,2	6	4,8	1,8
3	35,7	24,3	8,7	7,4	2,6	20,1	16,8	14,4	9,5	5,7	16,4	6,7	2,7	0,6	0	32	20,7	5,6	4,6	1,7
4	36,2	23,5	8,1	7,2	2,5	20,5	16,9	13,9	9,4	5,2	15,7	6,5	2,5	1,1	0	31,9	21,5	5,8	5,1	1,5
5	35,9	23,3	8,5	6,8	2,4	19,9	17,1	13,8	9,2	5,2	15,9	6,3	2,7	0,8	0	32,3	21	5,5	4,5	1,8
Srednja vrijednost	35,9	23,8	8,5	7	2,5	20,1	16,7	14	9,4	5,4	15,9	6,5	2,7	0,9	0	32	21,2	5,8	4,8	1,6
Standardna devijacija	0,207	0,436	0,23	0,351	0,224	0,286	0,37	0,251	0,249	0,23	0,288	0,286	0,148	0,195	0	0,239	0,321	0,207	0,305	0,182
Mjerno mjesto	M9 (d= 60 mm)					M10 (d= 130 mm)					M11 (d= 250 mm)									
	0*d (m/s)	0,25*d (m/s)	0,5*d (m/s)	0,75*d (m/s)	d (m/s)	0*d (m/s)	0,25*d (m/s)	0,5*d (m/s)	0,75*d (m/s)	d (m/s)	0*d (m/s)	0,25*d (m/s)	0,5*d (m/s)	0,75*d (m/s)	d (m/s)					
1	23,4	17,2	8,4	5,2	2,9	55	38,4	15,6	11,2	1	59,1	47,3	32,4	26,5	18,6					
2	24	17,6	8,6	5,9	3,7	55,8	38,2	15,8	10,9	1,6	60,3	47,5	33	26,8	18,8					
3	23,2	17,9	8,7	5,5	3,6	55,9	38,5	15,9	10,6	1,3	59,7	47,3	32,8	26,9	19					
4	23,8	18	8,8	6,3	3,4	54,8	37,9	15,2	10,8	1,2	59,6	46,9	32,6	27,2	19,1					
5	23,6	17,3	8,2	6,4	3,6	55,3	38	15,8	10,9	1,5	59,6	47,1	32,5	26,3	18,7					
Srednja vrijednost	23,6	17,6	8,5	5,9	3,4	55,4	38,2	15,7	10,9	1,3	59,7	47,2	32,7	26,7	18,8					
Standardna devijacija	0,316	0,354	0,241	0,513	0,321	0,483	0,255	0,279	0,217	0,24	0,428	0,228	0,241	0,351	0,21					

Tablica 2. Izmjerene vrijednosti brzine strujanja zraka na ušćima strojeva M12-M17 (odsisava se drveni ostatak sadržaja vode od 6 do 10 %)

