

Izrada ventilacijskog sustava obradom deformiranja metala

Močibob, Matija

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Pula / Sveučilište Jurja Dobrile u Puli**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:137:568487>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-12**



Repository / Repozitorij:

[Digital Repository Juraj Dobrila University of Pula](#)



Sveučilište Jurja Dobrile u Puli

Tehnički fakultet u Puli

MATIJA MOČIBOB

**IZRADA VENTILACIJSKOG SUSTAVA OBRADOM
DEFORMIRANJA METALA**

Završni rad

Pula, 2024.

Sveučilište Jurja Dobrile u Puli
Tehnički fakultet u Puli

MATIJA MOČIBOB

**IZRADA VENTILACIJSKOG SUSTAVA OBRADOM
DEFORMIRANJA METALA**

Završni rad

JMBAG:

Studijski smjer: Proizvodno strojarstvo

Predmet: Tehnologija III

Znanstveno područje: Tehničke znanosti

Znanstveno polje: Strojarstvo

Znanstvena grana: Opće strojarstvo

Mentor: Izv. prof. dr. sc. Marko Kršulja

Pula, srpanj, 2024.

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Ja, dolje potpisani Matija Močibob, kandidat za _____ ovime izjavljujem da je ovaj Završni rad rezultat isključivo mogega vlastitog rada, da se temelji na mojim istraživanjima te da se oslanja na objavljenu literaturu kao što to pokazuju korištene bilješke i bibliografija. Izjavljujem da niti jedan dio Završnog rada nije napisan na nedozvoljen način, odnosno da je prepisan iz kojega necitiranog rada te da ikoji dio rada krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem, također, da nijedan dio rada nije iskorišten za koji drugi rad pri bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili radnoj ustanovi.

Student

U Puli, _____

IZJAVA
o korištenju autorskog djela

Ja, Matija Močibob, dajem odobrenje Sveučilištu Jurja Dobrile u Puli, kao nositelju prava iskorištavanja, da moj Završni rad pod nazivom „Izrada ventilacijskog sustava obradom deformiranja metala“ koristi na način da gore navedeno autorsko djelo, kao cjeloviti tekst, trajno objavi u javnoj internetskoj bazi Sveučilišne knjižnice Sveučilišta Jurja Dobrile u Puli te kopira u javnu internetsku bazu završnih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice (stavljanje na raspolaganje javnosti), sve u skladu s Zakonom o autorskom pravu i drugim srodnim pravima i dobrom akademskom praksom, a radi promicanja otvorenoga, slobodnoga pristupa znanstvenim informacijama. Za korištenje autorskog djela na gore navedeni način ne potražujem naknadu.

U Puli, _____

Potpis

SADRŽAJ

1. UVOD	1
1.1. Hipoteza	1
1.2. Predmet istraživanja	1
1.3. Problem istraživanja	1
1.4. Ciljevi istraživanja	1
1.5. Metodologija rada	2
1.6. Struktura rada	2
2. IZRADA VENTILACIJSKOG SUSTAVA OBRADOM DEFORMIRANJA METALA	3
2.1. Ventilacijski sustav – definiranje	3
2.2. Metali u proizvodnji	4
2.3. Deformacijski procesi metala	6
3. ANALIZA IZRADE VENTILACIJSKOG SUSTAVA OBRADOM DEFORMIRANJA METALA (LIMA)	11
3.1. Industrije koje koriste oblikovanje lima	12
3.2. Ispitivanje materijala i mehaničkih svojstava	16
3.3. Ispitivanje tehnologije spajanja i propusnosti	18
3.4. Prikaz idejnog rješenja ventilacijskog sustava s glavnim čimbenicima na funkcioniranje i kvalitetu	19
3.5. Proračun debljine izvedbe ravnog pocinčanog ventilacijskog kanala	21
3.6. Minimalni troškovi proizvodnje lima	22
4. PLAN REZANJA	24
4. REDOSLJED IZRADE DIJELOVA NA STROJEVIMA	33
ZAKLJUČAK	37
POPIS LITERATURE	38
POPIS SLIKA	41
POPIS TABLICA	42
SAŽETAK	43
SUMMARY	43

1. UVOD

1.1. Hipoteza

U ovome radu objasniti će se prikaz izrade ventilacijskog sustava i njegova usporedba s konkurentnim sustavima koji postoje na tržištu. Cilj je rada usporediti trenutne metode koje se koriste u tvrtki sa stanjem na tržištu. Prikazanim će se potvrditi hipoteza kako se usporedbom trenutnih metoda koje se koriste u tvrtki sa stanjem na tržištu može utvrditi mogućnost unaprijeđenja tehnološkog postupka izrade ventilacijskog sustava.

1.2. Predmet istraživanja

Ispravna izrada ventilacijskih sustava neophodna je za očuvanje zdravlja, udobnost, energetska efikasnost i sigurnost u različitim okruženjima. Ona zahtijeva pažljivo planiranje, implementaciju i održavanje kako bi se postigle sve navedene prednosti. Predmet istraživanja ventilacijski je sustav koji se proizvodi u odabranoj tvrtki. Osim navedenog, predmet istraživanja je opis proizvoda (pocinčani limovi) i način na koji se isti proizvodi za potrebe ventilacijskog sustava, a pri čemu su važni odabir materijala, plan rezanja te iskoristivost lima, škart lima, postotak škarta i postotak iskoristivosti lima.

1.3. Problem istraživanja

Ispravna izrada ventilacijskih sustava ima ključnu ulogu u očuvanju zdravlja, sigurnosti i udobnosti u različitim okruženjima, od stambenih zgrada do industrijskih postrojenja. Pravilno dizajniran i instaliran ventilacijski sustav omogućuje efikasnu izmjenu zraka uklanjajući zagađivače i omogućavajući svjež zrak. Problem istraživanja uključuje ova pitanja: kad je proizvod dobro napravljen, a kad loše, kakva je iskoristivost limova, koliko je strojeva potrebno za izradu te koje se točnosti izrade tolerancije na nacrtima zahtijevaju.

U ovome radu prikazat će se izrada ventilacijskog odvoda, tj. pristup upravljanju zrakom koji koristi niz metalnih ili plastičnih cijevi za prijenos zagrijanog ili ohlađenog zraka s jednog mjesta na drugo. Spajanje cijevi trebalo bi biti nepropusno.

1.4. Ciljevi istraživanja

Ciljevi istraživanja su: prikaz ventilacijskog sustava, prikaz kemijskih i mehaničkih svojstva materijala, prikaz strojeva za izradu ventilacijskog sustava, prikaz proračuna za cijeli ili djelomični sklop ventilacijskog sustava, prikaz konstrukcijskog nacrtu odabranog ventilacijskog sustava s glavnim dimenzijama, prikaz tehnološkog procesa izrade ventilacijskog sustava, prikaz prednosti i nedostataka sustava te ponuda prijedloga za poboljšanje s obzirom na prostor u koji se instalira.

1.5. Metodologija rada

Metodologiju rada čini metoda promatranja – izradit će se projektno rješenje ventilacije te će se dokumentirati tehnološki proces potreban za izradu istoga. Osim navedene metode, koristi se eksperimentalna metoda – izradit će se proizvod sukladno projektom nacrtu.

1.6. Struktura rada

Rad se, nakon uvoda, sastoji od dva glavna poglavlja. U drugom poglavlju se analizira izrada ventilacijskog sustava obradom deformiranja metala. Za te potrebe najprije se definira ventilacijski sustav, metali u proizvodnji te deformacijski procesi metala.

U trećem dijelu rada vrši se analiza izrade ventilacijskog sustava obradom deformiranja metala (lim, pocinčani čelik). Pojašnjava se koje industrije koriste oblikovanje lima, ispitivanje materijala i mehaničkih svojstava, ispitivanje tehnologije spajanja i propusnosti. Prikazuje se idejno rješenje ventilacijskog sustava s glavnim čimbenicima na funkcioniranje i kvalitetu, vrši se proračun debljine izvedbe ravnog pocinčanog ventilacijskog kanala te se objašnjavaju minimalni troškovi proizvodnje lima.

U zaključnu su ponuđena mišljenja na zadanu tematiku, s posebnim osvrtom na postavljenu hipotezu i ostvarene ciljeve, kao i kritički osvrt na proizvodni proces limova od pocinčanog čelika za potrebe izrade ventilacijskog sustava.

2. IZRADA VENTILACIJSKOG SUSTAVA OBRADOM DEFORMIRANJA METALA

U ovom poglavlju će se govoriti o izradi ventilacijskog sustava obradom deformiranja metala – definirat će se ventilacijski sustav, zatim metali u proizvodnji te deformacijski procesi metala (limovi i korišteni strojevi).

2.1. Ventilacijski sustav – definiranje

Ventilacijski sustav je onaj sustav koji „omogućava kontroliranu izmjenu zraka u prostoru, osigurava mnogo udobnosti, dobru prostornu klimu i dodatnu uštedu energije. Bez takvog sustava nezamisliva je pasivna kuća, a poželjno ga je ugraditi i u druge vrste energetske učinkovitih kuća.“¹ Ventilacijski je sustav važan jer omogućuje zamjenu onečišćenog zraka u zatvorenim prostorijama i zbog održavanja higijenskih uvjeta koji su potrebni za zdrav život (zagrijava zrak, hladi zrak, uklanja višak vlage). Komponente ventilacijskog sustava kuće/zgrade su:²

- izmjenjivač topline i tlačnog ventilatora (ventilator koji upuhuje svježi zrak) te odsisnog ventilatora (ventilator koji odvodi otpadni zrak) ventilatora, filter na tlačnoj strani,
- razvodni kanali,
- filteri za svježi zrak,
- istrujne (svježi zrak) i odsisne (otpadni zrak) rešetke.
- zemljani izmjenjivač topline – hladi ljeti, grije zimi,
- dogrijač – moguća je njegova ugradnja kako bi se dogrijavao zrak nakon rekuperacije (ventilacijski uređaj ili rekuperator pretvara otpadni zrak u svježi zrak u stambenim prostorima).

Zbog navedenog, možemo zaključiti kako je glavna svrha ugradnje ventilacije održavanje kvalitete unutarnjeg zraka i toplinske udobnosti, a kako bi se postigli navedeni ciljevi, potrebno je kontrolirati protok zraka. Minimalna brzina protoka zraka određena je zahtjevima za kvalitetu unutarnjeg zraka tako da je maksimalna koncentracija za svaku onečišćujuću tvar niža od maksimalno dopuštene. Promjenom protoka zraka može se kontrolirati i udobnost. Na toplinsku udobnost utječu parametri zraka (npr. temperatura, vlažnost, brzina i turbulencija) i površinske temperature (zidova, prozora itd.), ali i vrsta ljudske aktivnosti i odjeća. Postoje prirodna (bez

¹ Gradnja kuće, *Ventilacija i ventilacijski sustav u kući*, 2023., dostupno na: <https://gradnjakuce.com/ventilacija-ventilacijski-sustav-u-kuci/> (29.08.2023.)

² Ibidem

korištenja ventilatora, otvaraju se vrata i prozori) i mehanička ventilacija (zrak se izmjenjuje putem mehaničkog pogona ventilatora). U zgradama s prirodnom ventilacijom stanari se prilagođavaju unutarnjoj klimi, prihvaćajući širi raspon unutarnjih temperatura kao ugodan.³ Ventilacijski sustav eliminira zagađivače u zraku, loše mirise, vlagu (rizik od stvaranja plijesni, ugljični dioksid, pršinu, otrovne plinove, pretjeranu toplinu, pretjeranu hladnoću te dr.).⁴ U proizvodnji ventilacijskih sustava koriste se metali. U ovom radu fokus je na korištenju limova kao jedne od vrsta metala.

