

Optimizacija HVAC proizvoda 14C565A062, razvoj procesa i automatizacija postupka praškastog farbanja

Rakuša, David

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka, Faculty of Engineering / Sveučilište u Rijeci, Tehnički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:190:983218>

Rights / Prava: [Attribution 4.0 International](#) / [Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-20**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Engineering](#)



SVEUČILIŠTE U RIJECI

TEHNIČKI FAKULTET

Sveučilišni prijediplomski studij strojarstva

Završni rad

**OPTIMIZACIJA HVAC PROIZVODA 14C565A062, RAZVOJ
PROCESA I AUTOMATIZACIJA POSTUPKA PRAŠKASTOG
FARBANJA**

Rijeka, rujan 2023.

David Rakuša

0069087574

SVEUČILIŠTE U RIJECI

TEHNIČKI FAKULTET

Sveučilišni prijediplomski studij strojarstva

Završni rad

**OPTIMIZACIJA HVAC PROIZVODA 14C565A062, RAZVOJ
PROCESA I AUTOMATIZACIJA POSTUPKA PRAŠKASTOG
FARBANJA**

Mentor: Prof. dr. sc. Zlatan Car

Rijeka, rujan 2023.

David Rakuša

0069087574

Rijeka, 14. ožujka 2023.

Zavod: **Zavod za automatiku i elektroniku**
Predmet: **Automatizacija**
Grana: **2.11.03 proizvodno strojarstvo**

ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

Pristupnik: **David Rakuša (0069087574)**
Studij: **Sveučilišni prijediplomski studij strojarstva**

Zadatak: **Optimizacija HVAC proizvoda UE 25-35-45KG/H / 14C565A062, razvoj procesa i automatizacija postupka praškastog farbanja**

Opis zadatka:

Optimizacija HVAC proizvoda UE 25-35-45KG/H / 14C565A062, s ciljem razvoja procesa i automatizacije postupka praškastog farbanja, koji će garantirati niže troškove proizvodnje. Razvoj procesa, odabir tehnologije i alata, programiranje u CAM programima TruTOPS i BendCAM, do nivoa flow chat i plana kontrole operacija. Automatizacija postupka praškastog farbanja korištenjem GEMA Automatic Powder Coating opreme i upravljanja. Prilozi: Alpron nacrt 14C565A062_R4.

Rad mora biti napisan prema Uputama za pisanje diplomskih / završnih radova koje su objavljene na mrežnim stranicama studija.



Zadatak uručen pristupniku: 20. ožujka 2023.

Mentor:



Prof. dr. sc. Zlatan Car

Predsjednik povjerenstva za
završni ispit:



Izv. prof. dr. sc. Samir Žic

Izjava

Izjavljujem da sam završni rad pod naslovom „Optimizacija HVAC proizvoda 14C565A062, razvoj procesa i automatizacija postupka praškastog farbanja“ napisao samostalno, koristeći znanja i vještine stečene prilikom studiranja, uz potrebnu literaturu.



David Rakuša

Zahvala

Zahvaljujem se prije svega mentoru prof. dr. sc. Zlatanu Caru i asistentu dr. sc. Nikoli Anđeliću na uloženom vremenu i savjetima koji su mi pomogli prilikom pisanja završnog rada.

Također se zahvaljujem kolegama iz tvtk Alpron, Mauru Štefančiću na ukazanom povjerenju, te Kristijanu Soboti na korisnim savjetima iz prakse.

Na kraju, najveća zahvalnost ide mojim roditeljima, koji su mi omogućili studiranje i neprekidno me podupirali tijekom cjelokupnog obrazovanja.

Sadržaj

1. Uvod	1
2. Elektrostatska polimerizacija (ESP)	2
2.1 Princip rada	3
2.1.1 Priprema materijala	3
2.1.2 Nanošenje praha	4
2.1.3 Polimerizacija (stvrđnjavanje) praha	8
2.2 Prednosti i nedostaci	8
2.2.1 Prednosti	8
2.2.2 Nedostaci.....	9
2.3 Usporedba praškastog i mokrog farbanja	10
3. Optimizacija HVAC proizvoda i tehnološki proces	11
3.1 HVAC proizvod	11
3.2 TruTops (CAM)	13
3.3 Tehnološki proces HVAC proizvoda 14C565A062_R04	20
4. Dijagram toka	27
5. Kontrola operacija	32
5.1 Ulazna kontrola lima	32
5.2 Kontrola probijanja	32
5.3 Kontrola montaže	33
5.4 Kontrola elektrostatskog praškastog farbanja	33
5.5 Kontrola pakiranja	34
6. Automatizacija procesa ESP-a	35
6.1 Uvod u Automatizaciju	35
6.2 Manualna (ručna) oprema	35
6.2 Oprema za automatizaciju procesa ESP-a	39
6.3 Gema E-APP	50
7. Analiza rezultata	51

8. Zaključak	52
9. Literatura	53
10. Popis slika	55
11. Sažetak	57
12. Summary	58

1. Uvod

Rad je napravljen u suradnji s tvrtkom Alpron koja se bavi proizvodnjom metalnih proizvoda i konstrukcija, CNC obradom lima (savijanje i probijanje) i površinskom zaštitom. Tvrtka proizvodi metalne sklopove, dijelove i konstrukcije za unaprijed poznatog kupca, te razvija vlastite proizvode.

Završni rad se može podijeliti u dva dijela od kojih svaki odgovara na jedno od zahtjeva koji se postavljaju:

1. Kako optimizirati proizvod s ciljem poboljšanja procesa?
2. Mogu li se automatizacijom procesa elektrostatskog farbanja postići niži troškovi i koje su prednosti i nedostaci takvog pogona?

U radu je razrađen tehnološki proces proizvoda 14C565A062_R4 od pripreme Computer Aided Design (CAD) modela u *SolidWorks-u* do Computer Aided Manufacturing (CAM) programiranja u programu *TruTops-u*, odabira tehnologije i kontrole operacija.

Također je opisan postupak elektrostatske polimerizacije (ESP), te automatizirani pogon za elektrostatsku polimerizaciju, sa svim komponentama i načinima upravljanja. Pojašnjeni su prednosti i nedostaci automatizacije takvog pogona, te je napravljena usporedba elektrostatske polimerizacije s klasičnim mokrim farbanjem.

Budući da rad pokriva nekoliko tema i to iz područja konstrukcije, tehnologije, proizvodnje i automatizacije proizvodnje, svaki od tih pojmova je detaljno pojašnjen u zasebnim poglavljima. Kako je naglasak rada stavljen na automatizaciju procesa ESP-a, veća pažnja posvećena je analizi procesa i pogonske opreme, dok su ostale teme obrađene korištenjem osnovnih pojmova i pojednostavljuvanjem određenih koraka.

Imena proizvoda su šifrirana zbog zaštite podataka kupca i Alprona.

2. Elektrostatska polimerizacija (ESP)

Zbog utjecaja raznih vanjskih i unutarnjih čimbenika (vlaga, sunčevo zračenje, toplina, vremenski uvjeti, prisutnost nagrizajućih elemenata itd.) svi metalni proizvodi zahtijevaju određeni oblik površinske zaštite. Površinska zaštita služi kako ne bi došlo do gubitaka svojstava materijala, pojave pukotina, korozije, pucanja i sl.

Jedna od metoda površinske zaštite je bojanje (farbanje). Na stijenke materijala nanosi se jedan ili više premaza boje koji služe kao fizička barijera između materijala i vanjskih utjecaja.

Među vrste bojanja ulazi i elektrostatska polimerizacija ili elektrostatsko praškasto farbanje (u daljnjem tekstu ESP). ESP je nastao 60-ih godina u SAD-u, te se sve češće primjenjuje zbog povećane potražnje za ekološki prihvatljivim načinima bojanja i uštedom utrošenih resursa. Karakteristika ovog procesa je upotreba suhog polimernog praha umjesto uobičajenih tekućih boja.

Prah se sastoji od kemijskog pigmenta (koji dolazi u velikom izboru boja) i polimerne smole.

Postoje dvije vrste praškastih premaza. Termoreaktivni premazi kao npr. epoksi (engl. epoxy), epoksi-poliester, uretan poliester (poliuretan), akrilni premazi i termoplastični premazi kao što su polivinil klorid (PVC), poliolefinski, najlon, poliesterski, polivinil fluorid (PVF) premazi. [5]

U termoplastične praškaste nanose ubrajaju se materijali velike molekularne mase koji zahtijevaju visoku temperaturu za njihovo topljenje. Glavna prednost im je stvaranje finije površine i ušteda energije potrebne za zagrijavanje. Mogu se više puta taliti i stvrdnjavati. [5]

Termoreaktivni (duromerni) praškasti nanosi također se tale na visokoj temperaturi, no ponovnim zagrijavanjem nakon ohlađivanja, više se ne vraćaju u rastaljeno stanje. Prednost im je ostvarenje odličnih adhezijskih veza za metale i otpornost na kemikalije. [5]

Kako bi se poboljšala svojstva praha poput trajnosti, bolje i brže topljivosti, otpornosti, gubljenja boje tijekom vremena itd., u prah se dodaju razni aditivi. Neki od aditiva su: sredstva za stvrdnjavanje, odmašćivači, vosak, sredstva za poboljšanje protoka, lubrikacija, stabilizatori itd.

2.1 Princip rada

Dvije metode primjene ESP-a su uranjanje dijelova u elektrostatični fluidizirani prah i naprašivanje po principu elektrostatike.

Za potrebe rada fokus je stavljen na proizvodni program tvrtke Alpron, gdje se prah nanosi naprašivanjem u komori (ujedno i najčešća metoda nanošenja praha), stoga je u radu opisan takav način nanošenja praha.

Proces se sastoji od tri koraka:

- priprema materijala,
- nanošenje praha u komori i
- polimerizacija (stvrđavanje) u peći.

Cijeli proces od pripreme materijala do komore (kabine) za nanošenje praha, te završno do peći za stvrđavanje, pozicije proizvoda najčešće prolaze pomoću pokretne trake (konvejera).

2.1.1 Priprema materijala

Pod pripremom materijala smatra se čišćenje površine od bilo kakvih čestica prašine, masti i prljavštine, koji bi otežali vezanje praha za materijal. Mehanički oštećene (izgrebane) dijelove je potrebno prethodno ispolirati. Priprema se obavlja kemijskim ili mehaničkim putem. Pod mehaničku pripremu spadaju postupci kao što su pjeskarenje i sačmarenje. Rezultat pjeskarenja su kvalitetniji nanosi praha na dijelove. Kemijska priprema pokriva postupke odmaščivanja i fosfatiranja. Fosfatiranje spada u kemijske metode i podrazumijeva uranjanje dijelova u kemijsku otopinu fosfata (Fe-fosfat ili Zn-fosfat). Metoda koja se smatra najjednostavnijom i obično se izvodi nakon mehaničke ili kemijske pripreme je ispiranje dijelova vodom. Nakon ispiranja vodom važno je da je površina potpuno suha, kako bi se spriječila oksidacija. Ako pozicija ima teško dostupne značajke potrebno je obratiti posebnu pažnju na njih.

2.1.2 Nanošenje praha

Za naprašivanje u komori potrebno je osigurati spremnik praha, pištolj za nanošenje praha s visokonaponskom elektrodom, komoru za naprašivanje i peć za stvrđivanje praha.

Slika 2.1. prikazuje primjer nanošenja praha, na pozicije, u komori.