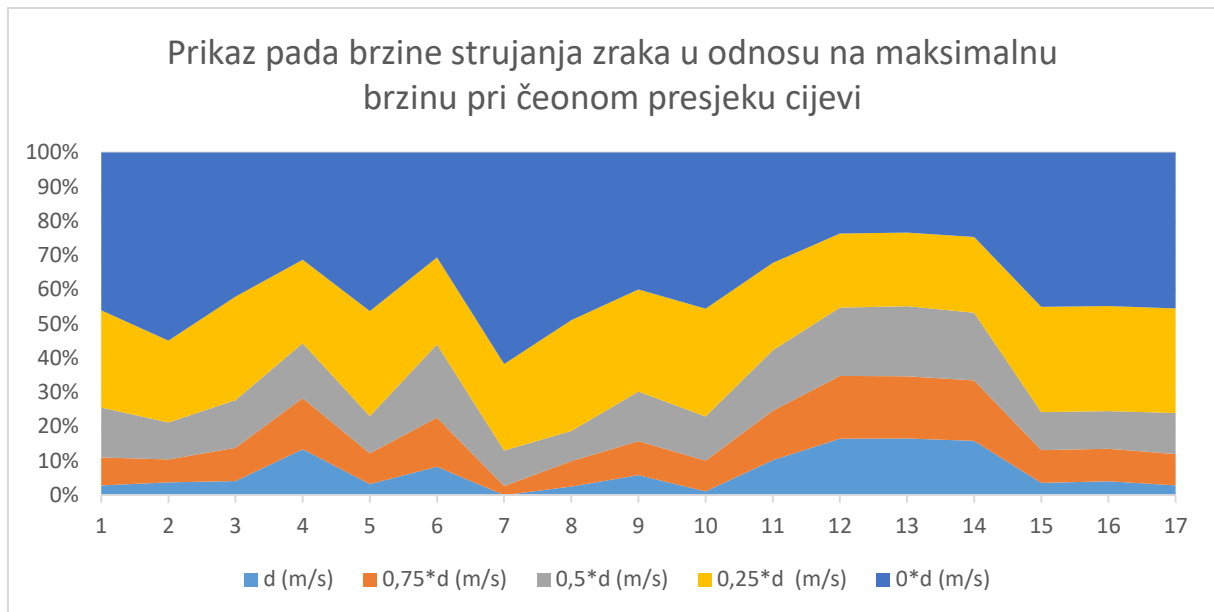
Mjerno mjesto	M12 (d= 200 mm)					M13 (d= 200 mm)					M14 (d= 180 mm)				
	0*d (m/s)	0,25*d (m/s)	0,5*d (m/s)	0,75*d (m/s)	d (m/s)	0*d (m/s)	0,25*d (m/s)	0,5*d (m/s)	0,75*d (m/s)	d (m/s)	0*d (m/s)	0,25*d (m/s)	0,5*d (m/s)	0,75*d (m/s)	d (m/s)
1	20,7	18,5	17,7	16,5	14,2	26,1	24,8	23,2	20,8	18,7	18,6	17,2	15,2	13,2	12,5
2	20,3	18,8	17,2	16,2	14,5	26,5	24,2	23,5	20,3	18,4	18,2	17	15,4	13,9	12,2
3	20,5	19,2	17,6	16,1	14,8	26,8	24,5	22,8	20,5	18,9	19,5	16,5	14,9	13,2	11,8
4	21	19,2	17	15,8	14	26,9	24	23,4	21	19,2	19,2	16,8	15	13,7	12,3
5	20,7	18,7	17,5	15,4	14,3	26,7	24,7	23,5	20,7	18,8	19	17,3	15,2	13,6	11,9
Srednja vrijednost	20,6	18,9	17,4	16	14,4	26,6	24,4	23,3	20,7	18,8	18,9	17	15,1	13,5	12,1
Standardna devijacija	0,261	0,311	0,292	0,418	0,305	0,316	0,336	0,295	0,27	0,292	0,51	0,321	0,195	0,311	0,288
Mjerno mjesto	M15 (d= 150 mm)					M16 (d= 150 mm)					M17 (d= 170 mm)				
	0*d (m/s)	0,25*d (m/s)	0,5*d (m/s)	0,75*d (m/s)	d (m/s)	0*d (m/s)	0,25*d (m/s)	0,5*d (m/s)	0,75*d (m/s)	d (m/s)	0*d (m/s)	0,25*d (m/s)	0,5*d (m/s)	0,75*d (m/s)	d (m/s)
1	39,8	26,7	9,6	8,5	2,9	33,8	23,2	8,2	7,4	2,8	39,6	26,9	10,2	8,2	2,5
2	39,6	27,2	9,9	8,2	3,2	33,5	23,8	8,5	7,8	2,5	39,2	26	10,5	7,8	2,6
3	40,2	27,3	10,2	8,6	3,3	34,6	23,5	8,2	7,6	3,2	39,8	26,8	10,7	8	2,3
4	40,2	27,6	9,5	8,7	3,5	33,6	22,8	8	6,9	3,3	40,2	27,1	10,8	8,3	2,2
5	39,2	26,9	9,8	8,3	2,8	34,2	22,8	8,7	6,2	3,5	40	26,6	10,2	7,6	2,8
Srednja vrijednost	39,8	27,1	9,8	8,5	3,1	33,9	23,2	8,3	7,2	3,1	39,8	26,7	10,5	8	2,5
Standardna devijacija	0,424	0,351	0,274	0,207	0,288	0,456	0,438	0,277	0,642	0,404	0,385	0,421	0,277	0,286	0,239

Postotni odnos brzine strujanja zraka na određenoj udaljenosti od cijevi i brzine na čeonom presjeku cijevi za sva mjerna mjesta prikazan je u tablici 3. i na slici 17.

Tablica 3. Odnos izmjerene brzine strujanja zraka na određenoj udaljenosti od cijevi i brzine na čeonom presjeku cijevi

Mjerno mjesto	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16	M17
0*d (m/s)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0,25*d (m/s)	61,6	43,5	71,8	77,8	66,2	82,9	40,9	66,1	74,6	69,0	79,1	91,5	91,9	89,7	68,2	68,4	67,1
0,5*d (m/s)	31,6	19,7	33,1	51,2	23,5	69,8	16,8	18,0	36,2	28,3	54,7	84,3	87,5	80,1	24,6	24,5	26,4
0,75*d (m/s)	17,7	12,2	23,1	47,7	19,4	46,8	4,3	15,1	24,8	19,7	44,8	77,5	77,7	71,5	21,3	21,2	20,1
d (m/s)	6,1	6,8	9,7	42,8	7,0	27,0	0,0	5,1	14,6	2,4	31,6	69,6	70,7	64,2	7,9	9,0	6,2