2.2. Metali u proizvodnji

Ventilacija se izrađuje od metalnih proizvoda koji se definiraju kao „neprozirni, sjajni elementi koji su dobri vodiči topline i električne energije. Većina metala pokazuje svojstva kovnosti i duktilnosti i općenito imaju veću gustoću od ostalih elementarnih tvari. Osim navedenih, karakteristike metala su sljedeće:

- uglavnom su u čvrstome stanju (na sobnim temperaturama), kristalne građe, čvrsti i vrlo različitih gustoća, od 0,53 g cm⁻³ za litij do 22,6 g cm⁻³ za osmij,
- metali su kovni (relativno ih je lako preraditi u nove oblike) i duktilni (moguće ih je izvlačiti u duge, tanke žice). Trajni su i nisu lomljivi, iako se mogu prekinuti ili slomiti zbog naprezanja (umor metala – pojava postupnoga oštećenja materijala zbog dugotrajnih periodičnih promjenjivih opterećenja).⁵

Vrste metala su brojne, a dijele se na ferometale (crne metale) i obojene metale. Podjela metala na navedene vrste i njima pripadajuće skupine metala prikazana je u Tablici 1., s prikazom objašnjenja fizikalnih i mehaničkih svojstava svakog metala zasebno.

Tablica 1 Vrste metala: ferometali i obojeni metali

FEROMETAL:	FIZIKALNA SVOJSTVA	MEHANIČKA SVOJSTVA
niskougljični (mekani) čelik w(C) = 0,05 % – 0,29 %	Siva i glatka legura, sklonost koroziji ukoliko nema zaštitu	duktilni i žilavi, laki za oblikovanje, lemljenje i zavarivanje, svestrani, koristi se za konstrukcije, matice, vijke, okvire za bicikle

³ Roulet, C.-A., *The Role of Ventilation*, Original manuscript of chapter 2 (Role of ventilation), u Ghiaus, C., Alard, F., *Natural ventilation in the Urban Environment edited at Earthscan*, 2012., dostupno na: https://www.researchgate.net/publication/37423823_The_Role_of_Ventilation (29.08.2023.)

⁴ Awbi, H., *Ventilation Systems: Design and performance*, Taylor & Francis, London, New York, 2007., str. 362., dostupno na: <https://archive.org/details/VentilationSystemsDesignAndPerformance2007/page/n3/mode/2up?view=th eater> (7.08.2023.)

⁵ API IZZI Digital, *Vrste materijala i njihova svojstva*, Profil Klett, 2020., dostupno na: <https://api.izzi.digital/preview/page/58074> (1.09.2023.)

lijevano željezo w(C) = više od 2 %	Sive boje, lako korodira	krhki ako su tanki, mogu se lijevati u kalupe, koriste se za poklopce šaftova, tave i ograde
visokougljični čelik (alatni čelik) w(C) = 0,6 % – 1,7 %	Siva legura, glatka i otporna na koroziju	otporan na habanje, tvrdi od čelika s niskim udjelom ugljika i manje duktilan, dobar za izradu alata i dobro se oštiri
OBOJENI METALI:	FIZIKALNA SVOJSTVA	MEHANIČKA SVOJSTVA
Aluminij	Svijetlosive boje, matirana površina	lagan, ali jak i duktilan, koristi se za limenke za piće, kuhinjsko posuđe i konstrukcije
Bakar	Crvenkastosmeđe boje, lako se polira, ali može oksidirati do zelene boje (patina ili verdigris)	dobar vodič elektriciteta, može se polirati, lako se vari, koristi se za vodovodne instalacije i električne kablove
Kositar	Srbrne boje	mek i kovan metal, lako se oblikuje, koristi se za konzerve za hranu
Cink	Srebrnoplave boje, matirana površina	krhki metal prosječne kovnosti i vodljivosti, često se koristi za pocinčavanje čelika

Izvor: Izrada autora prema: API IZZI Digital, *Vrste materijala i njihova svojstva*, Profil Klett, 2020., dostupno na: <https://api.izzi.digital/preview/page/58074> (1.09.2023.)

Mješavine navedenih vrsta metala, obojenih i ferometala, daju legure ili slitine: invar, magnox, nitinol, tvrdi kositar, lem i čelik. U ovom je radu u fokusu mješavina pod nazivom čelik, odnosno pocinčani čelik.

Općenito, čelik ima sljedeća obilježja:

- „sastav: željezo (80 – 98 %), ugljik (0,2 – 2 %), plus ostali metali poput kroma, mangana i vanadija;
- najčešća uporaba: metalne konstrukcije, dijelovi za automobile i zrakoplove te dr.“⁶

Pocinčani čelik otporan je na koroziju, a karakterističan je po sloju cinka koji se nalazi na površini metala. „Pocinčani čelik oblik je čelika načinjen potapanjem čelika u rastopljeni cink. To se naziva galvanizacijom. U postupku galvanizacije na površinu čelika ili željeza nanosi se sloj cinka kako bi se zaštitio od hrđe. Ovdje je najčešći i najjednostavniji način potopiti čelični proizvod u kupelj rastopljenog cinka. To se naziva vruće pocinčavanje.“⁷ Oksidacija cinka

⁶ Ibidem

⁷ hr.weblogographic.com, *Razlika između pocinčanog čelika i nehrđajućeg čelika*, 2023., dostupno na: <https://hr.weblogographic.com/difference-between-galvanised-steel> (1.09.2023.)

spriječava nastanak hrđe. Od pocinčanog se čelika izrađuju pocinčani limovi (metalne ploče). O limovima će se više govoriti u trećem poglavlju.

Dakle, pocinčani se čelik koristi u proizvodnji, a u ovom slučaju fokus je na njegovoj uporabi u ventilacijskim sustavima. U proizvodnji se, za potrebe izgradnje ventilacijskih sustava, izrađuju ventilacijske kutije (od nehrđajućih materijala) i ventilacijski kanali (cjevaste konstrukcije koje su potrebne za nesmetan protok zraka: usisavanje čistog i eliminiranje onečišćenog zraka). Takvi se proizvodi izrađuju posebnim tehničkim uređajima, tj. strojevima o kojima će se govoriti u sljedećem poglavlju (2.3.) koje se bavi deformacijskim procesima metala.

Općenito, „tehnološka linija za proizvodnju ventilacijskih kanala bilo kojeg dijela trebala bi uključivati:

- napravu za proizvodnju: automatski stroj za otkidanje metalnog lima (metalne ploče),
- uređaj za ravnanje ploče (tehnologija omogućuje dijagonalu i praznog lima i kanala za 0,8 milimetara – ako ventilacijska cijev ima snažnu geometrijsku povredu, bit će puno buke od strujanja zraka, stoga se zahtijeva uključivanje korištenja moderne opreme),
- industrijski numerički sustav upravljanja,
- giljotinu koja skida završni kanal.“⁸

Izrada ventilacijskih kanala uključuje i automatsko savijanje lima (deformacije). Više o deformacijskim procesima metala slijedi u nastavku.

2.3. Deformacijski procesi metala

Procesi deformacije definiraju se kao procesi pretvaranja čvrstih materijala iz jednog oblika u drugi, kovanjem, valjanjem, ekstruzijom (silom istiskivanja), rastezanjem, konturiranjem te izvlačenjem.⁹ Slika 1. prikazuje proces deformacije metala ekstruzijom. Početni oblik čvrstog materijala (neobrađenog lima) jednostavan je (obično u obliku ploče, trupca, šipki) i deformira se između alata kako bi se dobio željeni oblik s potrebnim svojstvima. Procesi deformiranja uglavnom se odvijaju uz druge aktivnosti, poput lijevanja, strojne obrade, brušenja, toplinske obrade i slično, a rezultat je transformiranje sirovog materijala u gotovi proizvod potreban za

⁸ ESBusinessclub.com, *Vlastiti bisnis: Proizvodnja ventilacijskih kanala. Tehnologija i oprema za proizvodnju i ugradnju ventilacije*, 2023., dostupno na:

<https://hrv.eastdevonbusinessclub.com/tehnologija-proizvodstva-ventiljacii.php> (30.08.2023.)

⁹ National Research Council, *Unit Manufacturing Processes: Issues and Opportunities in Research*, Washington, DC: The National Academies Press, 1995., Chapter 10., str. 79., dostupno na: <https://nap.nationalacademies.org/read/4827/chapter/10> (7.08.2023.)

montažu. Procesi deformiranja su, uz strojnu obradu, veoma važni u modernoj masovnoj proizvodnji jer nisu ovisni o dugotrajnim procesima metalurške brzine i ne uključuju struganje metala. U oblikovanju metalnog lima, neobrađeni lim plastično se deformira u složenu trodimenzionalnu konfiguraciju, bez značajnih promjena u debljini lima i karakteristikama površine.

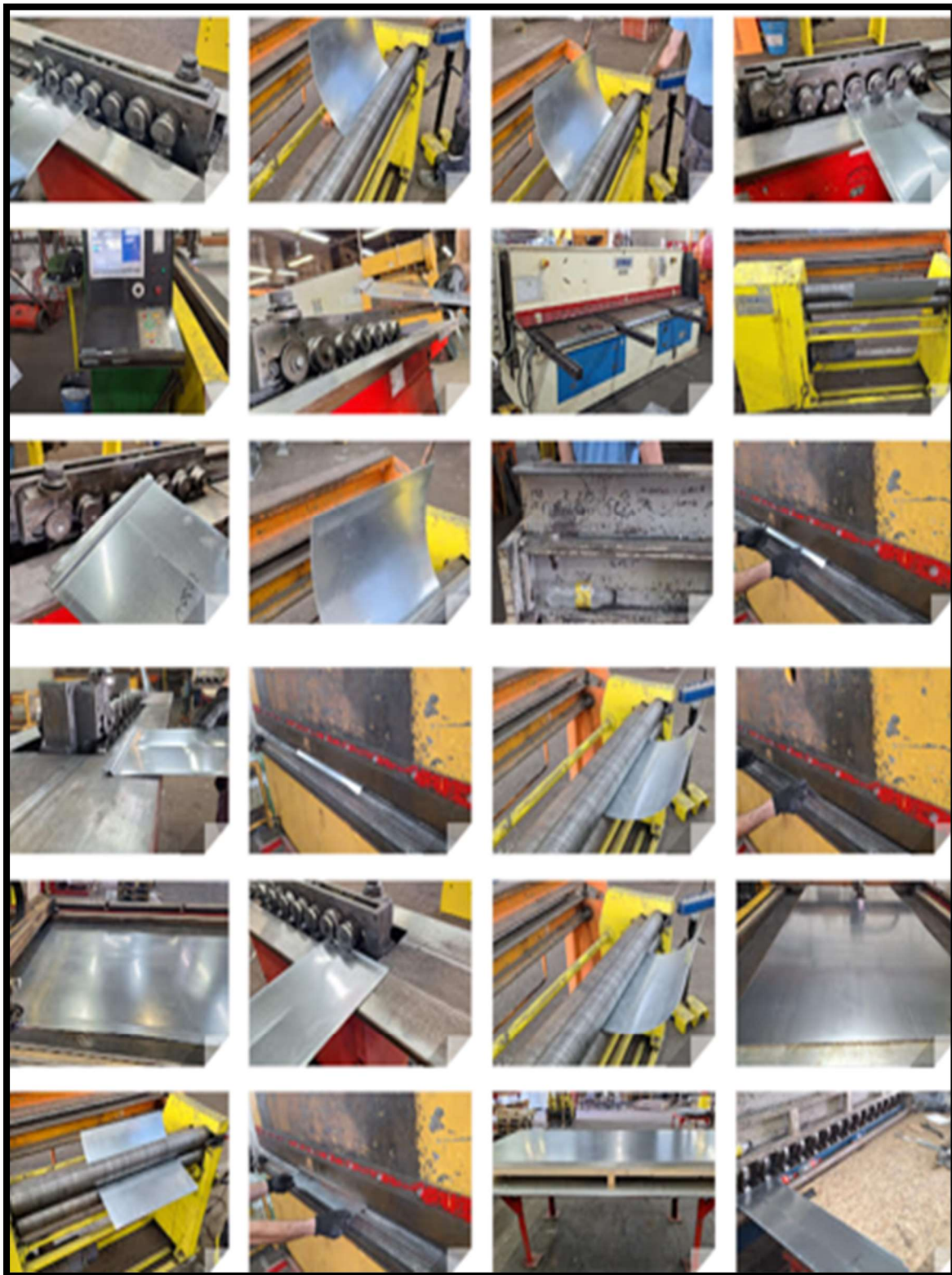
Slika 1 Komponente procesa deformiranja metala, valjanje, savijanje, izvlačenje, kovanje, duboko vučenje



Izvor: <https://eziil.com/metal-forming-process/> (7.08.2023.)