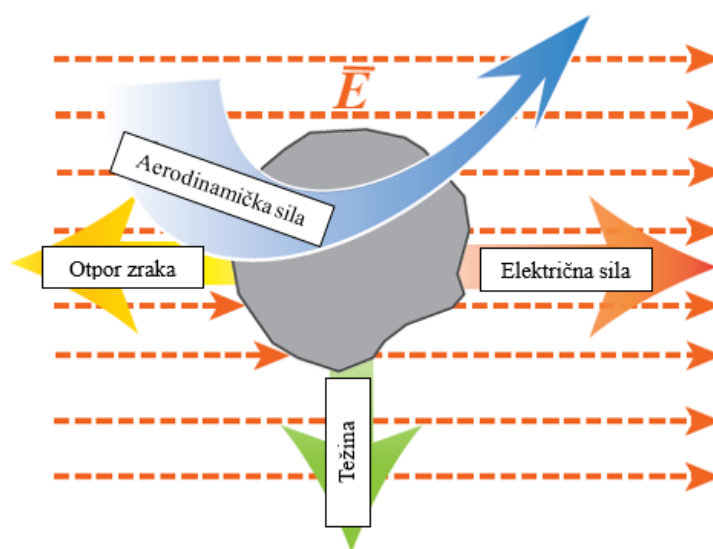
Slika 2.1. Nanošenje praha u komori

Uslijed visokog napona oko elektrode pištolja za izbacivanje praha, dolazi do stvaranja jakog električnog polja. U zraku se uvijek nalaze slobodni elektroni, koji se uslijed djelovanja električnog polja počinju ubrzavati i sudarati s molekulama zraka. Tim sudaranjem dolazi do razdvajanja molekule zraka i formiranja dva elektrona i jednog pozitivnog iona, koji se gibaju u suprotnim smjerovima (negativni elektroni prema površini materijala, a pozitivni ioni prema negativnoj elektrodi) i dalje razdvajaju molekule zraka. Ovaj proces nazvan je *corona* pražnjenje i dovodi do stvaranja milijuna slobodnih elektrona i pozitivnih iona u vrlo kratkom vremenu.

Prah, iz spremnika, ulazi pneumatskim putem u pištolj („*corona gun*“), gdje se čestice praha raspršuju prema materijalu (poziciji). Čestice praha prolaze kroz snažno električno polje s velikom koncentracijom slobodnih elektrona (iona) koji prenose naboj na čestice praha. Iznimno

je važno da je materijal, koji se farba, uzemljen iz razloga što se električno polje generira uslijed razlike potencijala (visoki napon od 100 kV na elektrodi i uzemljeni materijal s naponom 0 V) i time omogućuje zadržavanje praha na materijalu.

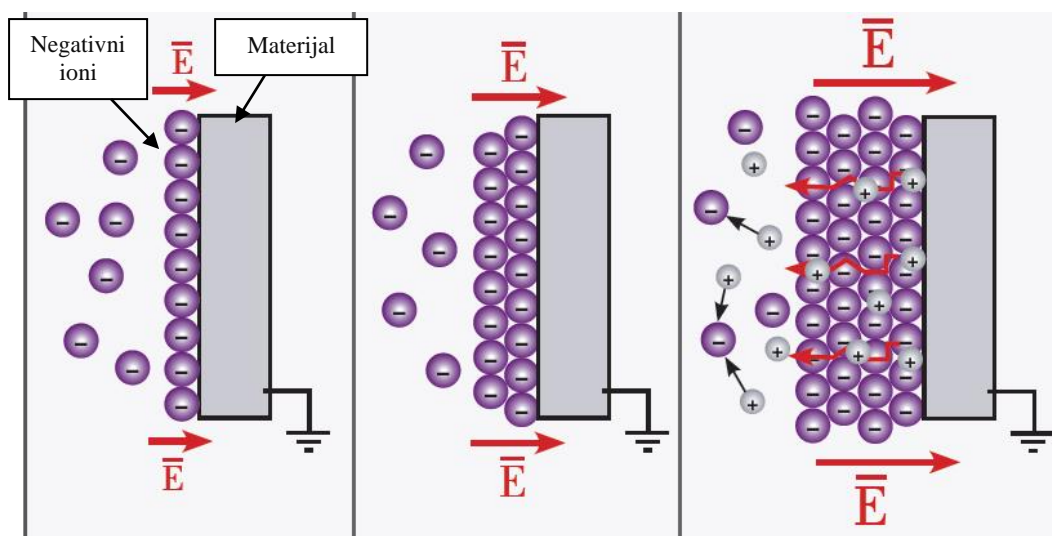
Slika 2.2. prikazuje sile koje djeluju na pojedinačnu česticu nabijenog praha:



Slika 2.2. Sile na česticu praha [7]

Jedina sila koja gura česticu praha prema uzemljenom materijalu je električna sila (E). U slučaju da čestica nije nabijena ili snaga električnog polja nije dovoljna, čestica će se odbiti od površine materijala i pasti uslijed djelovanja gravitacijske sile ili jačine strujanja zraka, koji nadvladavaju silu električnog polja. Ako je električna sila dovoljno jaka, čestica uspijeva ostvariti kontakt s metalnom površinom materijala (pozicije), te će inducirati naboj jednake vrijednosti ali suprotnog polariteta unutar metala. Rezultat je stvaranje novog električnog polja između čestice praha i metalne površine. Važno je napomenuti kako takvo električno polje raste s povećanjem čestice praha. [7]

Pojam koji je važno objasniti je efekt povratne ionizacije (engl. *back ionization*), prikazan na slici 2.3.

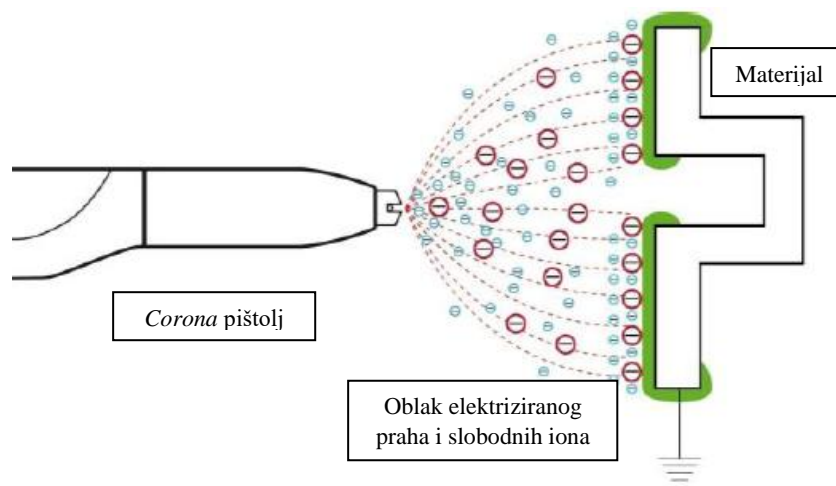


Slika 2.3. Efekt povratne ionizacije [7]

Budući da samo dio slobodnih iona nabijaju česticu praha, ostatak je privučen prema uzemljenoj površini materijala. Povećavanjem slojeva praha dolazi do nakupljanja čestica praha pri čemu molekule zraka ostaju zarobljene ispod slojeva čestica praha. Svakom novom česticom električno polje se povećava te dolazi do ionizacije zarobljenog zraka na isti način na koji se ionizacija zraka ostvaruje oko elektrode. Drugim riječima, zaostali elektroni u zraku ubrzavaju u električnom polju, razdvajaju molekule zraka i stvaraju velike količine negativnih elektrona i pozitivnih iona. Negativni elektroni gibaju se prema uzemljenoj površini materijala dok se pozitivni ioni gibaju u suprotnom smjeru prema negativnoj elektrodi pištolja pri čemu se probijaju kroz slojeve čestica praha. Posljedica ovog efekta je pojava efekta „narančine kore“ (engl. *orange peel*) o kojem će više riječi biti kasnije. [7]

Još jedan čest problem je pojava efekta Faradayevog kaveza (područje bez električnog potencijala), koji se javlja prilikom nanošenja praha na dijelove koji sadrže utore, kanale ili okomite rubove.

Na slici 2.4. je vidljiv prikaz pojave efekta Faradayevog kaveza.



Slika 2.4. Efekt Faradayevog kaveza [19]

Razlog nastajanja ovog efekta je taj što električno polje, do uzemljenja, slijedi putanju najmanjeg otpora i koncentrira se na rubovima ranije spomenutih kanala i utora. Time je količina praha i njegovo prianjanje na površinu materijala poboljšano na tim lokacijama. Negativni rezultati su smanjenje količine čestica praha koji prodiru duboko u kanale i utore, te povećanje količine slobodnih iona na rubovima što dovodi do, kako je ranije objašnjeno, povratne ionizacije. Kod vrlo uskih kanala povratna ionizacija se stvara vrlo brzo što rezultira pozitivnim ionima koji smanjuju naboj čestica praha i onemogućuju prianjanje na površinu. Iz tog razloga se određeni kanali ne mogu obraditi bez obzira koliko dugo nanosili prah.

Jedno od rješenja je smanjenje napona što rezultira smanjenjem električnog polja i smanjenjem jačine struje (Ohmov zakon), a jačina struje direktno utječe na količinu oslobođenih slobodnih iona.[8] Ostala rješenja su povećanje protoka zraka kroz pištolj, stvaranje većeg razmaka između pištolja i površine materijala (česta greška operatera je približavanje pištolja izradku) ili korištenje specijalnog nastavka za sakupljanje slobodnih iona na pištolju. Sakupljač pozitivnih iona sadrži uzemljenu elektrodu iza visokonaponske elektrode. Kako je uzemljena elektroda bliža visokonaponskoj nego površina materijala, električno polje slijedi najkraći put do uzemljenja. Rezultat je slabije električno polje oko površine materijala, te oslabljeni utjecaj visokog napona. Ako su čestice praha dobro nabijene prijelaz do materijala će biti omogućen i prodiranje u kanale bit će poboljšano. Mana uporabe sakupljača iona je smanjena efektivna udaljenost pištolja od izradka.

2.1.3 Polimerizacija (stvrđnjavanje) praha

Zadnji korak je stvrđnjavanje („pečenje“) materijala u posebno konstruiranoj peći gdje dolazi do stvrđnjavanja praha i polimerizacije (stvaranja polimernog sloja na metalnoj površini). Prah se zagrijava i tali na temperaturi između 160 i 210°C do 30 minuta. Važno je naglasiti da temperatura i vrijeme zagrijavanja praha ovise ponajviše o tipu i svojstvima praha koji se koristi tj. o danim uputama od strane proizvođača, te o veličini površine komada koji se tretira prahom. Iz tog su razloga vrijednosti različite za svako poduzeće koje koristi ESP postupak. U tvrtki Alpron ove vrijednosti iznose 4 do 20 minuta na temperaturi od 190°C.

2.2 Prednosti i nedostaci

U nastavku je dan pregled glavnih prednosti i nedostataka korištenja ESP-a. Napravljena je usporedba dva postupka: praškasto i konvencionalno mokro farbanje.

2.2.1 Prednosti

Prva prednost ESP-a tiče se nanosa (sloja) praha. Nanos praha dugotrajan je i vrlo otporan na grebanje, koroziju i abraziju. Ističe se i visoka otpornost na udarce, utjecaje kemijskih sredstava, te djelovanja sunčevog zračenja (UV zraka) i ostalih vremenskih uvjeta.

Sam proces ne sadrži štetne spojeve niti ispušta opasne kancerogene plinove, što znači da nema potrebe za sustavom za filtriranje i ispušni zrak iz peći se može slobodno vratiti nazad u pogon.[5] Nema potrebe za grijanjem ili hlađenjem pogona. Također prah ne kapa niti curi. Sam proces je čist te nema potrebe za čestim čišćenjem i provjetravanjem pogona. Prah se nanosi najčešće u jednom premazu.