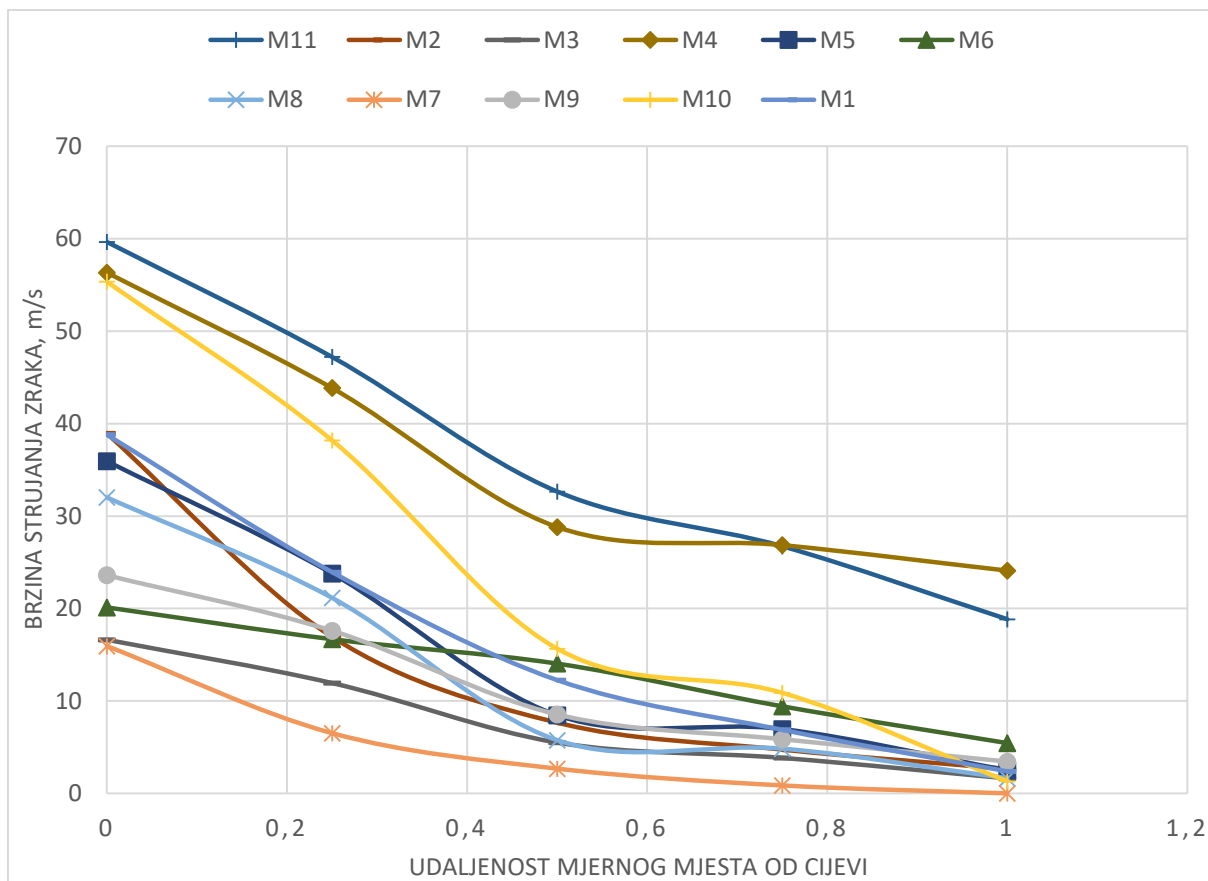
Usporedbom ovih podataka sa smanjenjem brzine strujanja zraka ispred cijevi prikazanim na slici 4., vidljivo je kako na mjernim mjestima M4, M6, M11, M12, M13 i M14 dolazi do značajnog odstupanja podataka. Naime, na tim mjernim mjestima brzina strujanja zraka značajno manje opada u odnosu na podatke sa slike 4. Na mjernim mjestima M2 i M7 brzina strujanja zraka opada značajno više. Sva ostala mjerna mjesta su u skladu s literaturnim podacima o smanjenju brzine strujanja zraka u ovisnosti o udaljenosti od usisne cijevi. Ako se analizira smanjenje brzine strujanja zraka u ovisnosti o udaljenosti od cijevi s obzirom na vrijednost izmjerene brzine na samom ulazu u usisnu cijev može se uočiti da je pad brzine manji kod većih vrijednosti brzine a veći kod manjih vrijednosti izmjerenih brzina. Analizom pozicije usisnih ušća u odnosu na ventilator može se zaključiti da je manji pad brzine strujanja zraka zabilježen na mjernim mjestima koja su bliže ventilatoru a najveći pad brzine strujanja je kod usisnih ušća koja su najudaljenija od ventilatora.



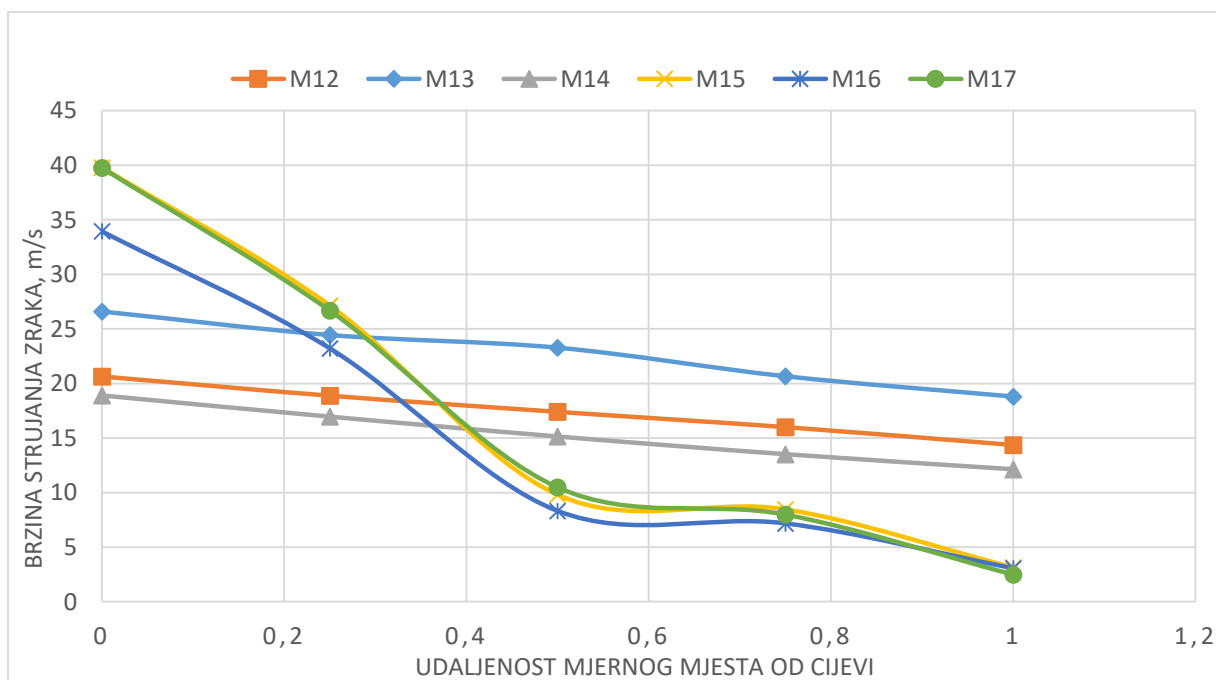
Slika 17. Prikaz pada brzine strujanja zraka u odnosu na maksimalnu brzinu

Na slikama 18. i 19. prikazane su srednje vrijednosti izmjerene brzine strujanja zraka u ovisnosti o udaljenosti od usisne cijevi za usisna ušća na strojevima na kojima se obrađuje drvo sadržaja vode većeg od 40 % i sadržaja vode od 6-10 %.