Deformacija metala vrši se putem stroja, kako je prikazano na Slici 2. Slijedom prikazane slike, proces oblikovanja lima započinje promjenom oblika i deformiranjem mase. Dio obratka, koji prolazi kroz trajnu plastičnu deformaciju, općenito je puno veći od dijela koji prolazi kroz elastičnu deformaciju (Slika 3. prikazuje razliku između plastične i elastične deformacije).

Slika 2 Proces izrade ventilacijskog sustava

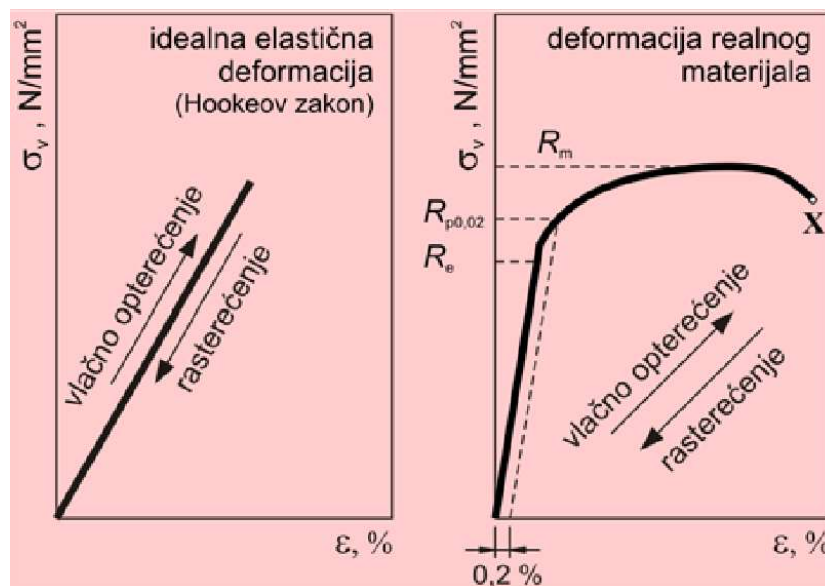


Izvor: Autor – osobna izrada fotografija u radionici, Elberg Nova d.o.o., 2023.

Elastični oporavak ili opružni povrat nakon deformacije je zanemariv. „Elastična deformacija je uvijek reverzibilna. Izračunava se pomoću Hookeova zakona. Hookeov zakon

kaže da je za elastični raspon materijala primijenjeno naprezanje jednako umnožavanju Youngova modula i naprezanja materijala. Elastična deformacija krute tvari je reverzibilan postupak, kada se ukloni primijenjeno naprezanje, krutina se vraća u prvobitno stanje. Plastična deformacija nastaje uglavnom zbog klizanja dva sloja krutine, te je poznata i kao nepovratna deformacija. Nakon naprezanja i deformacije dolazi do procesa krajnje čvrstoće. Nakon najveće čvrstoće materijal se počinje "vratati" stvarajući neravnomjernost gustoće po duljini, što materijal čini lako lomljivim.“ Karakteristike procesa oblikovanja lima uključuju činjenicu da deformacija uzrokuje značajne promjene u obliku, ali ne i u presjeku lima. Formirani dijelovi gotove su ravne površine koje ne zahtijevaju dodatnu strojnu obradu ili podrezivanje, a proces deformacije ne zahtijeva visoku razinu toplinske energije za postizanje rastaljenog stanja. Dakle, procesi deformiranja lima odvijaju se na nižim temperaturama.

Slika 3 Plastična i elastična deformacija metala



Izvor: Predavanja Kolumbić, *Razlika između elastične i plastične deformacije*, dostupno na: https://arhiva-2021.loomen.carnet.hr/pluginfile.php/4594771/mod_resource/content/1/04%20Svojtva%2C%20karakteristike%20i%20izbor%20materijala.pdf (6.10.2023.)

S porastom vlačne sile raste vlačno naprezanje (računa se s konstantnom, početnom površinom poprečnog presjeka epruvete) do:

- Re – granice razvlačenja pri vlačnom opterećenju,
 - Rp,0,2 – konvencionalne granice razvlačenja – zaostaje $\epsilon = 0,2 \%$ nakon prekida vlačnog opterećenja,
 - Rm – čvrstoće materijala pri vlačnom opterećenju.
- U točki X dolazi do prekida epruvete.

Deformirani proizvod ima obilježja njegove geometrije (dimenzije, tolerancija, završna obrada površine) i njegova mehanička svojstva.¹⁰ Geometrijske značajke koje zadovoljavaju različite funkcionalne zahtjeve, kao što su krutost i čvrstoća, mogu biti ocijenjeni s obzirom na njihovu sposobnost oblikovanja. Trenutačni glavni trendovi u proizvodnji proizvoda obrade deformacijom uključuju primjenu složene geometrije (oblikovani zupčanci, osovine i komponente univerzalnog zgloba koji zamjenjuju dijelove proizvedene drugim procesima, poput lijevanja i strojne obrade, zbog nižeg troška te uključuju analize mikrostrukture i svojstva optimiziranih zbog smanjenja potrebe za toplinskom obradom ili korištenjem visokolegiranih materijala (navedeno zahtijeva razumijevanje kinematike procesa, formiranja defekata, predviđanje mikrostrukture i svojstava oblikovanih dijelova, a rezultat sposobnosti razumijevanja navedenih stavki je optimizacija uvjeta procesa i dizajna alata koji se koriste za dobivanje proizvoda visoke kvalitete, uz minimalne troškove i minimalnu količinu pokušaja, pogrešaka i kvarova).

Metali se mogu plastično deformirati (obrađivati) na sobnim i višim temperaturama. Njihovo ponašanje i obradivost ponajviše ovise o tome odvija li se deformacija ispod ili iznad temperature rekristalizacije metala. Proces oblikovanja metala tradicionalno se klasificiraju kao:¹¹

- postupci vrućeg oblikovanja ili vruće obrade - izvodi na temperaturi višoj od temperature rekristalizacije (kad atomi metala dostignu određenu višu energetska razinu počinju se stvarati nova nenapregnuta zrna jednakih dimenzija u svim smjerovima);
 - temperatura na kojoj je obrada završena je kritična jer svaka dodatna toplina koja ostane u materijalu nakon obrade pospješuje rast zrna, što dovodi do loših mehaničkih svojstava materijala (npr. čelične strukture imaju poroznost kao lijevani proizvod),
 - većina vruće obrađenih proizvoda postaje sirovina za sekundarne procese koji se koriste za proizvodnju gotovih predmeta hladnim oblikovanjem, rezanjem, izvlačenjem, savijanjem, strojnom obradom ili zavarivanjem;
 - raspon temperature za rad na vrućem za čelik je 930 do 1370 °C;
 - lijevani čelični proizvodi (npr. ingoti, odljevci) pretvaraju se u kovane proizvode različitim procesima deformacije - uvijek se prvo vruće obrađuju radi

¹⁰ National Research Council, *Unit Manufacturing Processes: Issues and Opportunities in Research*, op.cit., str. 86.

¹¹ Dayalbagh Educational Institute, *Metal Forming Processes*, Lesson 1., 2023., dostupno na: <http://msvs-dei.vlabs.ac.in/mem103/Unit2lesson1.html> (7.10.2023.)

pročišćavanja strukture zrna lijevanog proizvoda i uklanjanja poroznosti u lijevanim ingotima, dok drugi kovani proizvodi mogu biti u obliku dugih oblika kao što su limovi, ploče, šipke, valjani profili poput I-grede, kanali, kutovi, cijevi, žice i drugi ekstrudirani dijelovi.

- hladno oblikovanje ili hladni postupci – podrazumijevaju plastičnu deformaciju metala ispod temperature rekristalizacije koja uzrokuje vidljivije promjene u mehaničkim svojstvima povećanjem vlačne čvrstoće i granice razvlačenja hladno obrađenog metala, ali ima puno prednosti poput nepostojanja potrebe za zagrijavanjem, dobivanja bolje završne obrade površine, bolje kontrole dimenzija te proizvodi posjeduju bolju ponovljivost i zamjenjivost, bolja svojstva čvrstoće, zamora i trošenja materijala.
- postupci toplog oblikovanja – metali koji se mogu toplo obrađivati uključuju ugljične čelike (nisko, srednje i visoko), legirane čelike, nehrđajući čelik, bakar i njegove legure kao što su mesing, bronca, aluminij.

U nastavku se ovog rada vrši analiza izrade ventilacijskog sustava obradom deformiranja metala (lima). Naglasak je na analizi pocinčanih limova u izradi ventilacijskog sustava.

3. ANALIZA IZRADE VENTILACIJSKOG SUSTAVA OBRADOM DEFORMIRANJA METALA (LIMA)

Ovo se poglavlje bavi analizom izrade ventilacijskog sustava obradom deformiranja metala (lima). Najprije se objašnjavaju industrije koje koriste oblikovanje lima, a potom se vrši deskripcija ispitivanja materijala i mehaničkih svojstava, ispitivanje tehnologije spajanja i propusnosti, vrši se prikaz idejnog rješenja ventilacijskog sustava s glavnim čimbenicima na funkcioniranje i kvalitetu, objašnjava se proračun debljine izvedbe ravnog pocinčanog ventilacijskog kanala te minimalni troškovi proizvodnje lima.

3.1. Industrije koje koriste oblikovanje lima

Limovi su metali koji imaju savršena svojstva za primjenu u bilo kojoj industrijskoj proizvodnji. U Tablici 2. prikazana je primjena oblikovanih proizvoda, limova, i glavne industrije korištenja istih.

Tablica 2 Primjena oblikovanih limenih proizvoda – industrije primjene

Industrije primjene limenih proizvoda
Zrakoplovstvo i svemirska industrija: zrakoplovni motori, dijelovi motora , konstrukcije zrakoplova, dijelovi zrakoplova, pomoćna oprema, projektili i dijelovi projektila
Automobilska industrija – automobili i kamioni, izvancestovna oprema,
Građevinarstvo, rudarstvo i rukovanje materijalima
Poljoprivredna industrija
Vodovodna industrija – ventili, oprema, priključci
Željeznička industrija – oprema za mehanički prijenos snage, ležajevi, motori, strojevi za obradu metala, parni strojevi i turbine (osim lokomotiva)
Industrija motocikala i bicikala
Industrija ventilacije i klimatizacije

Izvor: Izrada autora prema: Dayalbagh Educational Institute, *Metal Forming Processes*, Lesson 1., 2023.,

dostupno na:

<http://msvs-dei.vlabs.ac.in/mem103/Unit2lesson1.html> (7.10.2023.)

Limovi se danas proizvode korištenjem „naprednih tehnika proizvodnje koje uključuju valjanje metalnih blokova pomoću valjaka s različitim međusobnim razmakom. Ovakvim postupkom obrade mogu se proizvesti limovi različitih debljina, a koji se mogu podijeliti na:

- Fine limove – debljina do 1 mm,
- Tanke limove – debljina od 1 do 2,75 mm,
- Srednje limove – debljina od 3 do 4,75 mm,
- Debele limove – debljina od 5 do 60 mm.

Općenito, limovi se mogu podijeliti na:

- konstrukcijske limove,
- brodske limove,
- automobilske limove,
- kotlovske limove,
- transformacijske limove,

- druge vrste limova: prema obliku – rebrastog oblika, glatki, kvrgavi ili valoviti limovi, te limovi prema načinu obrade (proizvodnje): žareni limovi, meki i tvrdi limovi te normalizirani limovi.“¹²

Obrada lima vrši se prema svojstvima limova, pa u skladu sa navedenim postoji tehnika laserskog rezanja (ekonomičan način rezanja, ali može prouzrokovati refleksiju koja dovodi do oštećenja laserskog rezača), plazma rezanje (autogeno rezanje) i savijanje lima korištenjem preša ili savijača pod pritiskom plastične deformacije.