Može se reći da je, s aspekta ekologije, proces ESP-a vrlo prihvatljiv. Gotovo da ni nema otpadnog praha jer se sav neiskorišteni prah skuplja na dnu komore za polimerizaciju i ponovno iskorištava u sustavu. Iskoristivost praha je do 90%, stoga pruža velike mogućnosti za reciklažu i povećanu iskoristivost procesa. Prah ne sadrži otapala stoga proces ispušta zanemarive količine hlapljivih organskih spojeva u atmosferu (za razliku od štetnih kemikalija korištenih pri mokrom

farbanju. Također nema tragova mikroplastika (BPA i ftalati) što zbrinjavanje otpada čini sigurnijim. [4]

Za rad u pogonu za ESP nisu potrebni visokoškolorani radnici, tj. potrebna je minimalna obuka i nadzor, pogotovo u slučaju automatiziranog pogona o čemu će biti riječi u kasnijem poglavlju.

2.2.2 Nedostaci

Nedostaci procesa ESP-a očituju se kod nanošenja tanjih nanosa praha na površinu.[5] Naime, teško je postići glatku površinu prilikom tanjih nanosa praha, prilikom čega nastaje neravna, vizualno gruba površina. Taj efekt nazvan je „narančina kora“ (eng. *orange peel*) zbog površine pune rupica koja vizualno podsjeća površini kore naranče.

Slika 2.5. prikazuje usporedbu efekta narančine kore i željene glatke površine.



Slika 2.5. Usporedba glatke površine i narančine kore [20]

Efekt „narančine kore“ čest je problem povezan i s praškastim i s mokrim farbanjem. Nastala površina narušava estetiku tretiranog komada. Jedan od razloga za njegovo nastajanje je krivo podešena oprema (prenizak tlak ili kriva mlaznica). Također nastaje zbog nepravilnog rukovanja opremom (nanošenje praha pod kutem, položaj pištolja na prevelikoj udaljenosti od površine, te pretanki ili predebeli nanos praha. Drugi mogući razlog pojave „narančine kore“ je nepažljivo apliciranje abrazivnih metoda pripreme površine. Uz navedene razloge važno je i pripaziti na vrijeme, koje dijelovi s nanosenim prahom, provedu u peći za polimerizaciju. Požurivanje faze

pečenja, također dovodi do pojave efekta „narančine kore“. Analizirajući sve nabrojane faktore sa sigurnošću se može reći da je efekt „narančine kore“ najčešće ljudska greška i ovisi najviše o znanju i iskustvu operatera koji je zadužen za postupak.[6] Ostali faktori koji imaju važnu ulogu su veličina čestice praha, prema iskustvu iz prakse, idealno između 10 i 75 mikrometara [μm], stabilnost praha i svojstva smole.

Glavni nedostatak postupka ESP-a ipak je njegova cijena tj., traže se visoka početna ulaganja i isplativost se očituje tek kod korištenja u srednjim i velikim serijama kroz dulji vremenski period, dok je kod manjih serija upitna isplativost ovakvog postupka. Stoga se kod manjih količina koriste drugi postupci poput klasičnog mokrog farbanja.

Ostali nedostaci uključuju teško postizanje jednolikih nanosa, osjetljivost na vanjske klimatske uvjete (opasnost od zapaljenja i eksplozije u zatvorenom prostoru), mogućnost kontaminacije praha što rezultira površinskim nepravilnostima nanosa i zahtjev za korištenjem materijala otpornih na visoke temperature. [5]

2.3 Usporedba praškastog i mokrog farbanja

Elektrostatsko praškasto farbanje uvelike se razlikuje od mokrog farbanja. I jedan i drugi postupak imaju različitu primjenu, te svoje prednosti i nedostatke. U ovom poglavlju napravljena

Uz navedene ekološke prednosti praškastog nad mokrim farbanjem potrebno je istaknuti bolja mehanička svojstva. Nanos praha izdržljiviji je i dugotrajniji od nanosa boje, otporniji je na udarce i elastičniji (npr. kod gibanja opruge). Prah je otporniji na UV zračenje.

Pogreške tijekom procesa ESP-a vrlo je jednostavno ispraviti. Ako prah nije prošao fazu stvrdnjavanja u peći, moguće ga je ispuhati kompresorom i ponoviti postupak nanošenja praha na proizvod. Kod mokrog farbanja to nije slučaj, te je proces ispravljanja greške dugotrajniji uz vidljive tragove ispravljanja.

Iako zahtijeva visoka početna ulaganja, ESP generira manje pogonske troškove i manje troškove održavanja u usporedbi s mokrim farbanjem. Troškovi materijala su niži za ESP jer je iskoristivost praha preko 90%, dok je iskoristivost kod mokrog farbanja tek 60%.[4]

Prilikom izrade kalkulacija u praksi, za isti proizvod i isti nanos po metru kvadratnom, ESP najčešće ispada kao jeftinija varijanta od mokrog farbanja.

3. Optimizacija HVAC proizvoda i tehnološki proces

Gotovo da je nemoguće zamisliti fazu razvoja i konstrukcije bez pomoći jednog od mnogih programa za računalno modeliranje. CAD programi nude olakšanu mogućnost vizualiziranja konstrukcije, brze i lake izmjene, lako kreiranje tehničke dokumentacije na osnovu 3D modela.

Za potrebe završnog rada modeliranje je izvršeno korištenjem CAD programa *SolidWorks*.

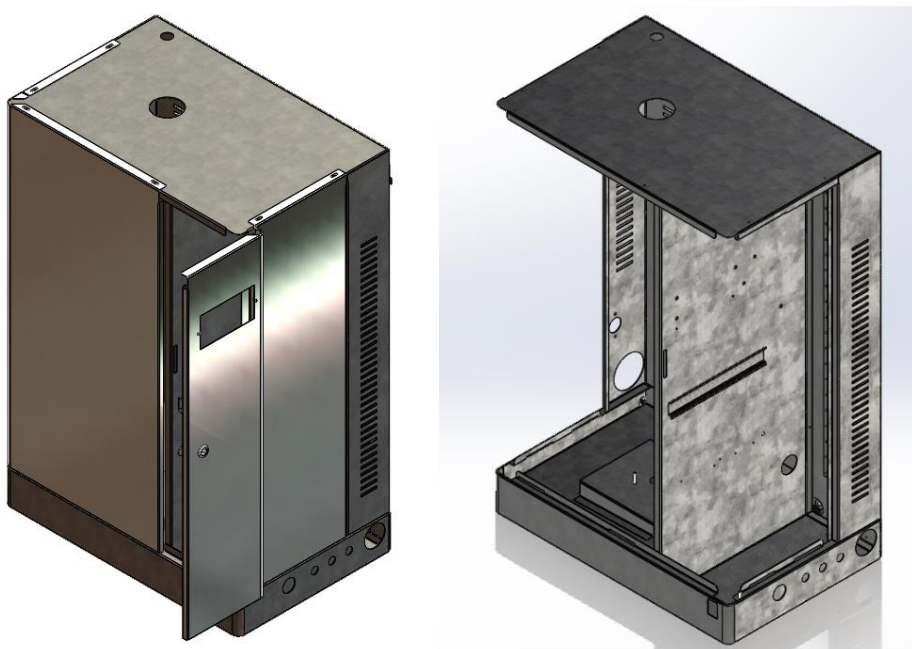
Važno svojstvo programa *SolidWorks* je modul *Sheet Metal*, koji omogućuje modeliranje proizvoda od metalnih limova, od kojih je izrađen HVAC proizvod. na način objašnjen u nastavku poglavlja.

3.1 HVAC proizvod

Svaki model proizvoda, u tvrtki Alpron, dostavljen je od strane naručitelja u *STEP* formatu. Najprije je potrebno napraviti određene preinake kako bi model bio prilagođen za proizvodnju. Preinake uključuju izmjenu radijusa savijanja prema dostupnim alatima na CNC stroju za savijanje (primjeri standardnih radijusa savijanja u tvrtki Alpron su R 0,8, 1, 1,2, 1,5, 2, 2,5, 3, 4 mm). Također određeni oblici i otvori na modelu prilagođavaju se prema alatima kojima će se vršiti probijanje (npr. promjer $\varnothing 7.3$ mm se prepravlja na $\varnothing 7$ mm zbog kružnog alata istih dimenzija, itd.). Prilikom faze prilagodbe važna je komunikacija s naručiteljem odnosno konstruktorom, kako funkcija proizvoda ne bi bila narušena. Nakon pripreme modela sve pozicije je potrebno spremite u *IGES* formatu u razvijenom (engl. *Flat Pattern*) obliku tj. bez savijanja, te su kao takve spremne za CAM programiranje.

Proizvod 14C565A062_R04 predstavlja kućište koje se koristi u HVAC (engl. *Heating Ventilation and Air Conditioning*) industriji.

Na slici 3.1. prikazan je cjelokupan sklop 14C565A062_R04 u izometriji:



Slika 3.1. HVAC proizvod s vratima i bočnim stranicama (lijevo) i bez (desno)

Sve pozicije u sklopu napravljene su od običnog niskougličnog čeličnog lima oznake FE/EG ili St37 (S235JR po DIN normi) debljine 1,2 mm. Riječ je elektro-galvaniziranom (EG) niskougličnom čeliku (manje od 0,2% ugljika). Galvanizacija označava površinsku obradu sloja cinka na površini metala radi prevencije hrđe. Vlačna čvrstoća ovog čelika iznosi oko 380 MPa.[2] Jedino su pozicije koje predstavljaju bočne (P-07), prednje stranice (P-08) i vrata kućišta (P-09), koje su na slici označeni svijetlo sivom bojom, napravljeni od istog čeličnog lima FE/EG, ali debljine 0,8 mm, te nosač na poleđini kućišta koji je napravljen od lima debljine 2 mm.

HVAC kućište proizvodi se u suradnji s naručiteljem kroz dulji period, te se pojavila ideja moguće uštede prilikom proizvodnje. Odlučeno je da će se promijeniti tehnologija na pozicijama na kojima je to moguće kako funkcija sklopa ne bi bila promijenjena.

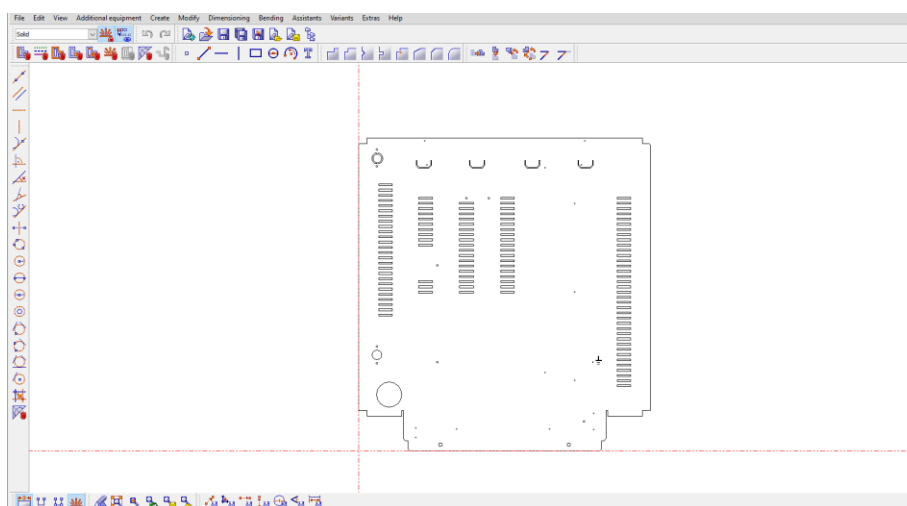
3.2 *TruTops* (CAM)

Kako je nemoguće zamisliti fazu razvoja bez CAD-a, tako je danas nemoguće zamisliti ozbiljnu proizvodnju bez CAM-a. Računalno programiranje CNC strojeva nudi niz prednosti u odnosu na klasično programiranje, kao što su brzina, točnost, preciznost i lakše ispravljanje pogrešaka. Također nisu potrebna specifična znanja kao kod klasičnog programiranja.