Analizom pozicije mjernih mjesta u odnosu na ventilator u sustavu može se zaključiti da su uglavnom izmjerene manje brzine strujanja zraka na ušćima koja su najudaljenija od ventilatora a najveće brzine na ušćima koja su najbliže ventilatoru. To se posebno odnosi na situacije kada se uspoređuju mjerna mjesta na istom sustavu za odsis drvnih čestica (ušća spojena na isti ventilator). Naime, brzina strujanja u sustavu za odsis određena je frekvencijom vrtnje ventilatora i brzina u svakom sustavu ovisi o parametrima instaliranog ventilatora.

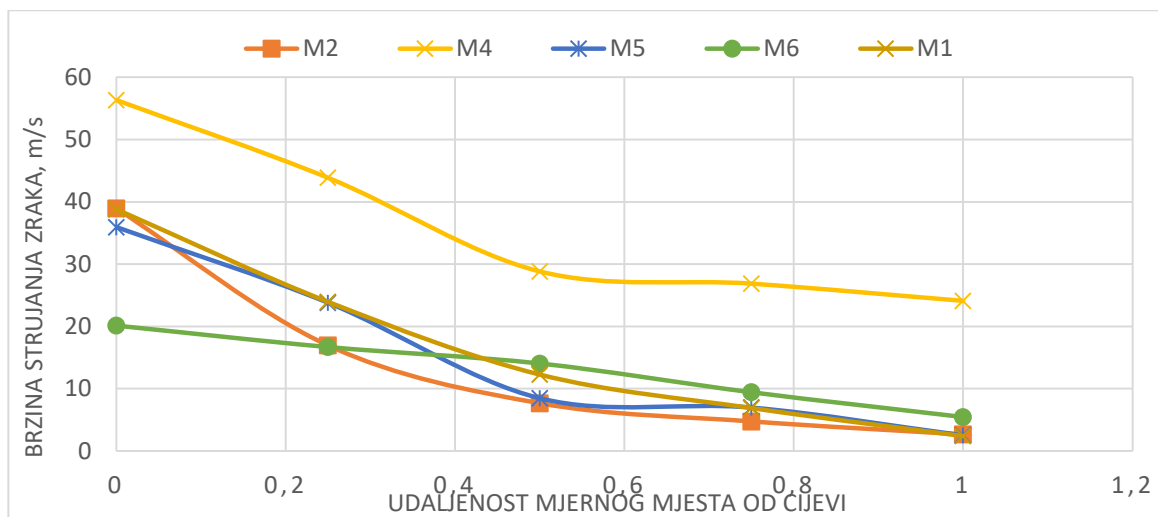


Slika 18. Grafički prikaz brzine strujanja zraka s povećanjem udaljenosti od cijevi na strojevima koji obrađuju drvo sa sadržajem vode većim od 40 %



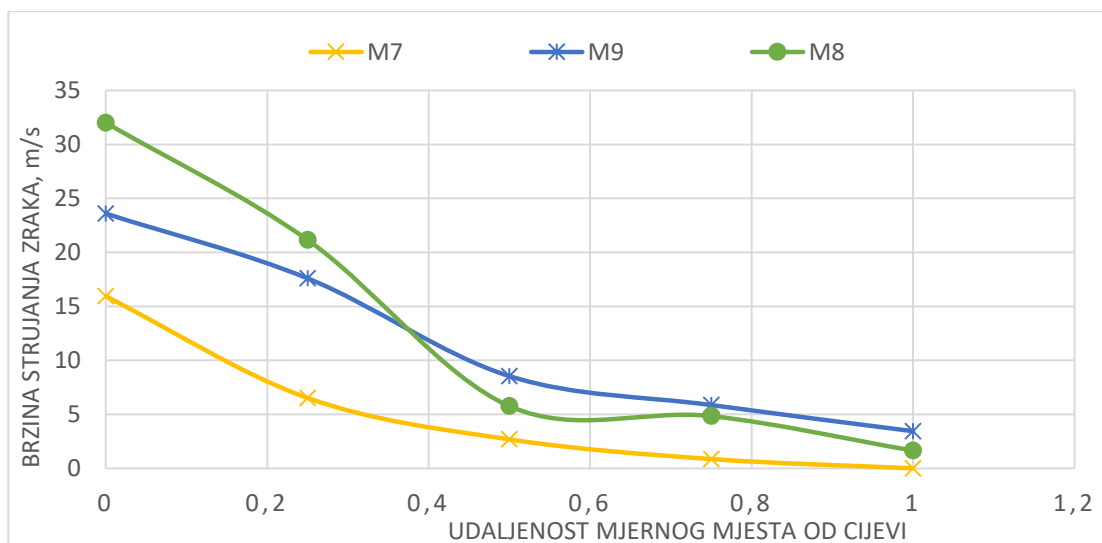
Slika 19. Grafički prikaz brzine strujanja zraka s povećanjem udaljenosti od cijevi na strojevima koji obrađuju drvo sa sadržajem vode od 6 do 10%