Za potrebe ovoga rada koristi se plazma rezanje koje se definira kao tehnološki proces rezanja metala (čelika i drugih) korištenjem plazma plamenika pod visokim temperaturama, pa „danas, kada je u pitanju čelik, plazma zbog svoje brzine rezanja i sve veće kvalitete reza zadire u područje lasera kod tankog materijala ali i u područje plinskog rezanja kod debelog materijala (4 mm – 25 mm). Kod nehrđajućeg čelika plazma nema konkurencije pri rezanju materijala debljine veće od 5 mm.“¹³ Plazma rezanje jamči sigurnost, ekonomičnost, jednostavnost korištenja te brzo rezanje. Dimenzije limova (ploča) koje se mogu pojaviti u praksi su najčešće slijedeće: 1000 x 2000 mm, 1250 x 2500 mm, 1500 x 3000 mm.

Za potrebe ovoga rada analizira se pocinčani lim dimenzija 1500 x 3000 mm, debljine 0,7; 0,9 i 1,1 mm (debeli limovi), koji imaju zavojnicu od pocinčanog čelika Z275. U Tablici 3. prikazuju se općenito pocinčani limovi, njihove dimenzije u milimetrima (mm), težina i kemijski sastav. Prema Tablici 3. vidljivo je da limovi koji imaju dimenzije od 0,55 mm do 3,00 mm i težinu od 4,40 kg/m² do 23,50 kg/m², imaju kemijski sastav cinka (Zn) u iznosu od 275 g/m².

¹² Laser Ing, *Limovi i sve što trebate znati o njima*, 2023., dostupno na: <https://www.laser-ing.hr/blog/limovi-i-sto-trebate-znati-njima/> (15.10.2023.)

¹³ Eurotehnika, *Plazma rezanje*, Zagreb, 2020., dostupno na: <https://www.eurotehnika.hr/kategorija-proizvoda/rezanje/4-tehnologije-rezanja/plazma-rezanje/> (15.10.2023.)

Tablica 3 Pocinčani limovi - tablica dimenzija u mm, težine i kemijskog sastava pocinčanih limova

Dimenzije u mm	Težina ca. kg/m ²	Zn 275 g/m ²	Zn 460 g/m ²
0.55	4.40	•	
0.60	5.00	•	
0.70	5.40	•	
0.75	5.75	•	
0.80	6.10	•	
1.00	7.80	•	
1.25	9.75	•	
1.50	11.75	•	
2.00	15.75	•	
2.50	19.50	•	
3.00	23.50	•	

Izvor: Strojopromet d.o.o., *Pocinčani Limovi, perforirani limovi, dimenzije i težine*, Zagreb, 2011., dostupno na: <https://strojopromet.com/pocincani-limovi-perforirani-limovi-dimenzije-i-tezine/> (15.10.2023.)

Pocinčani limovi „dobivaju se iz prethodno dobivenih hladno valjanih traka koje se zatim toplo pocinčavaju galvanskim postupkom. Zbog svoje visoke otpornosti prema koroziji imaju široku primjenu u raznim industrijskim granama. Koriste se u građevinarstvu za izradu elemenata za krovove i fasade, panela za zidove i krovove, u klimatizaciji za ventilacijske sustave i klima uređaje, u automobilskoj industriji, industriji poljoprivrednih mašina, za izradu silosa, raznih dijelova bijele tehnike itd. Najčešće se primjenjuje kvaliteta Dx51D+Z100 do Z275, a standardni formati ploča su: 1000x2000, 1250x2500 i 1500x3000 mm (debljine 0,50-3,00 mm).“¹⁴ Vežano za kvalitetu, veže se pojam Z275 koji se odnosi na pocinčanu čeličnu zavojnicu.

Pocinčana čelična zavojnica Z275 je čelični lim koji je premazan cinkom, obostrano. Takav čelični lim nastaje „postupkom oblaganja metalom, na način da se hladno valjani koluti provlače kroz kupku ispunjenu rastaljenim cinkom. Ovo kontinuirano vruće uranjanje,

¹⁴ Euro – metali HR, *Limovi*, Zagreb, 2023., dostupno na: <https://eurometali.hr/hr/article/6/limovi> (15.10.2023.)

elektro galvanizacija, je proces kroz koji moraju proći limovi od ugljičnog čelika da bi se proizveli svitci i pocinčani limovi. Proces se sastoji od primjene cinka putem elektrolitske dispozicije. Nakon što je lim podvrgnut ovome, sloj cinka prianja na osnovni metal preko sloja za spajanje željeza i cinka. Prevlaka cinkom dobro je poznat i učinkovit način dodavanja sloja zaštite golom čeliku od prirodnih elemenata koji uzrokuju koroziju. Z275 se odnosi na oznaku težine presvučene čelične ploče. Danas standard ASTM diktira i definira vrstu premaza za ove proizvode. Na primjer, najčešći ASTM standard na tržištu danas je A653A ili A653M; ovo pokriva svu vruće pocinčanu robu. Standardni broj označava težinu cinka nanesenog na površinu čeličnog lima. Dakle, ako je ASTM oznaka težine G90 (0,90 oz/ft²), postat će Z275 (275 g/m²) u STI. Z275 će se izravno prevesti na čelični proizvod s premazom od cinka, a 275 kao težina cinka nanesenog na površinu čelika.¹⁵ Upotreba proizvoda od lima u ventilacijskim sustavima je očita kroz korištenje pocinčanih ventilacijskih cijevi, nastalih tehnikom vrućeg valjanja.

Pocinčani ventilacijski kanali su karakteristični po maloj masi, izdržljivosti, niskoj cijeni te jednostavnoj ugradnji i održavanju proizvoda. U ventilacijskim sustavima se pocinčane cijevi koriste za ugradnju zračnih kanala, dimnjaka te za transport tekućina visokih i niskih temperatura. Zračni kanali se najčešće izrađuju od pocinčanih kanala i cijevi, a u praksi se kao takvi nazivaju krutim zračnim sustavima. „Ventilacija izrađena od pocinčanog čelika tehnološki je najnaprednija, ne podliježe koroziji, otporna je na sunčevu svjetlost i sposobna je uklanjati čak i korozivne plinove. Osim toga, pocinčani ventilacijski kanali i cijevi odlikuju se svojom svestranošću i izdržljivošću.“¹⁶ Kruti zračni kanali koji se izrađuju od pocinčanog lima pojavljuju se u pravokutnom i okruglom obliku (polufleksibilni i fleksibilni, izrađeni su od višeslojne aluminijske folije, okrugli zračni kanali imaju okvir izrađen od čelične žice uvijene u spiralu, što je veoma pogodno za ugradnju poput harmonike i za transport).¹⁷ Metalni ventilacijski sustavi zahtijevaju vođenje brige o korodiranju ventilacijskih cijevi, te o pojavi neugodnih mirisa, a pocinčane cijevi su idealne za suzbijanje rizika od korozije, pa sa time i oštećenja cijevi, pojave neugodnih mirisa, ali i nepotrebnih dodatnih troškova.

¹⁵ Cosa Steel, *Z275 Galvanizirani čelični svitak*, 2023., dostupno na: <https://hr.cosasteel.com/prod/z275-galvanized-steel-coil/> (15.10.2023.)

¹⁶ VVSC.RU, *Upotreba limenih proizvoda za ventilacijske sustave. Ventilacijske cijevi*, 2021., dostupno na: <https://vvsc.ru/hr/use-of-products-from-tin-for-ventilation-systems-pipes-for-ventilation/> (15.10.2023.)

¹⁷ VVSC.RU, *Proračun industrijskog ispušnog ventilacijskog sustava. Što je dovodna ventilacija i kako je pravilno opremiti*, 2021., dostupno na: <https://vvsc.ru/hr/calculation-of-industrial-exhaust-ventilation-system-what-is-forced-ventilation-and-how-to-properly-equip-it/> (15.10.2023.)

3.2. Ispitivanje materijala i mehaničkih svojstava

U Tablici 4. prikazane su karakteristike materijala i njihovih mehaničkih svojstava. Fokus ovoga rada je na analizi pocinčanog čelika, ali se za usporedbu navode i karakteristike i mehanička svojstva ugljičnog čelika i nehrđajućeg čelika koji se kao i pocinčani čelik često koriste u praksi. Za pocinčani je čelik karakteristično to da se za izradu ventilacijskih kanala najprije koristi ugljični čelik, koji se obrađuje sendzimir galvanizacijom, kao procesom kontinuiranog pocinčavanja trake u skladu s DIN EN 10346. Europska norma DIN EN 10346, izdanje 2015., utvrđuje zahtjeve za kontinuirano vruće obložene čelične proizvode, s niskim udjelom ugljika za hladno oblikovanje, čelika za konstrukcije i čelika s visokom otpornošću na otpor za hladno oblikovanje. Takvi proizvodi, osim cinkom (Z), mogu biti obloženi legurom cink-željezo (ZF), legurom cink-aluminij (ZA), legurom aluminij-cink (AZ), legurom aluminij-silicij (AS) ili legurom cink-magnezij (ZM), u debljinama od $0,20 \text{ mm} \leq t < 3,0 \text{ mm}$.¹⁸ Proizvodi od pocinčanog čelika izrađuju se prema unaprijed dogovorenim mehaničkim svojstvima i ispitnim uzorcima, zahtjevima za prijanjanje premaza i stanje površine.

U ovome radu koristi se materijal EN 10346 DX51D+Z 275 MAC Rohs za izradu proizvoda.

Tablica 4 Kemijska svojstva lima EN 10346 DX51D+Z 275 MAC Rohs

COMPOSIZIONE CHIMICA - CHEMICAL COMPOSITION											
C70 PROCESSO ELABORAZIONE ACCIAIO-STEEL MAKING PROCESS:LD -Y- BOF C94.COLATA CONTINUA - CONTINUOUS CASTING											
C71	C72	C73	C74	C75	C76	C77	C78	C79	C80	C81	C82
%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Al	%Nb	%V	%Ti	%Ni	%Cr	%Cu
0,044	0,018	0,234	0,024	0,007	0,039			0,002			
	1										

Debljina 1,5 mm, Toplo vučeno pocinčano, mehanička svojstva točka popuštanja $R_e = 308 \text{ MPa}$, $R_m = 380 \text{ MPa}$, $A-EL_{Lo -80} \% = 32,1$, $n_{90} = 0,170$. Prema specifikaciji koju je dostavila tvrtka Strojopromet, vidljivo je da je važno poznavanje kemijskih i mehaničkih svojstava materijala koji sudjeluju u procesu. Neke osnovne činjenice o materijalu može se očitati iz Tablice 6.

¹⁸ Deutsches Institut für Normung E.V. (DIN), *DIN EN 10346 2015 Edition*, Global IHS, 2015., dostupno na: https://global.ihs.com/doc_detail.cfm?document_name=DIN%20EN%2010346&item_s_key=00524684 (22.10.2023.)

Tablica 5 Materijali - karakteristike i njihova mehanička svojstva

Materijal	Karakteristike	Gustoća čelika [kg/m ³]	Gustoća površinske obrade [g/m ²] - Odnosi se isključivo na površinsku obradu. Nije uračunato u gustoću materijala.
Pocinčani čelik	Materijal kanala: ugljični čelik. Sendzimir galvanizacija Z 275 za sve površine prema UNI EN 10346:2009. Sendzimir pocinčavanje – definira se kao kontinuirano pocinčavanje trake u skladu s DIN EN 10346. Naziv je dobilo po poljskom inženjeru i izumitelju Tadeuszu Sendzimiru. Postrojenja za pocinčavanje trake kombiniraju postupak vrućeg pocinčavanja sa žarenjem. Prednost je što se trajna zaštita od korozije stvara u suhim interijerima bez agresivnih medija. ¹⁹	7850	275
Ugljični čelik	Materijal kanala: ugljični čelik. Stupanj pjeskarenja sa 2 ½ prema EN ISO 8501 - 1:2007. Jedan sloj temeljnog premaza - nakon bilo koje operacije montaže - debljina 15-20 mikrona (tip Cerabond 2000) U slučaju odstupanja između odredbi ove specifikacije i onih iz „Tehničke specifikacije za bojanje broda” potrebno je uzeti u obzir najstrože zahtjeve.	7850	-
Nehrđajući čelik	Materijal kanala: nehrđajući čelik AISI 316L. 8000	8000	-

Izvor: Izrada autora prema: Bulla, T., Corradini, S., Cappola, M., *HVAC and Ventilation System*, Duct Construction Standard, A8E110376, ALT./MOD.01, FINCANTIERI S.p.A., Settore Progettazione Funzionale MC, Trieste, 2020., str. 3.