TruTops software, razvijen od strane tvrtke Trumpf CO. jedan je od mnogih CAM alata na tržištu. Dolazi kao programska podrška uz CNC strojeve za probijanje tvrtke Trumpf. Programiranje se sastoji od rada u 3 modula unutar samog programa, a to su: *Nesting*, *CAD* i *Punch*.

CAD modul omogućuje učitavanje geometrije, dodjelu svojstava (naziv, datum kreiranja, debljina i tip materijala), crtanje 2D oblika iznova ili popravljjanje postojećih 2D modela, Često je brže i jednostavnije napraviti izmjenu u *CAD* modulu nego iste izmjene izvršiti u *SolidWorks-u* i model otvarati ponovno u *TruTopsu-u*. Ulazni format za *CAD* modul je *IGES*, a izlazni *GEO*.

Na slici 3.2. je prikaz pripreme pozicije P-02-A nakon spremanja u *GEO* formatu.



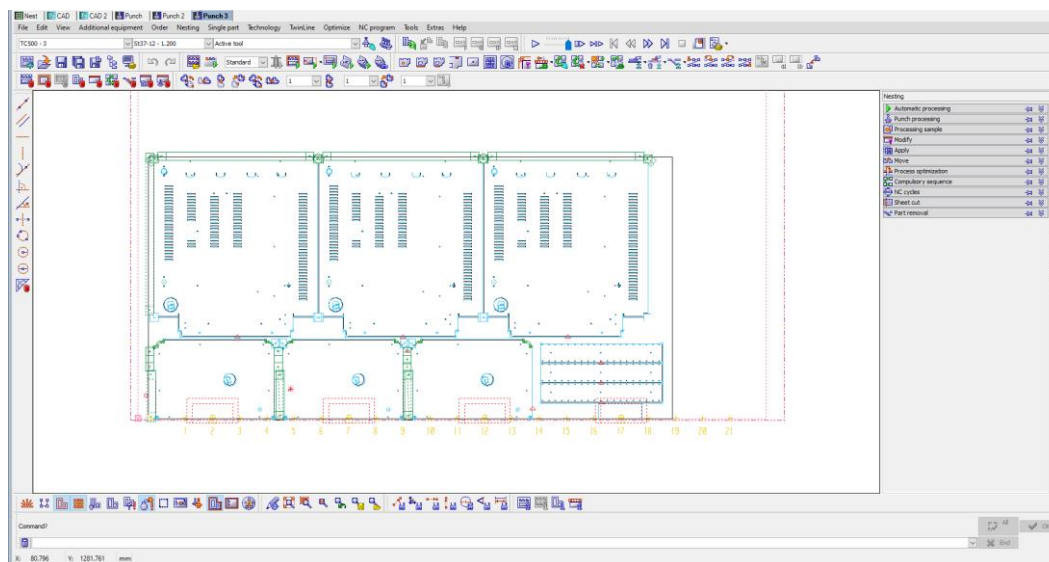
Slika 3.2. Priprema modela u CAD modulu

Poziciji su dodani naziv, materijal i debljina lima. Provjereno je odgovaraju li sve dimenzije modelu.

Nesting modul služi za pozicioniranje više izradaka na zajedničkoj ploči lima. Postupak se sastoji od učitavanja pozicija u *GEO* formatu i unošenja broja pozicija. Dalje računalo organizira pozicije po optimalnom rasporedu tj, s najmanjim otpadom materijala („škartom“). Raspored pozicija je moguće naknadno ručno mijenjati u *Punching* modulu. Datoteke kreirane Nesting modulom imaju nastavak *JOB*.

Punch modul koristi se za postavljanje i orijentiranje geometrijskog komada na željeni format, postavljanje tehnologije na konture izradka, programiranje putanje (redosljed) alata, repozicije, simulaciju probijanja, namještanje brzine okretaja i ostalih parametara, te za generiranje NC koda i radne liste. Kreirane datoteke imaju nastavak *TMT*.

Slika 3.3. prikazuje pozicioniranje izradaka na ploči lima i apliciranje tehnologije.



Slika 3.3. Apliciranje tehnologije u Punch modulu

Na slici je vidljiv raspored pozicija u setu. Plave konture označuju apliciranu tehnologiju. Redosljed probijanja je takav da stroj uzima alat, probije sve pozicije s tim alatom, a zatim uzima drugi alat i ponavlja postupak. Na kraju stroj uzima rezni alat (najčešće pravokutni) i gotove pozicije se odvajaju od ploče lima.

Važno je pojasniti i pojam *Multitool* alata prikazanog na slici 3.4.



Slika 3.4. Izgled Multitool alata [3]

Svaki CNC stroj za probijanje ima ograničen broj mjesta za alate na alatnoj letvi. Često se događa da, prilikom probijanja složenijih pozicija ili setova kao što je ranije navedeni, broj mjesta na alatnoj letvi bude popunjen. U takvim slučajevima vrlo je koristan specijalni *Multitool* alat, koji omogućuje korištenje više alata u adaptere po pet, šest ili deset alata. Pritom cijeli adapter zauzima samo jedno mjesto na alatnoj letvi. Najveći nedostatak je visoka cijena u odnosu na druge alate, te vrijeme slaganja alata u *Multitool* adapter. Također je potrebno uzeti u obzir da u *Multitool* adapter ne ulaze svi unaprijed dostupni alati već njihove skuplje izvedbe, napravljene posebno za *Multitool*, stoga je potrebno imati u vidu i njihovu nabavu.

KnockOut alat također pripada skupini specijalnih alata i njegovo djelovanje prikazano je na slici 3.5.

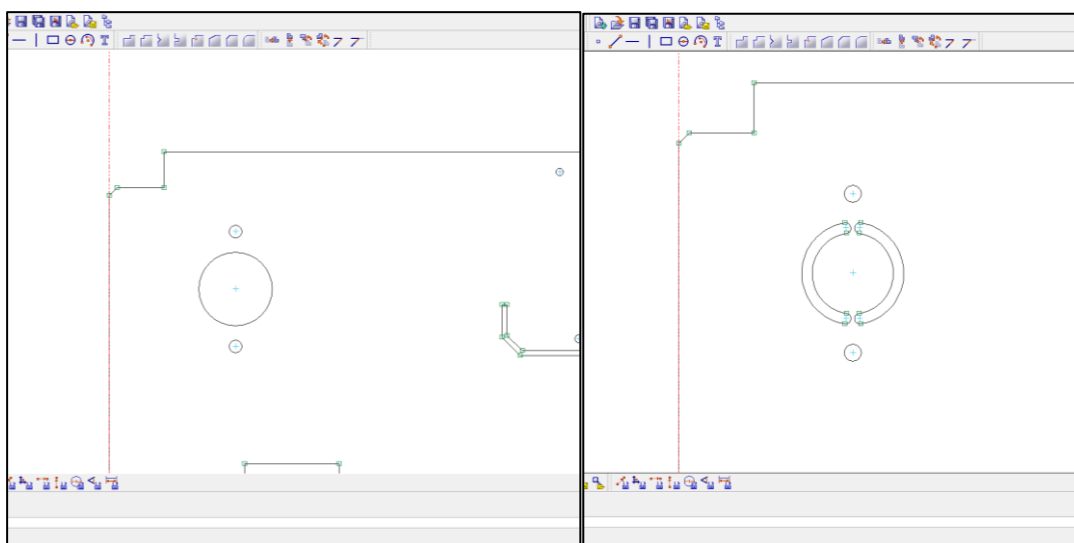


Slika 3.5. Prikaz konture obrađene KnockOut alatom [3]

KnockOut alat ne probija lim do kraja već se lim nastavlja držati na vrlo tankoj stijenci, te se kasnije može i ne mora vrlo lako ukloniti.

Specijalni alati koriste se u samo rijetko potrebnim (nužnim) slučajevima. Zbog cijene njihove dobavljalivosti, njihova upotreba se nastoji izbjeći kao što je prikazano na sljedećem primjeru.

Na slici 3.6. je prikazana izmjena geometrije u programu *TruTops*.



Slika 3.6. Usporedba prije (lijevo) i poslije (desno) promjene geometrije

Nabavna cijena alata $\emptyset 3$ (engl. *Round 3*) iznosi 33 eura, dok nabavna cijena *KnockOut 29* (promjer alata $\emptyset 29$) alata iznosi oko 1000 eura. Stoga je moguće prepraviti promjer $\emptyset 29$ na bočnom dijelu kućišta, koji bi se obrađivao specijalnim *KnockOut* alatom, na oblik prikazan slikom 3.6. pomoću alata $\emptyset 3$. Kako se radi o jednostavnom slučaju, izmjena je odrađena u *CAD* modulu programa *TruTops* umjesto u *SolidWorks-u*. Umjesto jednog udarca *KnockOut* alatom napravljena je geometrija gdje je korišteno više uzastopnih udaraca alata $\emptyset 3$. Kako se taj alat već koristi drugdje u programu nema potrebe za korištenjem *Multitool-a*. Time je pojednostavljeno slaganje alata za probijanje, te je izbjegnuto *Multitool* i *KnockOut* alat. Smanjen je broj alata dok je sačuvana funkcionalnost sklopa. Ova izmjena pogodna je i za ESP farbanje jer je smanjen efekt Faradayevog kaveza, tj. nema okomitih rubova konture.

Na slici 3.7. je prikazan primjer programa, te razlike u duljini trajanja probijanja i broja alata.