Radi lakšeg pregleda i analize rezultata mjerenja brzine strujanja zraka, niže su prikazani grafovi sa mjernim mjestima koja se nalaze na istoj usisnoj grani (ušća spojena na isti ventilator). Takvim prikazom može se zaključiti kako se na istoj grani brzina strujanja zraka ponaša podjednako. Iako su izmjerene vrijednosti različite za svako mjerno mjesto, njihovom usporedbom vidljivo je kako brzina opada jednakim ritmom. Na slici 20. je vidljivo kako je najveća brzina strujanja zraka izmjerena na mjernom mjestu M4 koji je najbliže ventilatoru, dok ostala mjerna mjesta imaju ujednačenu brzinu strujanja zraka.



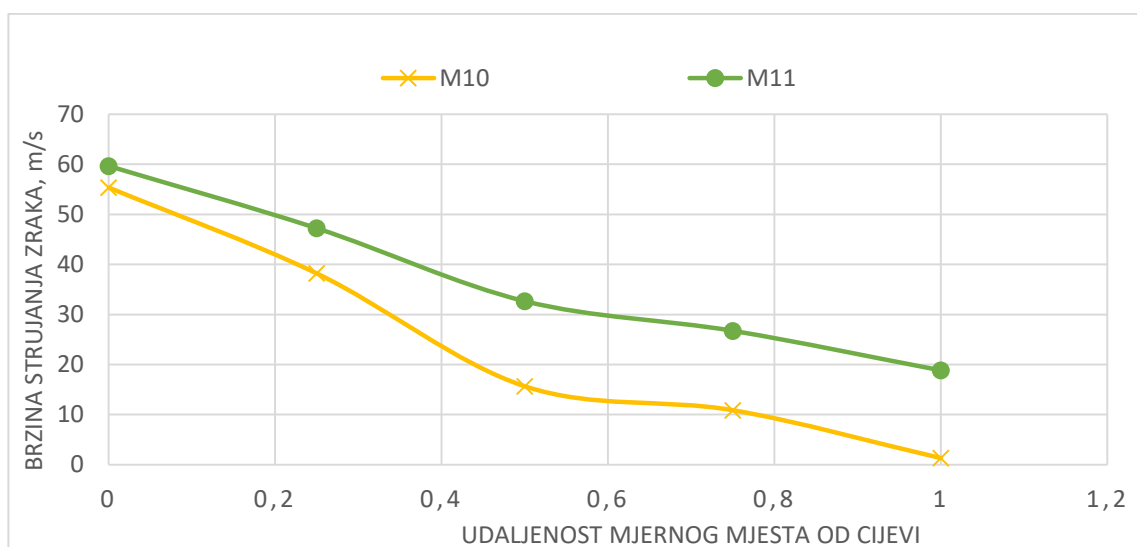
Slika 20. Grafički prikaz brzine strujanja zraka s povećanjem udaljenosti od cijevi na strojevima koji se nalaze na istoj odsisnoj grani, a koji obrađuju drvo sa sadržajem vode većim od 40 %

Na slici 21. prikazani su rezultati mjerenja na kružnim pilama koje se nalaze na istoj odsisnoj grani gdje vidimo kako mjerno mjesto M7, koje je najudaljenije od ventilatora, ima najmanje izmjerenu brzinu strujanja zraka koja na udaljenosti d od cijevi iznosi 0 m/s. Na mjernom mjestu M8, koje je najbliže ventilatoru, izmjerena je najveća brzina strujanja zraka.



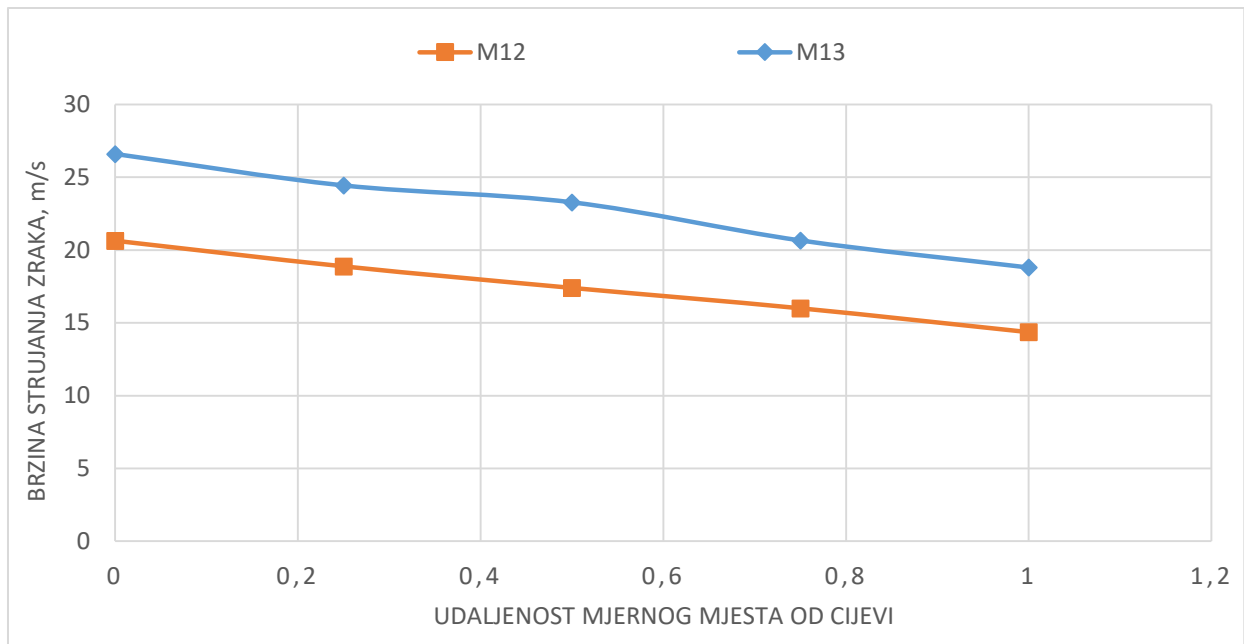
Slika 21. Grafički prikaz brzine strujanja zraka s povećanjem udaljenosti od cijevi na strojevima koji se nalaze na istoj odsisnoj grani, a koji obrađuju drvo sa sadržajem vode većim od 40 %