¹⁹ Topregal, *Sendzimir galvanizing*, 2023., dostupno na: <https://www.topregal.com/en/glossary/sendzimir-galvanizing.html> (7.10.2023.)

Debljina proizvoda određuje se nakon premazivanja. Takvi proizvodi imaju visoku čvrstoću i jako su otporni na koroziju (otpornost proizvoda na koroziju proporcionalna je debljini premaza, a time i njegovoj masi), stoga su tako izrađeni proizvodi veoma pogodni za ventilacijske sustave. Površinska obrada galvanizacijom i temeljnim premazom trebala bi se ponoviti ako dođe do oštećenja tijekom montaže.

Obnavljanje galvanizacije vrši se bojom na bazi cinka kako bi mu se vratila zaštita metala. Svi ostali korišteni elementi, poput vijaka, matica, zakovica, trebaju biti izrađeni od istih materijala kao i ventilacijski kanal. Površinska obrada lima može se obrađivati putem laserskog rezanja (kod kojeg je problem pojava refleksije) i plazma rezanja koje se koristilo za potrebe ovog istraživanja.

3.3. Ispitivanje tehnologije spajanja i propusnosti

Mjerenje propusnosti zraka, odnosno nepropusnosti zraka, značajno je za postizanje dobre kvalitete unutarnjeg zraka. Potrebno je izbjegavati curenje zraka korištenjem zrakonepropusne ovojnice i zrakonepropusne cijevi kako ne bi došlo do negativnog utjecaja na kvalitetu unutarnjeg zraka (u slučaju propusnosti, zrak se ne grije, ne hladi ili ne omogućava sušenje).

Metode određivanja koeficijenta propuštanja zraka uključuju korištenje načela da se zrakopropusnost zapravo mjeri zračnom propusnošću ovojnice mjerenog objekta, pa u tu svrhu ventilator održava razliku tlaka između unutarnje i vanjske strane objekta (tad se mjeri brzina protoka zraka potrebna za održavanje te razlike tlaka). Diferencijal tlaka mjeri se manometrom (raspon 0-100 Pa), dok se brzina protoka zraka kroz ventilator mjeri jednom od sljedećih metoda:²⁰

- ventilator je kalibriran tako da se brzina protoka zraka može odrediti iz razlike tlaka i brzine vrtnje (vrata za puhanje),
- mlaznica ili drugi prikladan mjerač protoka ugrađen je u krug protoka zraka,
- tehnika razrjeđivanja plina za praćenje,
- mjerenja se ponavljaju za različite razlike tlaka, u rasponu od dvostruke prirodne razlike tlaka do oko 60 Pa, ili u nekim slučajevima čak i više,
- za karakterizaciju propusnosti zraka koriste se sljedeći opći modeli:

²⁰ Awbi, H., op.cit., str. 407.

- zakon snage: $V = Kx \text{ ap } x \text{ n}$
- i kvadratni zakon:

$$\Delta p = aV^2 + bV$$

ili:

2a,

pri čemu je:

- „V“ volumenski protok zraka kroz područje propuštanja,
- Δp je razlika tlaka preko područja propuštanja (Pa),
- „n“ je eksponent protoka ($0,5 < n < 1$),
- „K“ koeficijent strujanja zraka ($\text{m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ Pa}^{-n}$) i
- „a i b“ su koeficijenti koji predstavljaju turbulentne i laminarne dijelove kvadratnog zakona (Pa m^{-3} i Pa m^{-2}).

Svrha kvantitativnih mjerenja tlaka određivanje je navedenih koeficijenata i eksponenata bilo kojeg modela koji opisuje protok zraka kroz ovojnicu ili komponentu.

- Zakon potencije – potpuno je empirijski utemeljen na činjenici da curenje čine razne pukotine raspoređene u nizu i paralelno.

3.4. Prikaz idejnog rješenja ventilacijskog sustava s glavnim čimbenicima na funkcioniranje i kvalitetu

Idejno rješenje izrade ventilacijskog sustava mora obuhvaćati sve odredbe specifikacije korištenih materijala koje se moraju poštovati u svim okolnostima. Svi kanali i komponente moraju biti instalirani kako bi izdržali radne uvjete od 3000 Pa pozitivnog/negativnog tlaka i 20 m/s brzine zraka.

Osim navedenog, kružni spiralni kanali i spojnice moraju biti standardnog komercijalnog tipa.

Pravila koja se moraju poštovati da bi proizvodi (pocinčani limovi) ostvarili visoku kvalitetu i da bi bili funkcionalni su sljedeća: praćenje norme UNI EN 10346:2009, koja nalaže da čelični proizvodi moraju biti kontinuirano vruće obloženi jer će tako ispoštovati tehničke uvjete isporuke te EN ISO 8501 - 1:2007, koji se odnosi na pripremu čeličnih podloga prije nanošenja boja i srodnih proizvoda, odnosno nalaže da se izvrši vizualna procjena čistoće površine.

Nadalje, ono na što je potrebno obratiti pozornost briga je oko savijanja lima. Savijanje ovisi o stupnju deformacije, pa industrijski radnici prilikom korištenja stojeva za rezanje moraju

znati do koje mjere metalni materijal (pocinčani čelik) može biti izložen opterećenju i kako se ponašati u slučaju sile.

U slučaju trajne deformacije primjenjena sila treba prelaziti raspon elastične deformacije. Sastav materijala i vlačna čvrstoća igraju važnu ulogu da ne bi došlo do oštećenja materijala.

Potrebno je obratiti pažnju na debljinu materijala, na kut savijanja i na smjer valjanja. Ukoliko korišteni stoj ne postigne minimalni radijus savijanja, utoliko može doći do loma obratka ili napuknuća vanjske strane te nastanka nabora s unutarnje strane lima.

3.5. Proračun debljine izvedbe ravnog pocinčanog ventilacijskog kanala

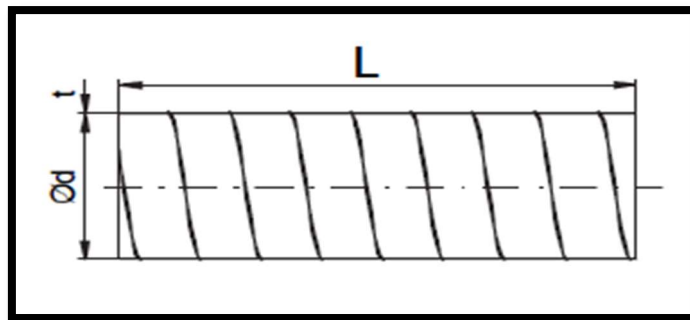
Općenito se u ventilacijskim sustavima koriste kružni i pravokutni ventilacijski kanali. Za potrebe ovoga rada korišten je kružni ventilacijski pocinčani kanal. Općenito, kružni ventilacijski pocinčani kanali mogu biti ravni, pod kutem od 90, 45, 30 i 15 stupnjeva.

Komponente kanala za vrstu izvedbe ravnog pocinčanog ventilacijskog kanala standardne debljine (CIRK GALV) prikazane su u nastavku.

Slika 4. prikazuje kružnu pocinčanu standardnu debljinu (CIRK GALV) ravnog kanala. Prema Slici 4., vidi se da ravni kanal pocinčane standardne debljine čine sljedeće varijable:

- L – duljina,
- t (mm) – debljina,
- Φd [mm] – dimenzija priključnog kanala/promjer kruga.

Slika 4 Kružna pocinčana standardna debljina (CIRK GALV): Ravni kanal



Izvor: Bulla, T., Corradini, S., Cappola, M., HVAC and Ventilation System, Duct Construction Standard, A8E110376, ALT./MOD.01, FINCANTIERI S.p.A., Settore Progettazione Funzionale MC, Trieste, 2020., str. 9.

Tablica 6 Dimenzije ravnog kanala (*Maksimalna duljina "L" od 3 metra)

DN	Φd [mm]	t [mm]	Težina [kg/m]
80	80	0,45	0,91
100	100	0,45	1,14
125	125	0,45	1,41
160	160	0,50	2,02
180	180	0,50	2,26
200	200	0,50	2,56
250	250	0,50	3,18
315	315	0,55	4,41
400	400	0,55	6,01

Izvor: Bulla, T., Corradini, S., Cappola, M., HVAC and Ventilation System, Duct Construction Standard, A8E110376, ALT./MOD.01, FINCANTIERI S.p.A., Settore Progettazione Funzionale MC, Trieste, 2020., str. 9.

Slijedom Tablice 6., prikazana je nova vrijednost, DN – promjer kanala koja odgovara veličinama Φd (mm) – dimenzijama priključnog kanala/promjerima krugova. Od ostalih vrijednosti, pojavljuju se veličine debljine i težine ravnog kanala.

3.6. Minimalni troškovi proizvodnje lima

Proizvodnja lima podrazumijeva i obraćanje pažnje na troškove. Troškovi najčešće nastaju tijekom procesa deformacije, a isti većinom nastupaju u sljedećim slučajevima:²¹

- kad je geometrija dijela umjerene složenosti, a obujmi proizvodnje veliki, pa tada troškovi alata po jedinici proizvoda mogu biti niski,
- dizajn proizvoda zahtijeva opsežno iskustvo i znanje kako bi se smanjili troškovi i vrijeme, budući da se razvoj procesa još uvijek u velikoj mjeri temelji na pokušajima i pogreškama. Iako je ovaj pristup bio vrlo uspješan, buduća konkurentnost zahtijeva komplementarne metodologije zasnovane na modelu za dizajn procesa. Postoji velika potreba za sposobnošću predviđanja putem koje se može provoditi kontrola materijala i procesa kako bi se postigla željena svojstva proizvoda na ekonomičan način ekonomično i bez nedostataka.

U skladu s navedenim, potrebno je razmotriti generalizaciju o fizičkim fenomenima koji su zajednički svim procesima deformiranja. Drugim riječima, potrebno je racionalno pristupiti

²¹ National Research Council, *Unit Manufacturing Processes: Issues and Opportunities in Research*, Washington, DC: The National Academies Press, 1995., Chapter 6.: Deformation Processes, str. 82., dostupno na: <https://nap.nationalacademies.org/read/4827/chapter/10#81> (22.10.2023.)

razumijevanju karakteristika svakog procesa oblikovanja metala (transformacija putem plastične deformacije, osim promjena oblika i dimenzija, mijenja se i metalurška struktura i površina).

4. PLAN REZANJA

U ovom će se radu prikazati i općeniti plan rezanja nakon kojeg će biti prikazan plan rezanja plazmom, a zatim i laserom. U zadnjem će se dijelu prikazati razlika ta dva plana u parametrima kao što su iskoristivosti lima, škart lima, postotak škarta i postotak iskoristivosti lima.

Slika 5 Ventilacijski kanal iz pocinčanog lima



U Proizvodnji se koristi softver Inventor Nesting koji služi za optimizaciju procesa krojenja limova kako bi se maksimalno iskoristio materijal i pripremio za daljnju obradu deformiranja. Ovaj je softver posebno koristan u industrijama koje se bave obradom metala, poput proizvodnje strojeva, automobilske industrije i građevinskih sektora, gdje je učinkovitost upotrebe materijala ključna za smanjenje troškova i povećanje produktivnosti.

Optimizacija materijala slika 6 i 7: Inventor Nesting omogućuje automatsko raspoređivanje dijelova koje treba izrezati na limovima tako da se minimalizira otpad materijala. Korištenjem naprednih algoritama, softver analizira oblike dijelova i pronalazi optimalan način njihova smještaja na limu. Ovo rezultira znatnim smanjenjem otpadnog materijala, koje ne samo što smanjuje troškove, već i doprinosi ekološkoj održivosti smanjenjem količine otpada.

Ušteda vremena: Ručno raspoređivanje dijelova na limovima može biti vrlo vremenski zahtjevno i sklono pogreškama. Inventor Nesting automatizira ovaj proces, omogućujući brzu i preciznu izradu planova krojenja. Ovo operaterima omogućuje više vremena za druge zadatke i smanjuje mogućnost ljudske pogreške.

Priprema za daljnju obradu: Nakon što su dijelovi izrezani iz limova, često slijedi daljnja obrada poput savijanja, bušenja ili zavarivanja. Inventor Nesting omogućuje da su izrezani dijelovi točno onakvi kakvi trebaju biti za ove procese, čime se smanjuje potreba za dodatnim prilagodbama i povećava točnost konačnih proizvoda.