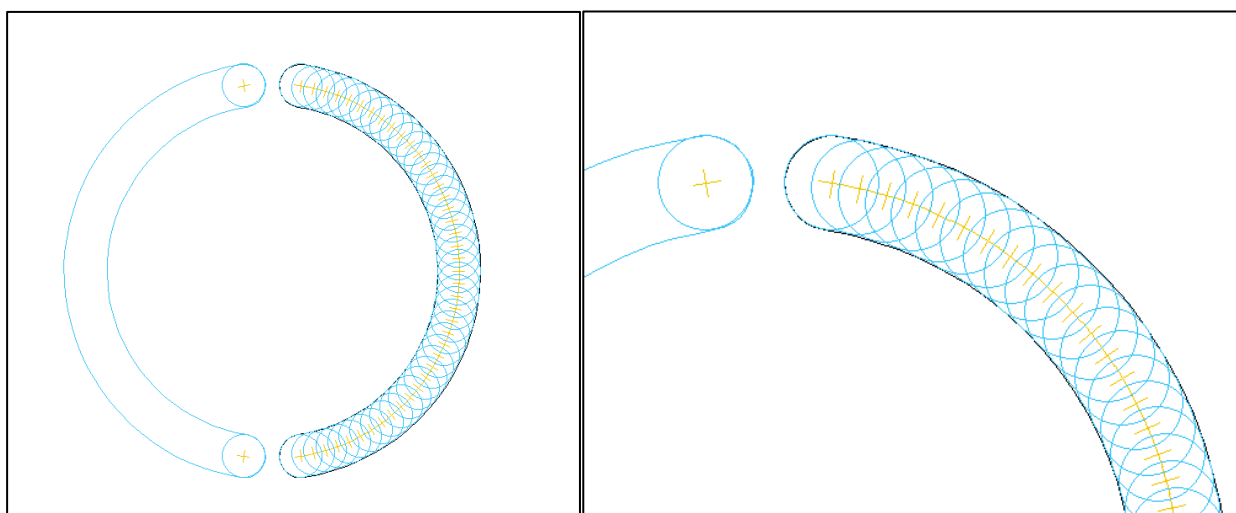
TRUMPF SET-UP SCHEDULE GENERAL DATA		DAVID RAKUSA 10.05.2023 TruTops Punch V15.03.00	
MACHINE:	TCS500 - TYPE: 3 (3000.0 x 1600.0 mm)	MACHINE:	TCS500 - TYPE: 3 (3000.0 x 1600.0 mm)
CONTROL:	Bo CC 220 VARIANT: 1	CONTROL:	Bo CC 220 VARIANT: 1
COMPANY:	CAREL	COMPANY:	CAREL
JOB NAME:		JOB NAME:	
NC PROGRAM PATH:	/ CADCAM/ CAREL_586/ RFQ_16-02-2016_P-16-0077/ 05-PROIZVODNJA-TEHNOLOGIJA/ 02-TRUMPF-TOPS/ 14C565A062-02-SET_R4_X3.LST	NC PROGRAM PATH:	/ CADCAM/ CAREL_586/ RFQ_16-02-2016_P-16-0077/ 05-PROIZVODNJA-TEHNOLOGIJA/ 02-TRUMPF-TOPS/ 14C565A062-02-SET_X3.LST
PROGRAM NAME:	620204 (14C565A062-02-SET_R4_X3)	PROGRAM NAME:	620203 (14C565A062-02-SET_X3)
MATERIAL ID:	5t37-12 (1.0038)	MATERIAL ID:	5t37-12 (1.0038)
Stock ID:	ST370120----2500x1250	Stock ID:	ST370120----2500x1250
BLANK:	2500 x 1250 x 1.2 mm	BLANK:	2500 x 1250 x 1.2 mm
WEIGHT:	29.44 kg	WEIGHT:	29.44 kg
MACHINING TIME:	0 : 14 : 09 [h:min:s]	MACHINING TIME:	0 : 13 : 34 [h:min:s]
STORAGE REQUIREMENT:	25545 CHARACTERS	STORAGE REQUIREMENT:	25473 CHARACTERS
LASER TOTAL CUTTING LENGTH:	0.000 mm	LASER TOTAL CUTTING LENGTH:	0.000 mm
NUMBER OF PROGRAMME RUNS:	1	NUMBER OF PROGRAMME RUNS:	1
SCRAP:	16.81 %	SCRAP:	16.85 %

Slika 3.7. Usporedba programa prije (lijevo) i poslije (desno) izmjene konture

Rezultat je program čije je vrijeme izvođenja dulje za 30 sekundi, no vrijeme pripreme alata je kraće i korišteni su jeftiniji alati koje je lakše nadomjestiti u slučaju loma alata.

Prilikom odabira alata cijena nije jedini faktor. Ø3 alat iako je višestruko jeftiniji u odnosu na *KnockOut*, ima određene značajke koje je važno uzeti u obzir prilikom korištenja.

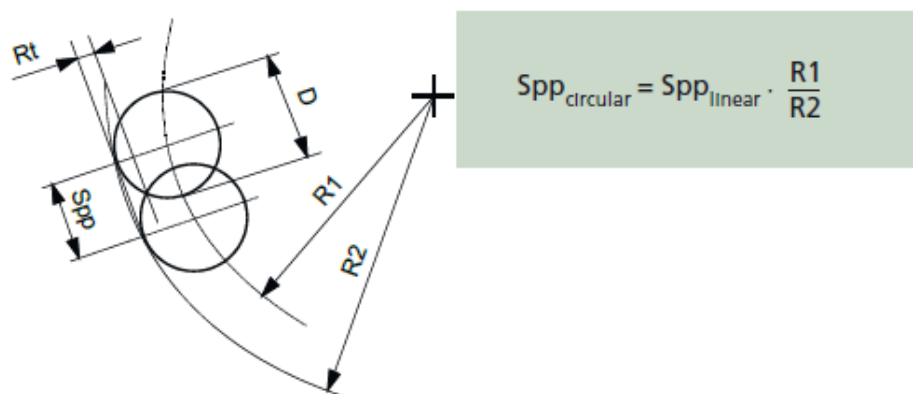
Na slici 3.8. vidi se prikaz svih udaraca alatom Ø3.



Slika 3.8. Prikaz broja udaraca alatom Ø3

Prva karakteristika očituje se u kvaliteti obrađene površine prikazana na slici 3.8. Zadanu konturu moguće je napraviti samo uzastopnim udarcima kružnim alatom pri čemu kvaliteta obrađene površine direktno ovisi o razmaku između udaraca kao što je prikazano na slici 3.9.

Slika 3.9. prikazuje utjecaj veličine pomaka na kvalitetu površine izradka.



Slika 3.9. Izračun kružnog pomaka alata [3]

Pri čemu je:

$S_{ppcircular}$ – kružni pomak [mm/udarcu],

$S_{pplinear}$ – linearni pomak [mm/udarcu],

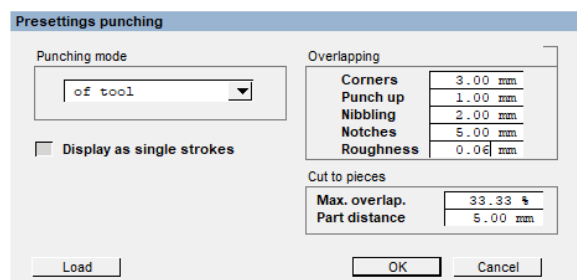
R_t – visina srha [mm],

D – promjer probijača (alata) [mm],

R_1 – radijus putanje centra udarca alata [mm] i

R_2 – radijus konture izradka [mm].

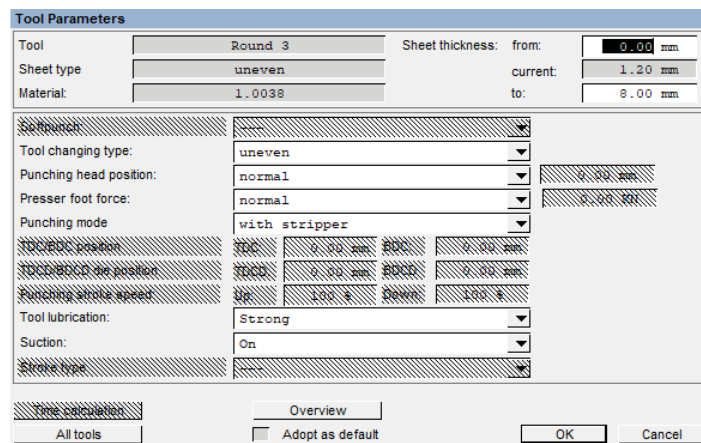
Na slici 3.10. prikazano je postavljanje željene hrapavosti površine u *TruTopsu*.



Slika 3.10. Postavljanje parametara hrapavosti površine

Podešavanjem parametara alata u *TruTops-u* dobije se željena kvaliteta obrađene površine. U ovom slučaju visina svakog srha zaostalog nakon dva udarca R_t postavljena je na vrijednost 0,06 mm (slika 3.10.). Srh će biti uklonjen naknadnom operacijom brušenja nakon probijanja.

Na slici 3.11. je prikazano postavljanje parametara alata u *TruTops-u*.



Slika 3.11. Postavljanje parametara alata

Druga posljedica promjene geometrije je broj udaraca alata. *KnockOut* alat oblik prije izmjene probija u jednom udarcu dok alat $\varnothing 3$ novi oblik probija u 86 udaraca (43 za svaki „kanal“). Povećanjem broja udaraca povećava se istrošenost alata. Daljnjim podešavanjem parametara alata postavljena je jača lubrikacija i korištenje tzv. *Presser foot* načina rada prilikom čega se dio

glave probijača zvan odvajač (engl. *stripper*) prije udarca spušta i pridržava lim. Time je postignuto manje opterećenje alata i smanjena istrošenost.

Zadnji korak kod programiranja je postavljanje redoslijeda po kojem će se koristiti alati, te simulacija putanje alata. Simulacijom putanje alata je moguće utvrditi točnost programa prije lansiranja u proizvodnju. Ako je utvrđeno da je simulacija uspješna, slijedi spremanje programa i prijenos NC koda na „mrežu“ odakle će programu biti pristupljeno s CNC stroja na kojemu će se vršiti probijanje.

3.3 Tehnološki proces HVAC proizvoda 14C565A062_R04

Prije opisa tehnološkog procesa, važno je pojasniti osnovne pojmove vezane uz proizvodnju.

Tehnološki proces predstavlja dio proizvodnog procesa i to onaj koji je direktno vezan za promjenu oblika, dimenzija, stanja površine i svojstva materijala od ulaznog materijala do gotovog proizvoda. Uključuje sve aktivnosti koje rezultiraju kvalitativnim promjenama pri pretvaranju ulaznog materijala u gotov proizvod. [1]

Operacija obuhvaća skup poslova vezanih za izradu određenog proizvoda, koji se obavljaju u kontinuitetu, na jednom radnom mjestu pod nadzorom radnika, grupe radnika ili upravljačke jedinice stroja. [1]

U nastavku je prikazan cjelokupni tehnološki proces za proizvod 14C565A062_R04.

Prva operacija je rezanje limova. Odvija se na CNC preši. Limovi se režu na planirani format lima koji će se probijati na stroju. Plan rezanja definiran je prilikom programiranja u *TruTops-u* i zadan je nalogom za rezanje.

Nakon što su limovi izrezani, dovodi ih se do CNC strojeva marke Trumpf gdje slijedi probijanje. Pozicije su probijene na strojevima *TC-500*, *TC-6000L* i *TC-2020R*. Stroj *TC-500* ima radnu zonu veličine 3000x1500 mm, dok strojevi *TC6000L* i *TC2020R* imaju radnu zonu veličine 2500x1250 mm.

Na slici 3.12. se nalazi prikaz probijanja na stroju *TC-500*:



Slika 3.12. Probijanje na stroju TC-500

Prije probijanja operater stroja mora odraditi slijedeće operacije:

- analizirati program,
- složiti alate (probijač, odvajač i matrica) i postaviti ih pravilnim redoslijedom na alatnu letvu (redoslijed definiran prilikom programiranja),
- postaviti stezna kliješta na odgovarajuće pozicije na alatnoj letvi (pozicije kliješta definirane programiranjem),
- skinuti foliju s lima ako je potrebno,
- izvršiti probijanje,
- provjeriti točnost dimenzija prvog komada i
- nakon završetka probijanja ukloniti neiskorišteni komad lima i rasprijeti alate.

Nakon probijanja dio pozicija ide na savijanje.

Slika 3.13 prikazuje primjer pozicija nakon savijanja.