Na slici 22. prikazana je usporedba dvaju strojeva koji se nalaze na istoj usisnog grani gdje se vidi kako mjerno mjesto M11 ima izmjerenu veću brzinu strujanja zraka iako je nešto udaljenije od ventilatora nego M10. Treba uzeti u obzir kako se M11 nalazi kod tračne pile za piljenje trupaca, a M10 kod kružne pile za poprečno rezanje piljenica. Na tračnoj pili nastaje veća količina drvnog ostatka nego na kružnoj pili te je potrebna veća količina zraka za odsis. Iz tog je razloga usisna cijev gotovo dvostruko većeg promjera a i brzina strujanja zraka je nešto veća nego na usisnom ušću kružne pile. Međutim, važno je naglasiti da je i na jednom i na drugom mjernom mjestu izmjerena iznimno velika brzina strujanja zraka na usisnoj cijevi te da je pad brzine na M10 kod kružne pile vrlo velik, na udaljenosti jednog promjera cijevi gotovo da je brzina strujanja zraka jednaka nuli. To može značajno utjecati na učinkovitost odsisa nastalih drvnih čestica na radnom mjestu kružne pile za poprečno piljenje.

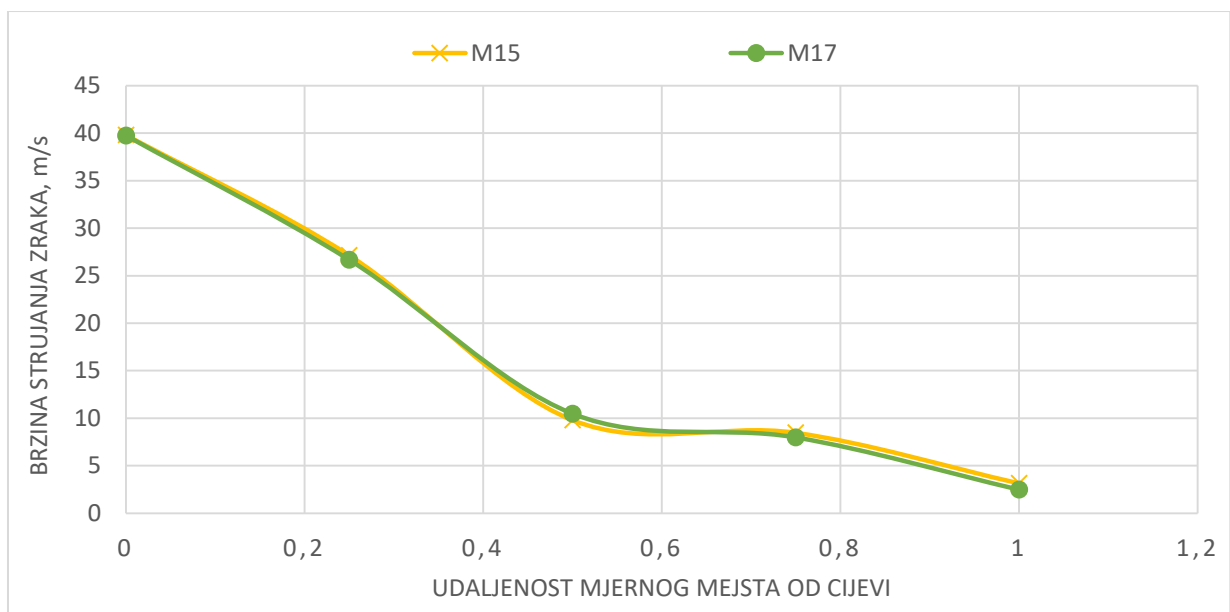


Slika 22. Grafički prikaz brzine strujanja zraka s povećanjem udaljenosti od cijevi na strojevima koji se nalaze na istoj odsisnoj grani, a koji obrađuju drvo sa sadržajem vode većim od 40 %

Na slikama 23. i 24. su prikazane brzine strujanja zraka u proizvodnom pogonu za izradu parketa gdje se obrađuje drvo sadržaja vode od 6 do 10 %. Iz prikazanoga se može zaključiti kako su na pojedinim granama brzine strujanja zraka ujednačene i pad brzine odmicanjem od usine cijevi je gotovo identičan. Iako se na sva četiri mjerna mjesta obrađuje drvo niskog sadržaja vode, brzine strujanja zraka nisu ujednačene. Naime, na mjernim mjestima M12 i M13 se ne proizvodi velika količina drvnog ostatka i volumenom su čestice male te nije potrebna velika brzina strujanja zraka.