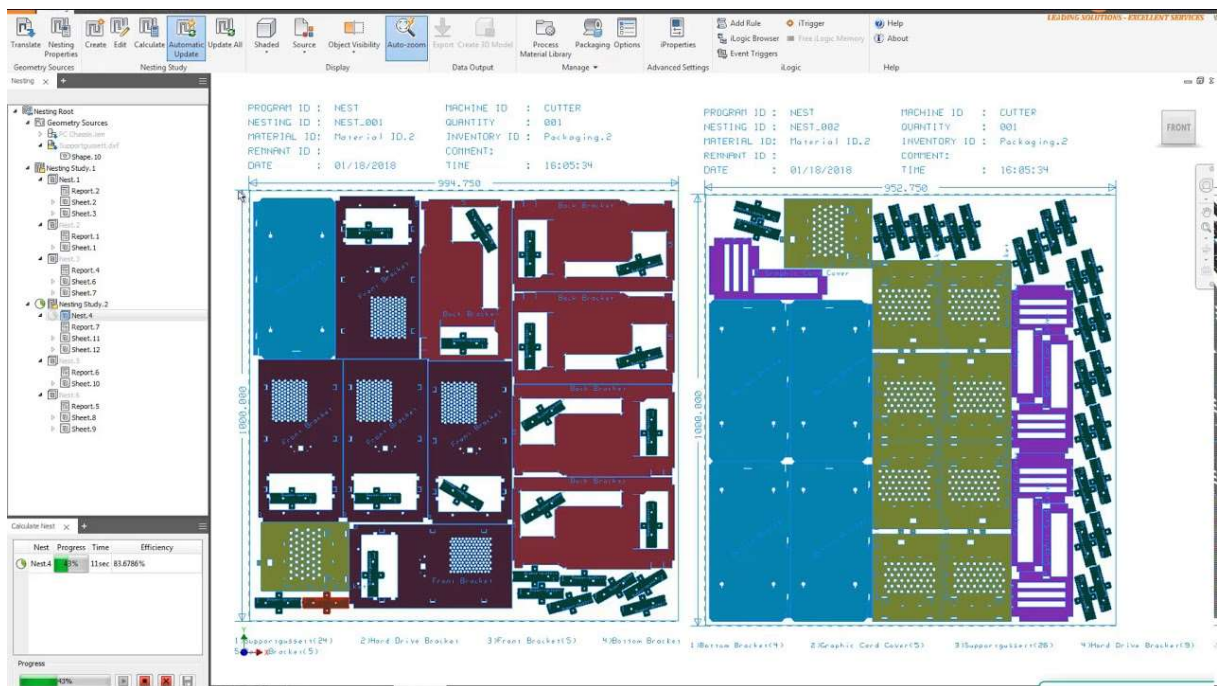
Integracija s drugim softverima: Inventor Nesting lako se integrira s drugim softverskim alatima za dizajn i proizvodnju, poput Autodesk Inventor-a i AutoCAD-a. Ovo omogućuje jednostavan prijenos podataka između različitih faza proizvodnog procesa čime se poboljšava ukupna efikasnost i smanjuju troškovi.

Plan rezanja dokument je koji određuje:

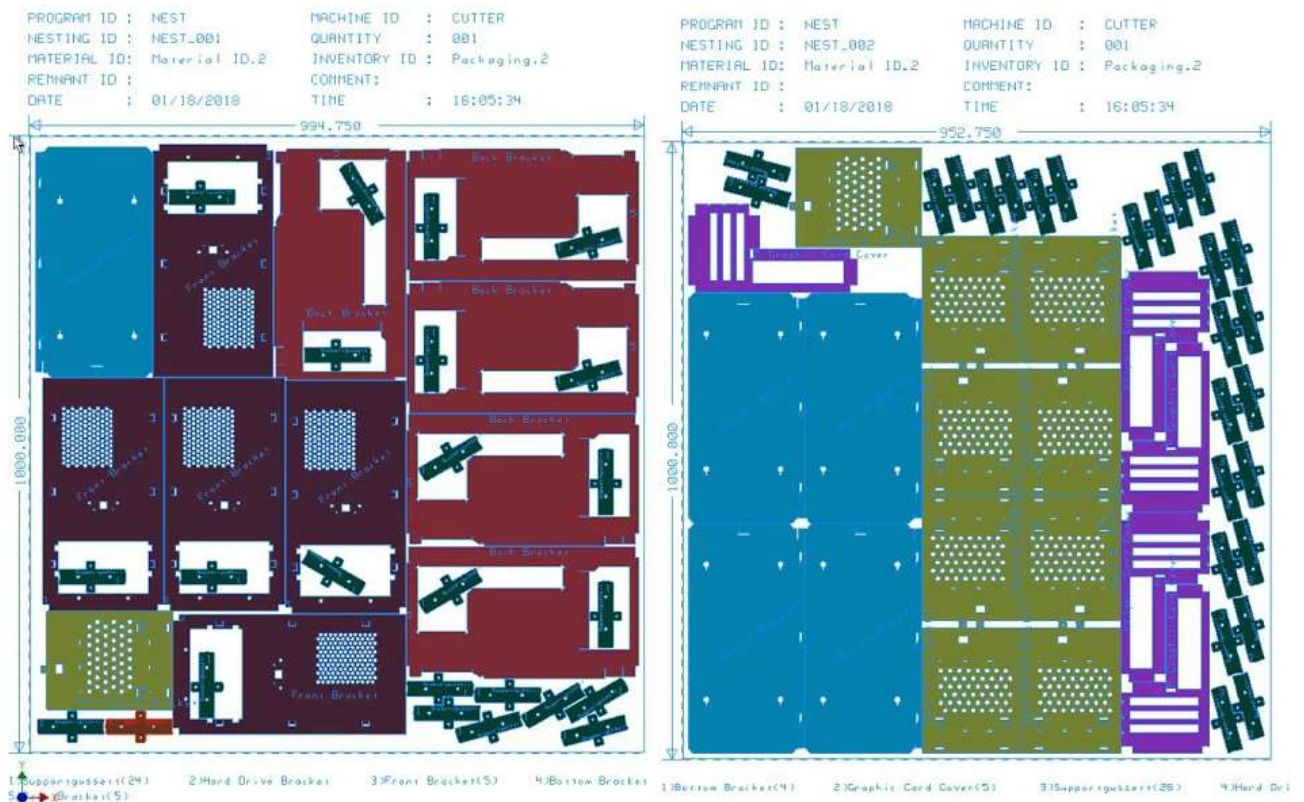
- putanju i smjer kretanja alata u odnosu na obradak,
- mjesto uključivanja i isključivanja plazme i lasera,
- tablicu s koordinatama karakterističnih točaka programirane putanje alata,
- točku izmjene alata.

Prilikom izradbe plana rezanja treba razmotriti i potrebu povrata alata zbog rekalkibracije (ponovnog umjeravanja).

Slika 6 Prikaz sučelja u softeru inventor nesting



Slika 7 Detalj prikaza sučelja s glavnim karakteristikama



Drvo ili lijevi izbornik u sučelju softvera poput Inventor-a i sličnih CAD/CAM alata ima ključnu ulogu u organizaciji i upravljanju podacima, naredbama i modelima unutar projekta. Ovaj alat pruža korisnicima jednostavan i pregledan način za praćenje i manipulaciju različitim komponentama i funkcijama projekta.

Praćenje unosa ispravnih podataka: Drvo ili lijevi izbornik omogućava korisnicima da lako prate sve elemente projekta, od osnovnih skica do složenih sklopova. Svaki unos ili promjena odmah se prikazuju u hijerarhijskom prikazu, što olakšava praćenje ispravnosti unosa i brz pronalazak potencijalnih grešaka. Ovo je posebno važno u složenim projektima gdje je preglednost ključna kako bi se omogućila točnost i kvaliteta konačnog proizvoda.

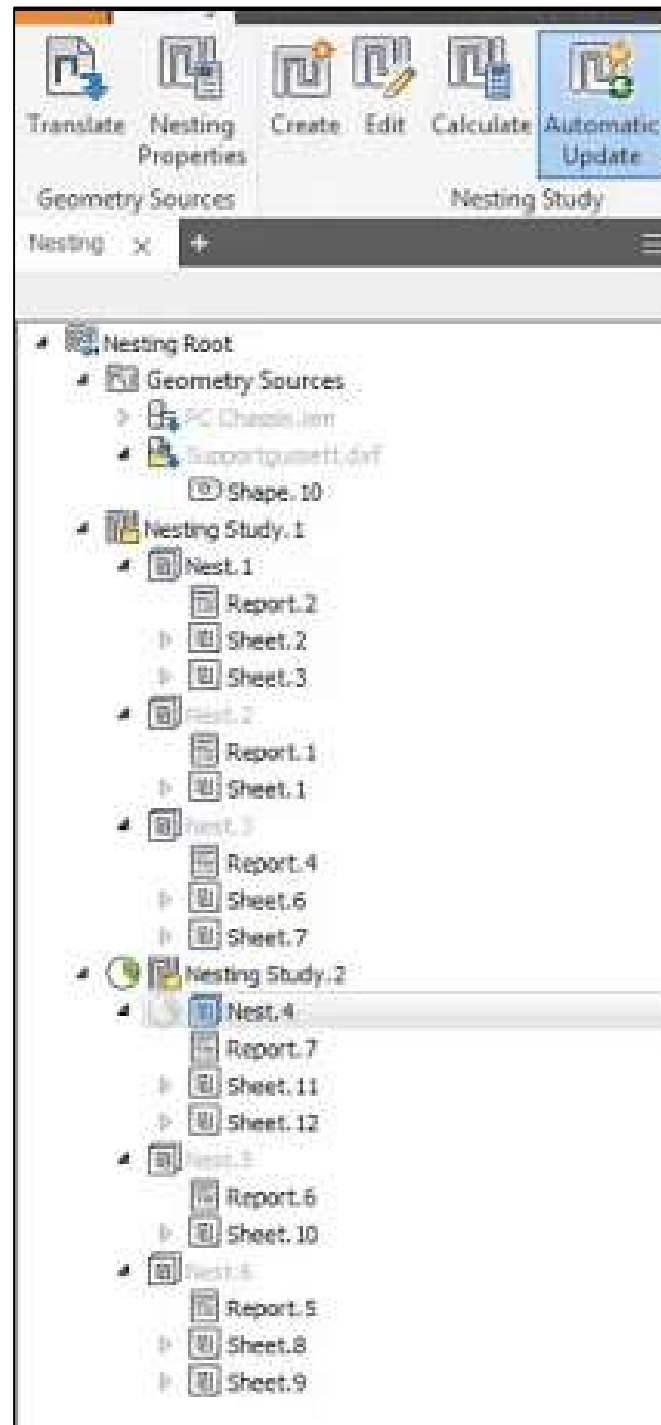
Slaganje rasporeda naredbi: Drvo izbornik organizira naredbe i funkcije u logičan i intuitivan raspored. Korisnici mogu brzo pristupiti često korištenim alatima, pregledati povijest naredbi i vratiti se na prethodne korake bez potrebe za pretraživanjem kroz složene menije. Ovaj pregledan pristup značajno ubrzava rad i smanjuje vrijeme potrebno za obavljanje zadataka.

Jednostavan i pregledan pristup modelu: Drvo izbornik nudi detaljan prikaz strukture modela, uključujući sve dijelove, sklopove i poveznice između njih. Korisnici mogu jednostavno *navigirati* kroz različite dijelove modela, sakriti ili prikazati određene komponente

te izvršiti izmjene s lakoćom. Ovaj pregledan pristup omogućava bolju kontrolu nad projektom i olakšava upravljanje složenim sklopovima.