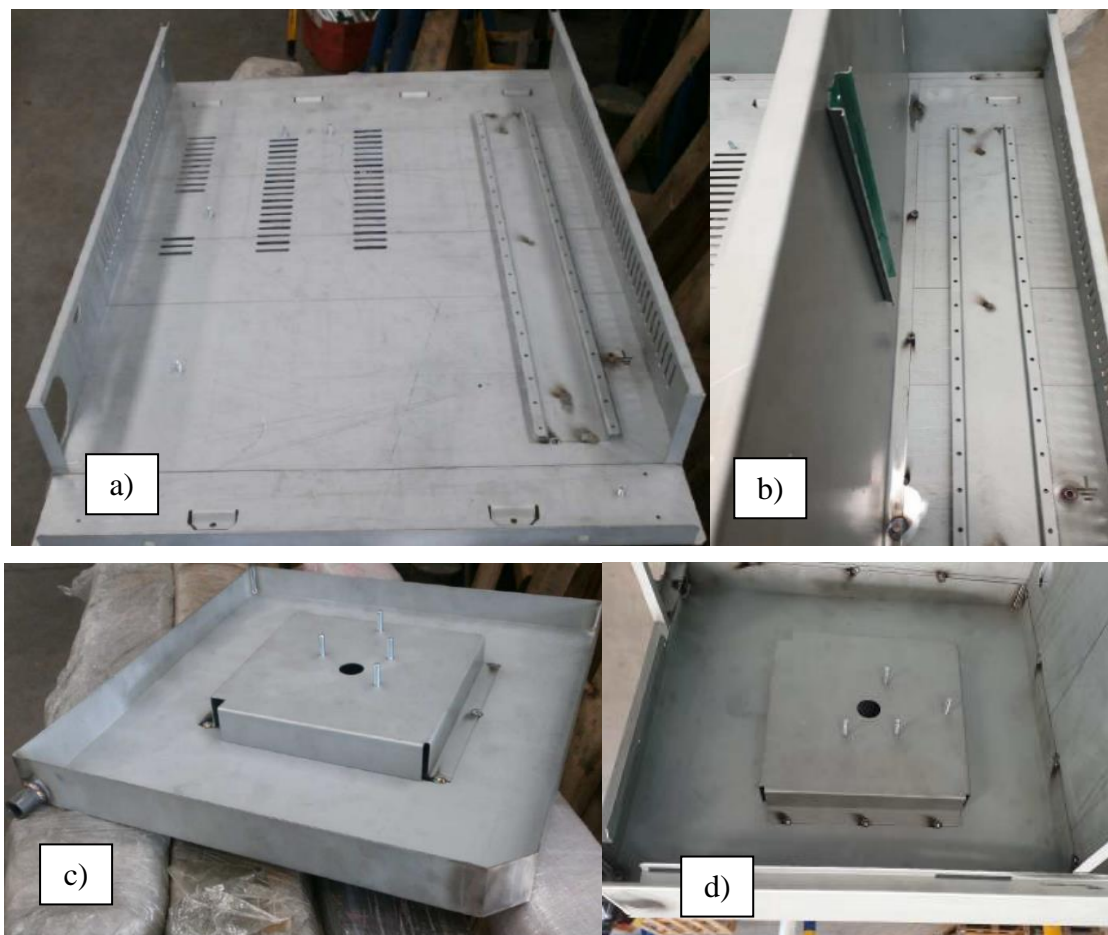


Slika 3.13. Pozicije nakon savijanja

Faza savijanja izvršava se na CNC strojevima za savijanje marke *Amada*. Važno je obratiti pozornost na orijentaciju izradka odnosno poziciju tzv. „ljepše strane“. Ljepša strana je ona strana koja je prilikom probijanja na stroju okrenuta prema alatu (Z os „izlazi“ iz pozicije). Orijentacija „ljepše strane“ određuje se prilikom spremanja razvijenog modela pozicije.

Na pozicijama na kojima je to potrebno, utiskuju se utisni elementi. Utisni elementi su utisni vijci i utisne matice. U ovom slučaju ukupno deset komada utisnih vijaka M5x12, M5x15 i M5x20 i jedan utisni vijak M3 koji služi za montažu vrata. Također je na vrata potrebno montirati dva komada utisnih matica M3x6. Alatom za zakivanje montiraju se četiri heksagonalne matica M6 u postolje..

Spajanje pozicija u sklop izvedeno je zavarivanjem TIG postupkom. Slike 3.14. i 3.15. prikazuju pozicije sklopa nakon montaže utisnih elemenata i zavarivanja.



Slika 3.14. Zavareno postolje (a, b) i leđa kućišta (c, d)



Slika 3.15. Montaža pozicija u sklop zavarivanjem

Osim pozicija također se vare i vijčani elementi, u ovom slučaju jedna varna matica M5x10. Postolje kućišta sadrži utore preko kojih se točnije pozicioniraju ostale pozicije tijekom zavarivanja. Važno je paziti na orijentaciju pozicija u sklopu, te skinuti nadvišenja prije postupka elektrostatskog praškastog farbanja.

Dalje slijedi elektrostatsko praškasto farbanje. Slika 3.16. prikazuje sklop nakon elektrostatskog praškastog farbanja.



Slika 3.16. Sklop kućišta nakon elektrostatskog praškastog farbanja

Proces je detaljno pojašnjen u prethodnom poglavlju. Pozicije koje sadrže vijčane elemente važno je zaštititi od nanošenja praha, jer nanoseni sloj praha onemogućuje funkcionalnost navoja. Kao što je navedeno u prethodnom poglavlju sve pozicije je potrebno očistiti i posušiti prije samog farbanja.

Na slici 3.17. vidljiv je sklop kućišta nakon završne montaže vrata i bočnih stranica.



Slika 3.17. Sklop kućišta nakon završne montaže

Uobičajeno se u fazi završne montaže izvršava spajanje pozicija u sklop. Kako je spajanje pozicija izvršeno zavarivanjem, ova faza uključuje montažu gotove brave i šarki za vrata, te zakivanje zakivnih matica. Bočne stranice spajaju se vijcima M3. Za montažu je potrebno pripremiti vijčanu robu i montažne nacрте.

Slika 3.18. prikazuje izgled proizvoda 14C565A062_R04 spremnog za isporuku.



Slika 3.18. Prikaz zapakiranog sklopa prije isporuke

Pakiranje predstavlja zadnju fazu prije isporuke. Važno je unaprijed pripaziti na oštećenja koja se mogu pojaviti prilikom transporta. Sklopovi se slažu na EURO palete i pokrivaju kutijom na kojoj je naziv i šifra proizvoda (labeliranje). Način pakiranja specificiran je od strane naručitelja.

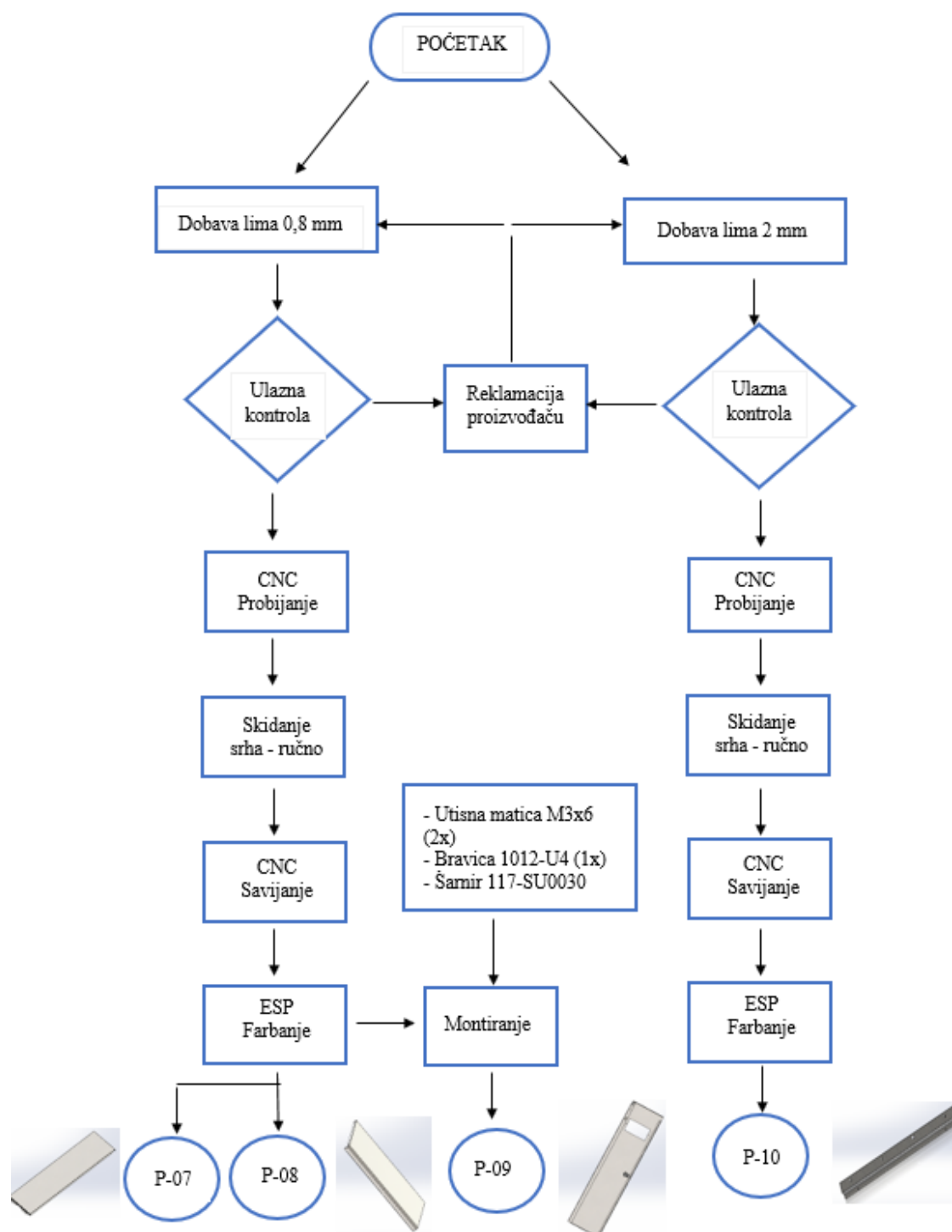
4. Dijagram toka

Dijagram toka (engl. flow chart) služi kao grafički prikaz koraka nekog postupka. Operacije su prikazane nizom simbola koji su povezani strelicama po redosljed u proizvodnji. Dijagram toka koristi se radi bolje vizualizacije cjelokupnog procesa, planiranja i poboljšanja.

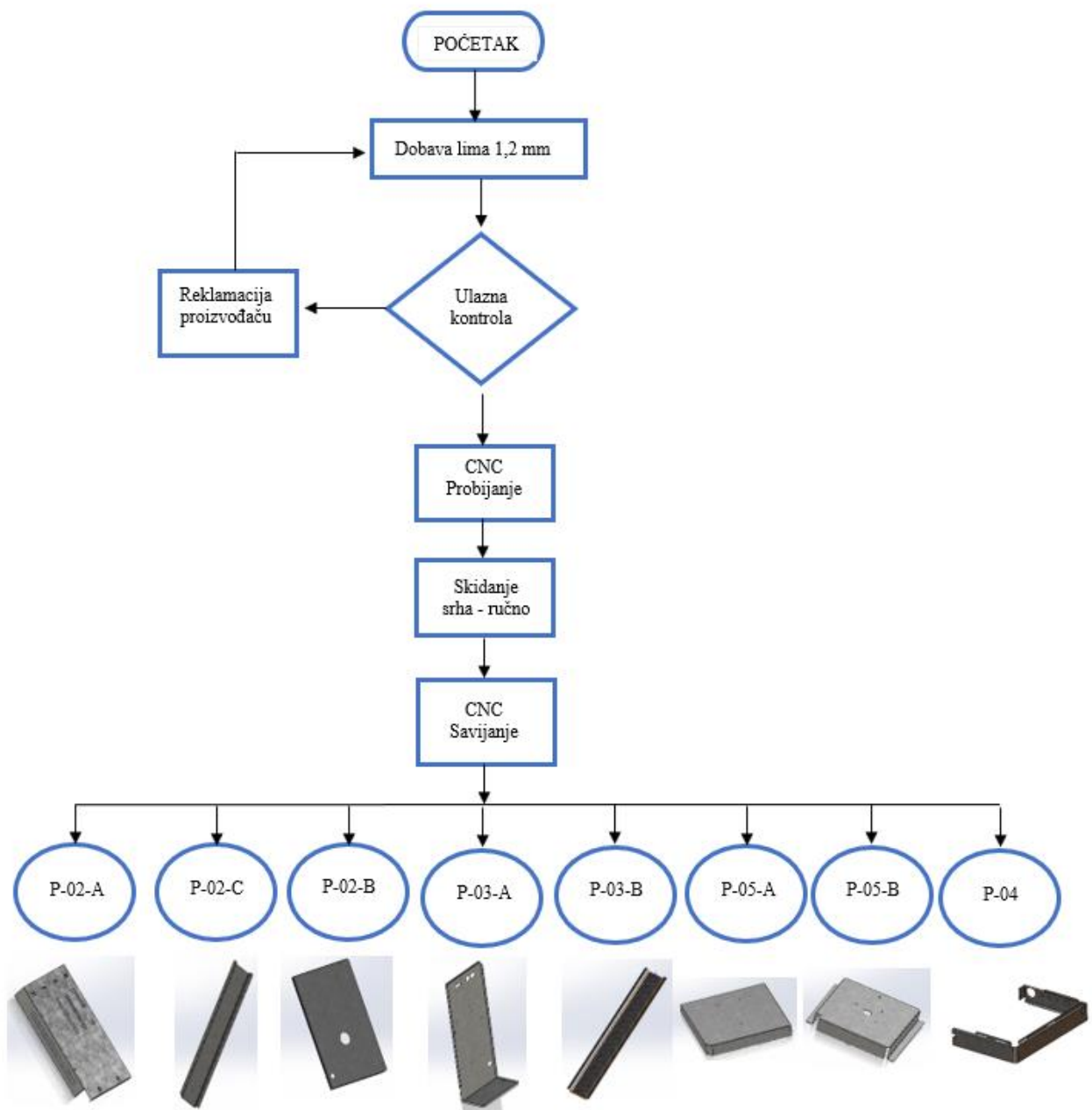
U nastavku je prikazan dijagram toka sustava, proizvodnje proizvoda 14C565A062_R4. Kako se radi o sklopu s puno sličnih pozicija, dijagram je pojednostavljen grupiranjem pozicija po debljini lima i operacijama u proizvodnji.