Slika 23. Grafički prikaz brzine strujanja zraka s povećanjem udaljenosti od cijevi na strojevima koji se nalaze na istoj odsisnoj grani, a koji obrađuju drvo sa sadržajem vode od 6 do 10 %



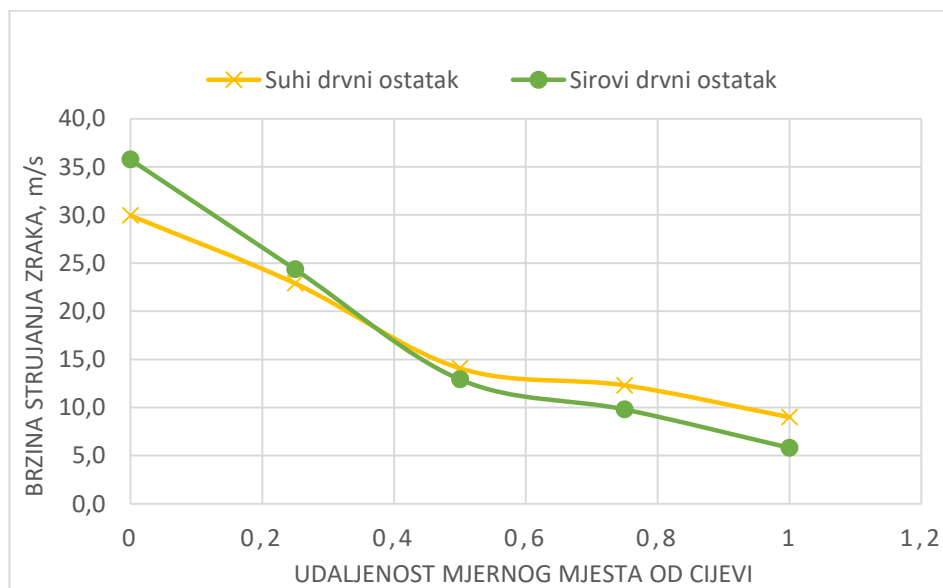
Slika 24. Grafički prikaz brzine strujanja zraka s povećanjem udaljenosti od cijevi na strojevima koji se nalaze na istoj odsisnoj grani, a koji obrađuju drvo sa sadržajem vode od 6 do 10 %

U tablici 4. i na slici 25. su prikazane prosječne izmjerene vrijednosti brzine strujanja zraka odvojeno za strojeve koji obrađuju sirovo i osušeno drvo. Srednje vrijednosti brzina strujanja zraka na ušćima strojeva koji obrađuju drvo višeg sadržaja vode nešto su veće od brzina izmjerenih na ušćima strojeva koji obrađuju drvo sadržaja vode od 6 do 10 % što je i očekivano s obzirom da su čestice drva s većim sadržajem vode teže i potrebna je veća brzina zraka za njihov transport.

Međutim, pad brzine strujanja zraka veći je kod strojeva koji obrađuju sirovo drvo u odnosu na brzinu strujanja zraka na usisnim ušćima strojeva koji obrađuju osušeno drvo.

Tablica 4. Prikaz prosječnih brzina strujanja zraka na zadanim udaljenostima od čeonog presjeka cijevi za strojeve koji obrađuju sirovo i suho drvo

Mjerno mjesto	Brzina strujanja zraka, m/s	
	Sirovi drvni ostatak (>40%)	Suhi drvni ostatak (6-10%)
$0*d$	35,8	29,9
$0,25*d$	24,3	22,9
$0,5*d$	12,9	14,1
$0,75*d$	9,8	12,3
d	5,8	9



Slika 25. Grafički prikaz brzine strujanja zraka s povećanjem udaljenosti od cijevi na usisnim ušćima strojeva koji obrađuju suho i sirovo drvo

4. RASPRAVA

4.1. Usporedba rezultata mjerenja s uputama proizvođača

Kako je ranije navedeno da postoje različite vrste drvnih čestica koje nastaju pri mehaničkoj obradi drva, tako se definiraju i razredi brzine strujanja zraka za odsis pojedinih čestica prema njihovoj veličini i sadržaju vode. Sever (1988) navodi kako je za finu prašinu potrebna brzina zraka od 10 do 15 m/s, za prosušenu piljevinu i blanjevinu od 15 do 25 m/s, a za krupnije čestice i mokru piljevinu je potrebna brzina od 25 do 30 m/s. Također, svaki proizvođač daje podatak o tome kolika je potrebna brzina strujanja zraka na ušću za svaki proizvedeni stroj. Prema dostupnim podacima u Tablici 3. možemo vidjeti usporedbu izmjerenih vrijednosti brzine strujanja zraka s vrijednostima preporučenim od strane proizvođača strojeva.

Tablica 4. Prikaz srednjih vrijednosti izmjerenih brzina strujanja zraka i brzine zraka preporučene od strane proizvođača stroja

Mjerno mjesto	Izmjerena brzina pri 0*d (m/s)	Preporučena brzina od strane proizvođača (m/s)
M1	38,8	25-30
M2	38,9	25-30
M3	16,6	25-30
M4	56,3	25-30
M5	35,9	25-30
M6	20,1	25-30
M7	15,9	25-30
M8	32	25-30
M9	23,6	25-30
M10	55,4	25-30
M11	59,7	25-30
M12	20,6	20-25
M13	26,6	20-25
M14	18,9	20-25
M15	39,8	25-30
M16	33,9	25-30
M17	39,8	25-30