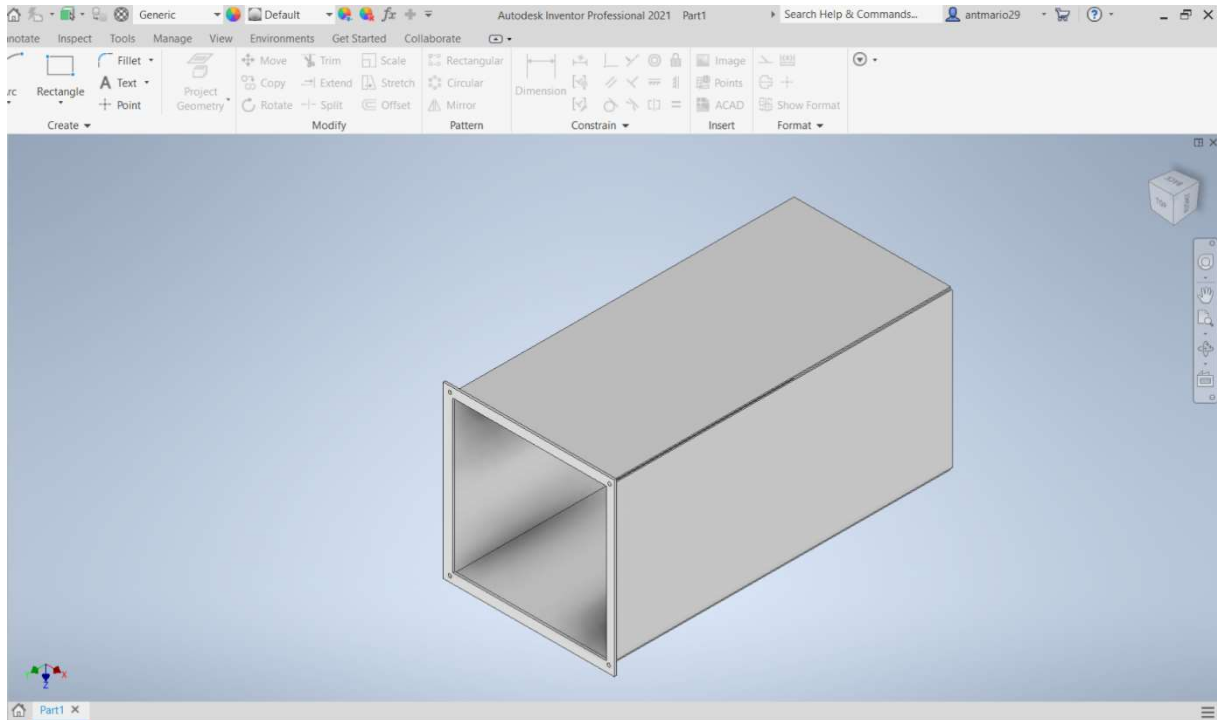
Implementacija dodatnih rješenja: Drvo izbornik također podržava integraciju i implementaciju dodatnih rješenja i alata. Korisnici mogu dodavati nove komponente, materijale ili funkcionalnosti direktno iz izbornika, čime se proširuje funkcionalnost softvera i prilagođava specifičnim potrebama projekta.

Slika 8 Lijevi izbornik s osnovnim vezama između osobina pojedinih dijelova u konstrukcijskom nacrtu



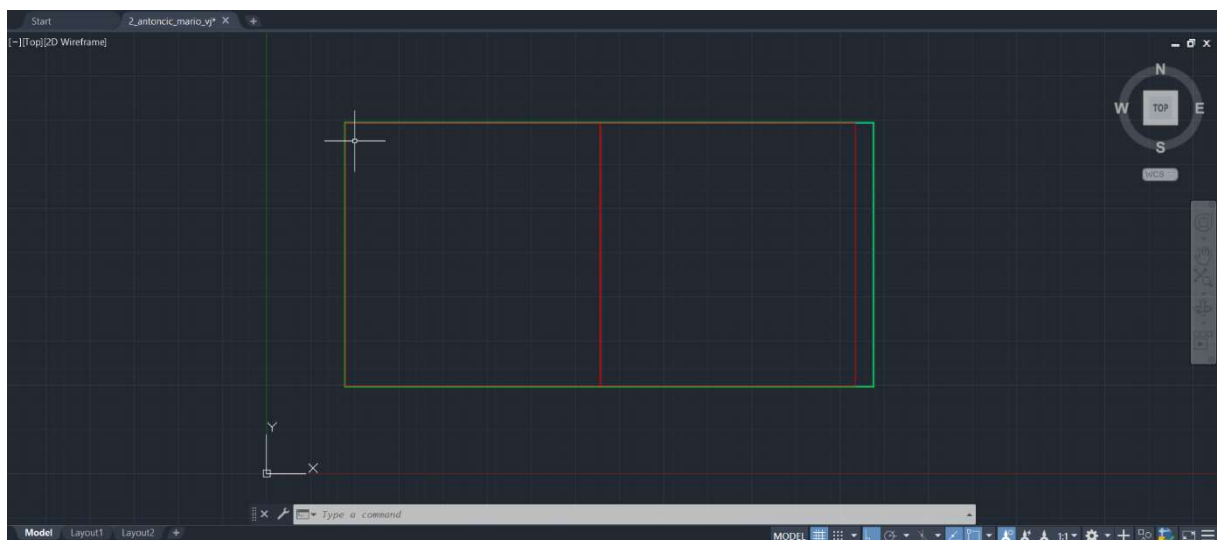
Za izradu ventilacijskog kanala koristi se pocinčani lim dimenzija 3000 x 1500 x 1,1 mm debljine. Ventilacijski kanal dimenzija A x B x L (700 x 700 x 1500 mm) unosi se u Lantekexpert program pomoću kojega se dobiva putanja rezanja istoimenog kanala na pocinčanom limu.

Slika 9 Ventilacijski kanal



Ventilacijski kanal nakon filtriranja kroz program Lantekexpert dobiva svoju razvijenu dužinu s nadmjerama. Nakon toga se kanal rastavlja na dva dijela prije ubacivanja u program Nesting zbog lakšeg naknadnog ukrućivanja u spojevima.

Slika 10 Ugnježđenje segmenata kanala na radnom limu (plazma)



U Nesting programu koriste se dimenzije limova 3000 x 1500 x 1,1mm, no zbog rezanja plazmom mogu se koristiti neto dimenzije 2990 x 1490 x 1,1mm. Zbog rubnih nultih početnih točaka i razmaka između linija rezova segmenata ne smije biti manji od 10mm (program javlja grešku).

Slika 11 Prikaz rubnih nultih točaka i razmak linija rezova (plazma)



Prilikom rezanja kanala dimenzija 700 x 700 x 1500 mm, njegovu razvijenu dužinu iz dva segmenta (1400 x 1500 mm), dimenzija 1500 mm mora se umanjiti za 10mm da se ne pojavljuje greška u programu po Y osi. Kanal koji se reže na pocinčanom limu koristi gabarite linije reza (2820 x 1490 mm), ostatak se smatra otpadnim materijalom.

Razlika između planova rezanja laserom i plazmom očituje se u razlici mase te, naravno, potrošnji energije. U tablici je prikazano da prilikom serijske proizvodnje otprilike 100 ventilacijskih kanala koristi se 100 komada pocinčanih limova te je vidljiva razlika jer se pomoću laserskog rezanja postiže veća iskoristivost lima i odbacuje se upola manje otpadnog materijala koji nastaje nakon rezanja.

Tablica 7 Različita vrsta obrade rezultira razlikom u masi

RAZLIKA U KG SA 1KOM LIMA				
	plazma	kg	laser	kg
dimz. AxB kanala	700*700		700*700	
dimz. AxB lim	3000*1500	38,86	3000*1500	38,86
dimz. AxB iskoristivosti lima	2990*1490	38,47	2996*1496	38,70
dimz. AxB iskorištenog lima	2820*1490	36,53	2804*1496	36,32
dimz. AxB ostatka lima	180*1500	2,3	196*1500	2,5
dimz. AxB škart lima		0,39		0,16
RAZLIKA U KG SA 100KOM LIMOVA				
	plazma	kg	laser	kg
dimz. AxB kanala	700*700		700*700	
dimz. AxB lim	3000*1500	3885,75	3000*1500	3885,75
dimz. AxB iskoristivosti lima	2990*1490	3846,98	2996*1496	3870,22
dimz. AxB iskorištenog lima	2820*1490	3652,61	2804*1496	3631,88
dimz. AxB ostatka lima	180*1500	233,1	196*1500	253,9
dimz. AxB škart lima		38,77		15,53

4. REDOSLJED IZRADE DIJELOVA NA STROJEVIMA

Izrezane dijelove potrebno je deformirati na zračnoj preši kao što je prikazano na slici.

Zračna preša vrsta je mašine koja koristi pritisak zraka za obavljanje različitih zadataka, najčešće u industriji i proizvodnji. Princip rada zračne preše temelji se na korištenju komprimiranog zraka kako bi se stvorila sila potrebna za rad.

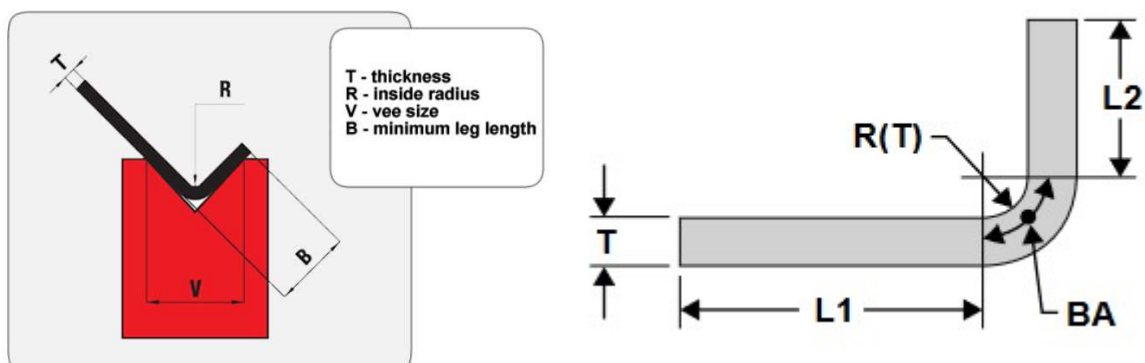
Slika 12 Prikaz zračne preše



Nakon toga potrebno je lim savijati na savijačici, kao što je prikazano na slici.

Problem debljine i krajnje duljine može se očitati upotrebom jednadžbi ili tablice koja dolazi sa strojem. Tablica prikazuje rezultate savijanja pri upotrebi alata prikazanih na slici 11, s napomenom da za aluminij pomnožite odgovor s 0,6, za nehrđajući čelik pomnožite odgovor s 1,6.

Slika 13 Prikaz rada zračne preše



Tablica 1.: Prikaz tablice ponašanja materijala pod utjecajem deformiranja

Tablica 8 Tablica s odnosima radijusa, debljine i sile

T	6	8	10	12	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200	250	320	400	V	
	4	5.5	7	8.5	11	14	17.5	22	28	35	45	55	71	89	113	140	175	226	350	B	
	1	1.3	1.6	2	2.6	3.3	4	5	6.5	8	10	13	16	20	26	22	41	53	83	R	
0.8	7	5	4																	F=T/m	
1	11	8	7	6																	
1.2	16	12	10	8	6																
1.5		17	15	13	9	8															
2			27	22	17	13	11														
2.5				35	26	21	17	13													
3					38	30	24	19	15												
4						54	42	34	27	21											
5							67	52	42	33	26										
6								75	60	48	38	30									
7										66	52	41	34								
8										86	69	53	43								
9											86	68	54	44							
10											105	85	67	53							
12												120	95	76	60						
15													150	120	95	75					
18														174	137	110	88				
20															170	135	108	85			
25																210	170	130	105		

Izvor: <https://www.pressbraketoold.co.uk/bendingcharts.php>

Na slici 14 prikazan je postupak savijanja lima.

Slika 14 Prikaz savijačice lima

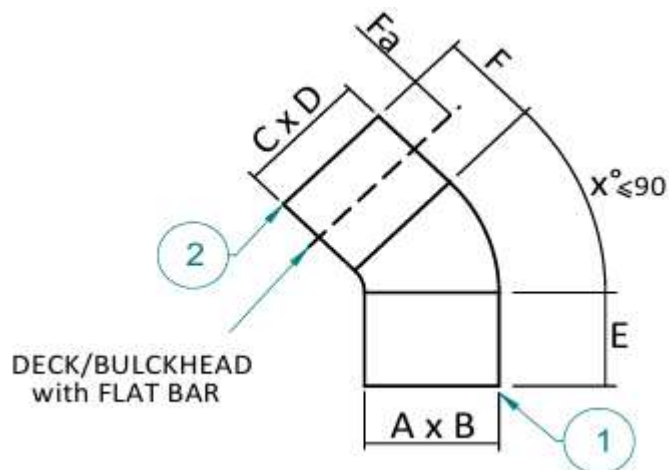


Montažom se dobivaju zakrivljeni dijelovi poput prikazanog na slici 15 i 16, dimenzije su prema tablici 9.