Prvi korak svakako je vizualna kontrola oštećenja lima. Nakon kontrole slijedi probijanje i obavezno skidanje srha koji ostaje nakon probijanja. Nakon savijanja pozicije od lima 0,8 mm se ne spajaju u podsklopove, stoga odmah idu na montažu vijčane robe i bravice na vrata i ESP farbanje. Pozicije od lima 1,2 mm spajaju se u podsklopove zavarivanjem (puntiranjem).

Izgled dijagrama toka, za pozicije izrađene od limova debljine 0,8, 2 i 1,2 mm, prikazan je na slikama 4.1. i 4.2.

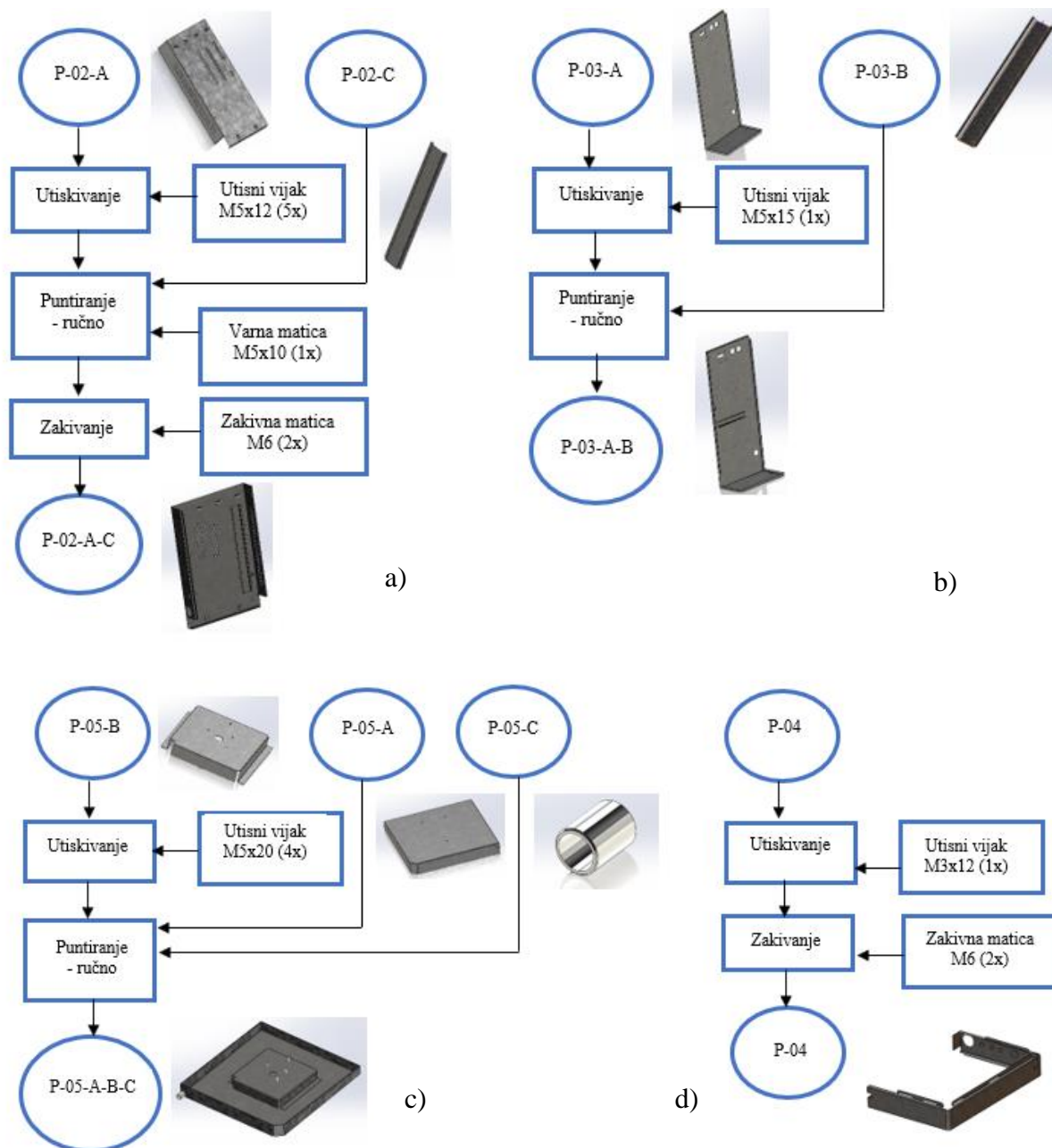


Slika 4.1. Dijagram toka za pozicije debljine 0,8 i 2 mm.



Slika 4.2. Dijagram toka za pozicije debljine 1,2 mm

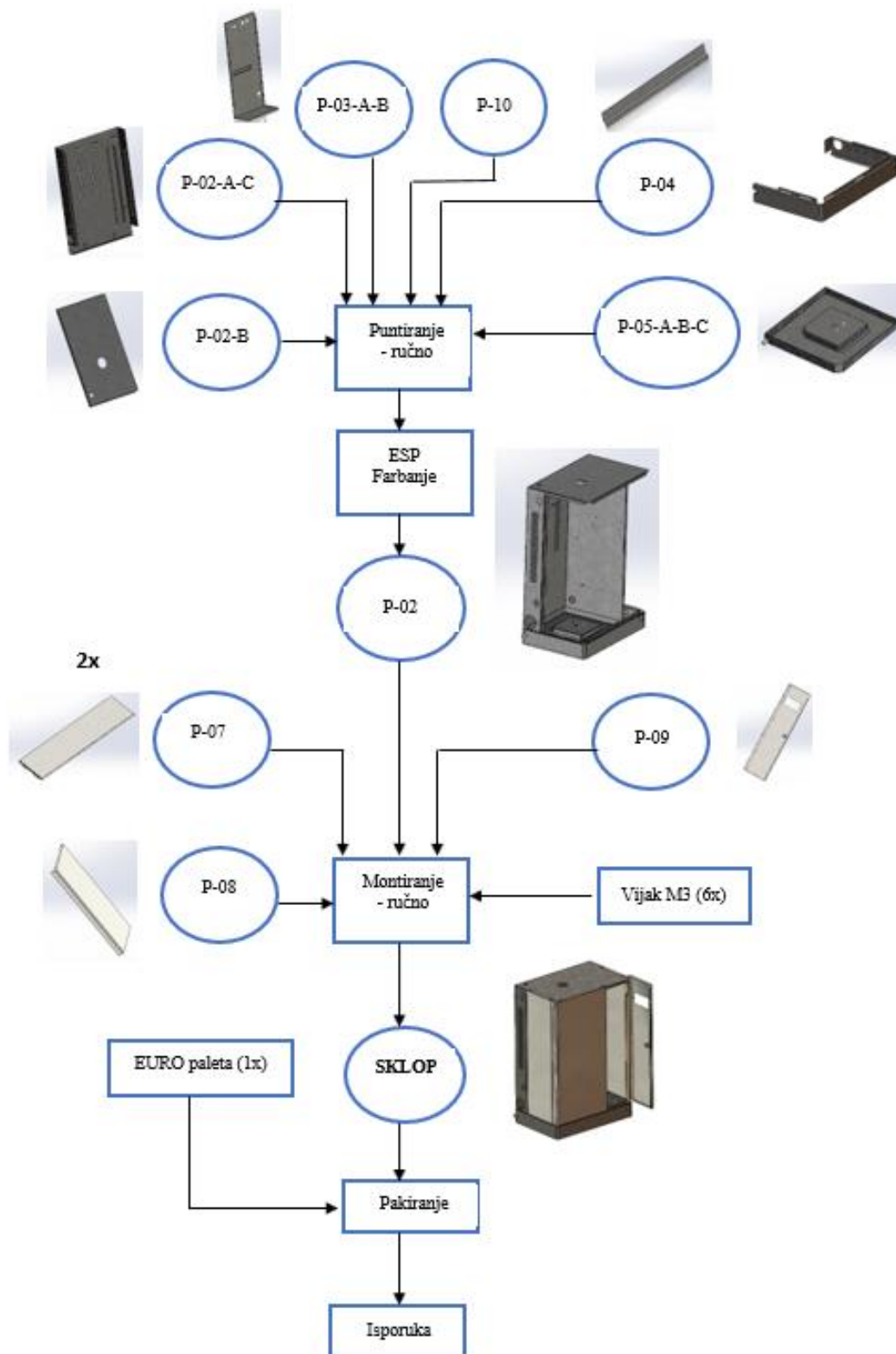
Na slici 4.3. nalazi se dijagram toka izrade podsklopova.



Slika 4.3. Dijagram toka izrade podsklopova leđa (a), nosača (b) i postolja (c, d)

Nakon izrade podsklopova i montiranja vijčane robe svi podsklopovi od lima 1,2 mm se spajaju u jedan podsklop puntiranjem. Nakon puntiranja slijedi praškasto farbanje sklopa, te završna montaža preostalih pozicija od lima 0,8 i 2 mm. Nakon završne montaže slijedi pakiranje na EURO paletu, te na kraju isporuka.

Slika 4.4 prikazuje dijagram toka spajanja podsklopa u glavni sklop i pakiranja.



Slika 4.4. Dijagram toka montaže podsklopa i pakiranja

5. Kontrola operacija

Svrha kontrole operacija je pravovremeno otkrivanje grešaka prilikom proizvodnje. Kontrola se provodi na kraju svake stavke procesa. Mjere se dimenzije izratka uzevši u obzir odstupanja propisana standardima ovisno o postupku obrade. Još se kontroliraju kvaliteta obrade površine i sloja površinske zaštite, te međusobni odnos dijelova nakon sklapanja (montaže). Na kraju je vrši se kontrola pakiranja dijelova prije isporuke.