Prema podacima prikazanim u tablici 4. možemo zaključiti kako su izmjerene brzine strujanja zraka na većini ušća veće od preporučenih brzina. Nekoliko je uzroka zbog kojih je sustav tako konstruiran. Moguće je namjerno predimenzioniranje sustava kako bi se osigurao nesmetan rad strojeva i smanjilo onečišćenje okolnoga zraka na najmanju mjeru, bez obzira na utjecaj

povećane brzine strujanja zraka na energetske zahtjeve sustava. Nadalje, postoji mogućnost pogrešne pretpostavke o količinama drvnih čestica koje je potrebno transportirati u jedinici vremena pa su projektirane veće količine zraka nego su stvarno potrebne. Nadalje, moguće je da postoje nedostaci projektiranja u nekim dijelovima odsisnog sustava te se zbog toga mora povećati brzina struje zraka u cijelome sustavu kako bi sustav odsisavao drvene čestice na zadovoljavajući način od svih strojeva. Koji god da je razlog za veću brzinu strujanja zraka od potrebne za kvalitetno odsisavanje drvnih čestica, za posljedicu ima povećanu potrošnju električne energije sustava. Nužno je zapitati se jesu li velike brzine strujanja zraka zaista potrebne. Naime, vodeći se zakonom afiniteta koji kaže kako je promjena potrebne snage ventilatora jednaka promjeni brzine strujanja zraka na treću potenciju dolazimo do zaključka kako malim povećanjem brzine strujanja zraka uvelike povećavamo potrebnu snagu ventilatora, a samim time i troškove električne energije za rad ventilatora. Uzimajući u obzir i činjenicu da sustavi rade neprekidno tijekom cijele radne smjene, bez obzira rade li strojevi ili ne, problem velike brzine odsisa postaje još značajniji.

Nadalje, na mjernim mjestima M6, M7, M9 i M14 je izmjerena brzina manja od preporučene od strane proizvođača strojeva. Na mjernom mjestu M14 je brzina manja od preporučene jer su samo dva stroja na toj usisnoj grani, a ne koriste se svakoga dana. Na mjernim mjestima M6, M7 i M9 je brzina manja od preporučene najvjerojatnije zbog nedostataka pri konstruiranju sustava. Najčešće je uzrok premale brzine zraka veliki otpor strujanju zraka od stroja, najvjerojatnije zbog velike udaljenosti od ventilatora i malog promjera cjevovoda. Teško je reći što je točno uzrok, ali zbog male brzine strujanja zraka može doći do ozbiljnih poteškoća pri radu stroja. Najuočljiviji nedostatak male brzine odsisavanja je zprašenost radnog mjesta i radnog prostora jer zračna struja nije u mogućnosti odsisati sve drvene čestice nastale obradom. Takav prostor postaje nepogodan za rad stroja, ali pridonosi i povećanju izloženosti radnika drvnoj prašini i udisanju lebdećih drvnih čestica. Nadalje, drvni ostatak se taloži u cjevovodu i čest je slučaj nastanka začepjenja cjevovoda te dolazi do zastoja u radu. Ukoliko se nakupi kritična količina drvene mase u cjevovodu može doći i do pada cjevovoda što je izrazito opasno.

5. ZAKLJUČAK

U drvnoj industriji postoje različite vrste transporta materijala i drvnih ostataka, no zračni konvejeri su sustavi koji su najefikasniji za transport drvnih ostataka. Prilikom konstruiranja sustava za odsis drvnih čestica potrebno je poznavati sve njegove sastavnice i kako one utječu na zračnu struju. Budući da drvni ostaci, nastali prilikom obrade drva, otežavaju rad stroju i radniku, sustav za odsis mora biti kvalitetno konstruiran i izveden. Promatrani sustav ima nekoliko nedostataka zbog kojih su izmjerene brzine strujanja zraka drastično veće od propisanih od strane proizvođača. Posljedica toga je značajno veća potrošnja energije za odsis i transport drvnih čestica od strojeva u odnosu na moguću potrošnju u slučaju rada sustava s brzinom zraka preporučenom od strane proizvođača strojeva i prema literaturnim izvorima.

6. LITERATURA

1. Beljo Lučić R., Čavlović A. O., Antonović A., Vujasinović E., Šimičić I., 2005: Svojstva usitnjenog materijala nastalog pri mehaničkoj obradi drva. *Drvna industrija* 56: 11-19.
2. Elfasakhanya A., Taob L. X., Bai X. S., 2014.: Transport of pulverized wood articles in turbulent flow: numerical and experimental studies. *Energy Procedia* 61: 1540-1543.
3. Goglia. V., 1994: *Strojevi i alati u obradi drva*, I dio. Šumarski fakultet, Zagreb.
4. Goglia V., Kos-Pervan A., 1996: Optimizacija rada zračnog konvejera. *Drvna industrija*, 47: 114-119.
5. Jambreković V., 2004: *Drvne ploče i emisija formaldehida*, Šumarski fakultet, Zagreb.
6. Kruljac A., 2020: *Određivanje gubitaka tlaka u fleksibilnim cijevima sustava za odsis drvnih čestica*, Završni rad, Sveučilište u Zagrebu Fakultet šumarstva i drvne tehnologije, <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:108:750860> (Pristupljeno: 11. 7. 2024.)
7. Kos A., Beljo Lučić R., Horvat D., Šega K., Bešlić I., 2002: Čimbenici koji utječu na zaprašenosť u drvnoprerađivačkim pogonima. *Drvna industrija*, 53: 131-140.
8. Palubicki B., Hlaskova L., Rogozinski T., 2020: Influence of Exhaust System Setup on working Zone Pollution by Dust during Sawing of Particleboards. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 17, 3626. (<https://www.mdpi.com/1660-4601/17/10/3626>)
9. Sever, S., 1988: *Transport u drvnoj industriji*, interna skripta, Fakultet šumarstva i drvne tehnologije, Zagreb, str. 220-240.