Tablica 9 dimenzije predviđene za izradu spojnog elementa

Marca	Pallet	Materiale	Elim.	DIMENSIONI									
PEZZO				A	B	C	D	E	F	Fa	X*	R	
Z176	BERENGO	Rect galv		600	300	600	300	230		25		90	50
Z192	BERENGO	Rect galv		600	300	600	300	230		25		90	50

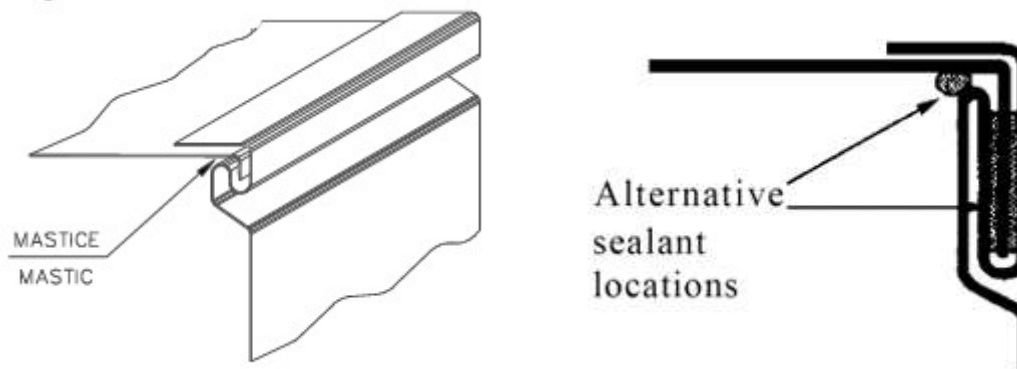
Slika 15 Konstrukcijski nacrt spojnog elementa



Slika 16 Montirana konstrukcija dijela ventilacijskog sustava sa zakrivljenim dijelom

Konačni oblik montiranog cijevovoda kao na slici 17 gdje je prikazana metoda spajanja rubova. Na slici 18 prikazan je konačan izrađen ventilacijski odvod duljine 2000 mm i širine 400 mm te visine 600 mm.

Slika 17 metoda spajanja rubova i izoliranja



Slika 18 Montirana konstrukcija ventilacijskog odvoda



ZAKLJUČAK

U ovome radu prikazana je izrada ventilacijskog sustava. Prikazana su kemijska i mehanička svojstva materijala pocinčanog čelik debljine 1.5 mm koji je upotrijebljen za izradu. Također, prikazana je tehnologija izrade ventilacijskog sustav, a strojevi poput zračne preše, savijačice i slični, objašnjeni su u tekstu.

Za gniježđenje je korišten softver Inventor Nesting koji je ključan alat za industrije koje se bave krojenjem limova. Njegova sposobnost optimizacije materijala, uštede vremena i pripreme dijelova za daljnju obradu značajno doprinosi efikasnosti i ekonomičnosti proizvodnog procesa. Njegova uloga u praćenju unosa podataka, organizaciji naredbi, preglednom pristupu modelima i mogućnosti implementacije dodatnih rješenja čini ga neophodnim za uspješno i produktivno korištenje CAD/CAM softvera.

Prikazan je praktičan rad upotrebe strojeva na lokaciji te konačni izgled ventilacijskih proizvoda koji se međusobno montiraju po potrebi. Osnovne dimenzije izrađene su sukladno standardu za izradu ventilacijskih cijevi A8E110376, a koju upotrebljava tvrtka Fincantieri S. p. A.

POPIS LITERATURE

Knjige:

1. Awbi, H., *Ventilation Systems: Design and performance*, Taylor & Francis, London, New York, 2007., dostupno na:
<https://archive.org/details/VentilationSystemsDesignAndPerformance2007/page/n3/mode/2up?view=theater> (7.08.2023.)
2. National Research Council, *Unit Manufacturing Processes: Issues and Opportunities in Research*, Washington, DC: The National Academies Press, 1995., Chapter 10., dostupno na:
<https://nap.nationalacademies.org/read/4827/chapter/10> (7.08.2023.)

Članci:

1. API IZZI Digital, *Vrste materijala i njihova svojstva*, Profil Klett, 2020., dostupno na:
<https://api.izzi.digital/preview/page/58074> (1.09.2023.)
2. Cosa Steel, *Z275 Galvanizirani čelični svitak*, 2023., dostupno na:
<https://hr.cosasteel.com/prod/z275-galvanized-steel-coil/> (15.10.2023.)
3. Dayalbagh Educational Institute, *Metal Forming Processes*, Lesson 1., 2023., dostupno na:
<http://msvs-dei.vlabs.ac.in/mem103/Unit2lesson1.html> (7.10.2023.)
4. Deutsches Institut für Normung E.V. (DIN), *DIN EN 10346 2015 Edition*, Global IHS, 2015., dostupno na:
https://global.ihs.com/doc_detail.cfm?document_name=DIN%20EN%2010346&item_s_key=00524684 (22.10.2023.)
5. Eurotehnika, *Plazma rezanje*, Zagreb, 2020., dostupno na:
<https://www.eurotehnika.hr/kategorija-proizvoda/rezanje/4-tehnologije-rezanja/plazma-rezanje/> (15.10.2023.)
6. Euro – metali HR, *Limovi*, Zagreb, 2023., dostupno na:
<https://eurometali.hr/hr/article/6/limovi> (15.10.2023.)
7. Gradnja kuće, *Ventilacija i ventilacijski sustav u kući*, 2023., dostupno na:
<https://gradnjakuće.com/ventilacija-ventilacijski-sustav-u-kuci/> (29.08.2023.)
8. Laser Ing, *Limovi i sve što trebate znati o njima*, 2023., dostupno na:
<https://www.laser-ing.hr/blog/limovi-i-sto-trebate-znati-njima/> (15.10.2023.)

9. Roulet, C.-A., *The Role of Ventilation*, Original manuscript of chapter 2 (Role of ventilation), u Ghiaus, C., Alard, F., *Natural ventilation in the Urban Environment edited at Earthscan*, 2012., dostupno na: https://www.researchgate.net/publication/37423823_The_Role_of_Ventilation (29.08.2023.)
10. Smith, T., *Razlika između elastične i plastične deformacije*, strephonsays.com, 2023., dostupno na: <https://hr.strephonsays.com/elastic-and-vs-plastic-deformation-5991> (6.10.2023.)
11. Strojopromet d.o.o., *Pocinčani Limovi, perforirani limovi, dimenzije i težine*, Zagreb, 2011., dostupno na: <https://strojopromet.com/pocincani-limovi-perforirani-limovi-dimenzije-i-tezine/> (15.10.2023.)
12. Topregal, *Sendzimir galvanizing*, 2023., dostupno na: <https://www.topregal.com/en/glossary/sendzimir-galvanizing.html> (7.10.2023.)
13. VVSC.RU, *Upotreba limenih proizvoda za ventilacijske sustave. Ventilacijske cijevi*, 2021., dostupno na: <https://vvsc.ru/hr/use-of-products-from-tin-for-ventilation-systems-pipes-for-ventilation/> (15.10.2023.)
14. VVSC.RU, *Proračun industrijskog ispušnog ventilacijskog sustava. Što je dovodna ventilacija i kako je pravilno opremiti*, 2021., dostupno na: <https://vvsc.ru/hr/calculation-of-industrial-exhaust-ventilation-system-what-is-forced-ventilation-and-how-to-properly-equip-it/> (15.10.2023.)

Projektni priručnik:

1. Bulla, T., Corradini, S., Cappola, M., *HVAC and Ventilation System, Duct Construction Standard*, A8E110376, ALT./MOD.01, FINCANTIERI S.p.A., Settore Progettazione Funzionale MC, Trieste, 2020.

Internetski izvori:

1. Esbusinessclub.com, *Vlastiti bisnis: Proizvodnja ventilacijskih kanala. Tehnologija i oprema za proizvodnju i ugradnju ventilacije*, 2023., dostupno na: <https://hrv.eastdevonbusinessclub.com/tehnologija-proizvodstva-ventiljacii.php> (30.08.2023.)
2. hr.weblogographic.com, *Razlika između pocinčanog čelika i nehrđajućeg čelika*, 2023., dostupno na: <https://hr.weblogographic.com/difference-between-galvanised-steel> (1.09.2023.)

Ostali izvori:

1. Autor – osobna izrada fotografija u radionici, Elberg Nova d.o.o.

POPIS SLIKA

Slika 1 Komponente procesa deformiranja metala, valjanje, savijanje, izvlačenje, kovanje, duboko vučenje	7
Slika 2 Proces izrade ventilacijskog sustava	8
Slika 3 Plastična i elastična deformacija metala	9
Slika 4 Kružna pocinčana standardna debljina (CIRC GALV): Ravni kanal	21
Slika 5 Ventilacijski kanal iz pocinčanog lima	24
Slika 6 Prikaz sučelja u softeru inventor nesting	26
Slika 7 Detalj prikaza sučelja s glavnim karakteristikama	27
Slika 8 Lijevo izbornik s osnovnim vezama između osobina pojedinih dijelova u konstrukcijskom nacrtu	29
Slika 9 Ventilacijski kanal	30
Slika 10 Ugnježđenje segmenata kanala na radnom limu (plazma)	30
Slika 11 Prikaz rubnih nultih točaka i razmak linija rezova (plazma)	31
Slika 12 Prikaz zračne preše	33
Slika 13 Prikaz rada zračne preše	33
Slika 14 Prikaz savijačice lima	34
Slika 15 Konstrukcijski nacrt spojnog elementa	35
Slika 16 Montirana konstrukcija dijela ventilacijskog sustava sa zakrivljenim dijelom	35
Slika 17 metoda spajanja rubova i izoliranja	35
Slika 18 Montirana konstrukcija ventilacijskog odvoda	36

POPIS TABLICA

Tablica 1 Vrste metala: ferometali i obojeni metali.....	4
Tablica 2 Primjena oblikovanih limenih proizvoda – industrije primjene.....	12
Tablica 3 Pocinčani limovi - tablica dimenzija u mm, težine i kemijskog sastava pocinčanih limova.....	14
Tablica 4 Kemijska svojstva lima EN 10346 DX51D+Z 275 MAC Rohs	16
Tablica 5 Materijali - karakteristike i njihova mehanička svojstva.....	17
Tablica 6 Dimenzije ravnog kanala (*Maksimalna duljina “L” od 3 metra).....	22
Tablica 7 Različita vrsta obrade rezultira razlikom u masi.....	32
Tablica 8 Tablica s odnosima radijusa, debljine i sile.....	34
Tablica 9 dimenzije predviđene za izradu spojnog elementa.....	34

SAŽETAK

U ovome radu prikazana je izrada ventilacijskog sustava i njegova usporedba s konkurentim sustavima koji postoje na tržištu. Prikazanim primjerom izrade ventilacijskog sustava će se potvrditi hipoteza kako se usporedbom trenutnih metoda koje se koriste u tvrtki uspješno proizvode proizvodi za ventilaciju. U radu su dana mehanička i kemijska svojstva metala te su objašnjeni tehnološki procesi potrebni za izradu proizvoda. Komentirani su problemi do kojih dolazi u industriji. Dan je prikaz gnježđenja i korojenja lima na strojevima.

Ključne riječi: deformiranje, metalni lim, ventilacijski sustavi, gnježđenje

SUMMARY

This paper presents the creation of a ventilation system and its comparison with competing systems on the market. The presented example of creating a ventilation system will confirm the hypothesis that by comparing the current methods used in the company, products for ventilation are successfully produced. The paper describes the mechanical and chemical properties of metals and explains the technological processes required for the production of products. The problems occurring in the industry are commented on. The nesting and rooting of sheet metal on machines is presented.

Key words: deformation, sheet metal, ventilation systems, nesting