5.1 Ulazna kontrola lima

Prva kontrola koju je potrebno izvršiti je kontrola lima pri dolasku u pogon. Lim je dostavljen od strane proizvođača i kao takav nije uvijek idealnih svojstava. Kontrola se sastoji od vizualnog pregleda lima na koroziju i oštećenja. Važno je provjeriti i dimenzije lima, duljinu i širinu, te provjeriti debljinu lima pomoću odgovarajućih mjernih uređaja. Provjerava se i broj komada i uspoređuje s naručenim brojem komada. Na kraju kontrole limova se limovi označavaju po dimenzijama i materijalu i spremni su za preradu. [16]

U ulaznu kontrolu spada i provjera ESP praha koji je dostavio proizvođač. Provjeravaju se eventualna oštećenja ambalaže, rok trajanja praha naveden na ambalaži. Provjerava se odgovara li dostavljena boja pigmenta naručenoj boji. Kao i kod kontrole limova na kraju je potrebno označiti ambalažu vlastitim oznakama i tehničkim podacima.

5.2 Kontrola probijanja

Plan kontrole probijanja važno je napraviti prije slanja probijenog lima na daljnju obradu. Prije probijanja potrebno je provjeriti točan materijal (FE/EG) i debljinu lima (1,2, 2 i 0,8 mm), te točnost izrezanih dimenzija ploče. Nakon završetka probijanja kontroliraju se samo glavne dimenzije (ukupna duljina i širina) prvo izratka, kako se ne bi gubilo previše vremena pogotovo kod pozicija s puno perforacija (leđa HVAC kućišta). Ako je sve u redu nastavlja se s probijanjem sljedećeg seta uz podešavanje parametara alata ili programa.

Određene pozicije koje ne zadovoljavaju nakon probijanja mogu se popraviti korektivnim programom dok je druge potrebno ponoviti korigiranjem cjelokupnog programa. Greške nakon probijanja lakše je ispraviti nego u kasnijim fazama (npr. nakon savijanja ili montaže).

5.3 Kontrola montaže

Faza montaže sadrži spajanje pozicija zavarivanjem. Zavarivanje je potrebno izvesti prema nacrtu za zavarivanje u kojem je propisan postupak i vrsta zavarivanja, te položaj vara (unutarnja ili vanjska strana). Pri zavarivanju koriste se radne naprave (šablone) koje osiguravaju točnost međusobnog položaja pozicija. Prema vrsti i debljini materijala potrebno je ispravno podesiti parametre na aparatu za varenje. Važno je pripaziti da se slične pozicije ne pomiješaju.

Pozicioniranje distantne varne matice ostvareno je preko probijenog provrta. Kontrola prohodnosti varne matice ostvaruje se vijkom M5.

Nakon zavarivanja potrebno je pobrusiti lice vara (nadvišenje).

Točnost dimenzija odnosno položaja pozicija u sklopu provjerava se pomoću mjerne naprave. [16]

5.4 Kontrola elektrostatskog praškastog farbanja

Prilikom elektrostatskog praškastog farbanja važno je kontrolirati debljinu nanosa praha. Provjera debljine se provodi *Coating Thickness Gauge* (CTG) uređajem koji radi na principu magnetske indukcije. Debljina nanosa mora biti unutar 50 i 80 μm . Ako je izmjerena vrijednost manja ili veća od dozvoljenog intervala potrebno je ponoviti postupak farbanja. Potrebno je provesti i test prianjanja praha. Ova kontrola se provodi *Cross hatch* testom prianjanja. Nakon što je napravljen rešetkast uzorak na površinu se lijepi ljepljiva traka koja se potom skida. Na traci je vidljiva količina nanosa praha koja se odvojila od površine, te je tu količinu potrebno usporediti s normiranim vrijednostima.

Nakon faze stvrdnjavanja praha u peći, potrebno je vizualno pregledati pozicije prije pakiranja. Sva oštećenja, ogrebotine ili neofarbane površine potrebno je označiti i ponoviti postupak farbanja. Nakon sušenja moguće je još jednom vizualno provjeriti kontrole iz prethodnih koraka, poput skinutog srha, ravnosti i položaja pozicija. Navoje varne matice i ostalih utisnutih matica

potrebno je provjeriti pomoću ureznika i vijka s navojem koji odgovara navoju matice koja se provjerava. [16]

5.5 Kontrola pakiranja

Pozicije, nakon što su prošle kroz proces proizvodnje i zadovoljavaju uvjete kontrole, je potrebno označiti pomoću naljepnice s nazivom i šifrom proizvoda. Kod postavljanja naljepnice potrebno je pripaziti na ispravnost postavljanja na poziciju.

Tako označeni sklopovi slažu se na paletu (potrebno je provjeriti i ispravnost palete) na ranije naveden način. Svaka paleta označuje se imenom proizvoda i naljepnicom „označeno“ (engl. *labeled*). Ovime su svi sklopovi kućišta spremni za isporuku. [16]

6. Automatizacija procesa ESP-a

U nastavku će biti pojašnjene načini i metode kojima je izvršena automatizacija pogona za elektrostatsku polimerizaciju tvrtke Alpron. Uz opis načina rada pojedine komponente naveden je njen utjecaj na poboljšanje sustava.

6.1 Uvod u Automatizaciju

U smislu proizvodnje čovjek se smatra lošom komponentom sustava. Umara se, sporo i ograničeno reagira kod naglih i brzih promjena, istovremeno prati nekoliko parametara procesa. Glavni cilj automatizacije je osloboditi ljude neposrednog sudjelovanja u rutinskim operacijama, pamćenju i odlučivanju u proizvodnji. Iako automatizacija danas ima velik utjecaj na organizaciju rada, čovjek je i dalje nezamjenjiv u složenijim situacijama gdje se odluke donose na temelju čovjekovog širokog znanja, iskustva i osjećaja.

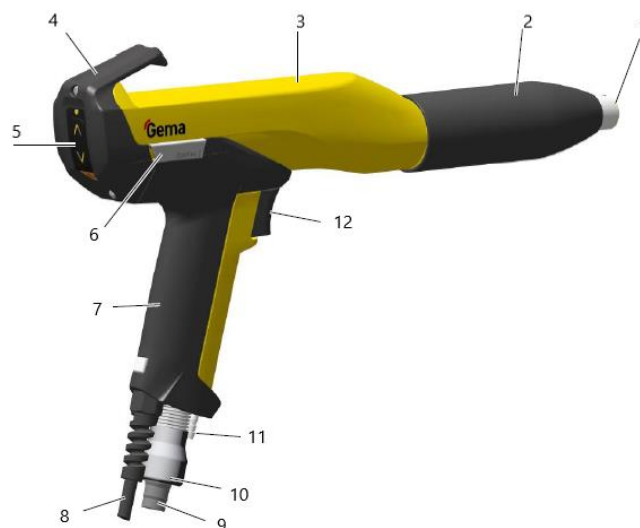
Automatizacija se sastoji od upravljanja, regulacije i vođenja. Kod upravljanja ulazna veličina utječe na izlaznu veličinu nekog sustava prema zakonitostima sustava u otvorenom krugu. Regulacija označava postupak održavanja željenog stanja procesa ili mijenjanja tog stanja po određenom zakonu u zatvorenoj petlji. Vođenje procesa je općenitiji pojam koji obuhvaća i upravljanje i regulaciju (vođenje pomoću računala).[17] Suvremena automatizacija koristi programabilne digitalne uređaje (mikroračunala) u informacijskom dijelu sustava, dok se u energetsom dijelu koriste pneumatski i hidraulički uređaji i aktuatori, te elektromotori.

6.2 Manualna (ručna) oprema

U nastavku su opisane komponente koje čine proces elektrostatske polimerizacije. Tvrtka Alpron koristi opremu švicarskog proizvođača Gema, stoga je opisana oprema isključivo tog proizvođača s trgovačkim nazivima koji su vlasništvo proizvođača. Generalni princip funkcioniranja komponenti je gotovo identičan za sve proizvođače, dok može doći do manjih varijacija u pogledu naziva komponenti ili određenih dijelova sustava. Za opisivanje načina rada korišteni su priručnici dani od strane proizvođača, te isti podliježu autorskim pravima.

Pištolji mogu biti manualni (ručni) koji se koriste držanjem u ruci ili automatski kojih je moguće više posložiti u stubni automat. Jedna od podjela pištolja je prema načinu dobave visokog napona (unutarnji ili vanjski). *Corona* pištolj koristi se za vanjsko nabijanje pomoću elektrode.

Slika 6.1. prikazuje ručni pištolj za nanošenje praha.



Slika 6.1. *OptiSelect GM03 ručni pištolj [9]*

Gdje je:

1. Mlaznica,
2. Navojni rukavac,
3. Osovina,
4. Zaštita s kukom za vješanje,
5. Daljinsko upravljanje,
6. Priključak za sakupljač iona,
7. Drška pištolja,
8. Električni kabel,
9. Priključak za cijev praha,
10. *Quick release* priključak za cijev praha,
11. Priključak zraka za ispiranje i
12. Okidač.

OptiSelect GM03 ručni je pištolj korišten u Alpronu. Sadrži priključke za zrak i *SuperCorona* sakupljač iona. U Alpronu se obično koristi za nanošenje praha na velike pozicije koje su

preteške za konvejer ili za farbanje teško dostupnih mjesta na složenim pozicijama. Riječ je o pištolju s unutarnjom dobavom visokog napona što znači da se unutar pištolja odvija pretvaranje visokofrekventnog niskog napona (10 V) dobavljanog od upravljačke jedinice u visoki naponi pomoću visokonaponske kaskade i provodi se do elektrode. Također sadrži tipke za podešavanje količine praha. [9]

Na slici 6.2. prikazane su mlaznice za *corona* pištolj



Slika 6.2. Prikaz ravne (gore) i okrugle mlaznice (dolje) [9]

Na svaki pištolj moguće je montirati različite veličine i vrste mlaznica (ravna i okrugla) čime je moguća prilagodba različitim pogonskim uvjetima. Ventilirana ravna mlaznica služi za raspršivanje i elektriziranje praha. Prah se elektrizira na centralnoj elektrodi dok se visoki napon koji se proizvodi u kaskadi pištolja, odvodi na centralnu elektrodu. Kako bi se spriječilo sinteriranje praha na elektrodu, ona se propuhuje komprimiranim zrakom. Kod okrugle mlaznice ventilirana odbojna ploča od mlaza praha koji izlazi iz pištolja stvara oblak. Odbojna ploča se propuhuje zrakom.[9]

Osim *Corona* moguća je i upotreba *Tribo* pištolja gdje se nabijanje praha postiže bez elektrostatskog polja, no takav tip pištolja ne koristi se u Alpron proizvodnom programu.

Kao modul za upravljanje koristi se upravljačka jedinica *CG-20*.

Slika 6.3. prikazuje upravljačku jedinicu pištolja.



Slika 6.3. Upravljačka jedinica pištolja *CG-20* [10]

Pri čemu je:

1. Prednji dio s radnim sučeljem,
2. Kućište i
3. Stražnji dio s električnim i pneumatskim priključcima.

Upravljačka jedinica služi za postavljanje radnih parametara pištolja, poput visokog napona mjenenog u kilovoltima [kV], jačine struje u mikroamperima [μ A], postotka protoka praha [%] i protoka zraka za propuhivanje u normnim metrima kubnim po satu [Nm^3/h]. Svaki pištolj ima svoju pojedinačnu upravljačku jedinicu. Upravljačka jedinica radi na istosmjernom naponu od 12 V i maksimalnom tlaku zraka od 10 bar [10]

Vrijednosti ranije spomenutih parametara moguće je kombinirati u 250 različitih programa, čime je omogućena prilagodba širokom spektru različitih dijelova. [10]

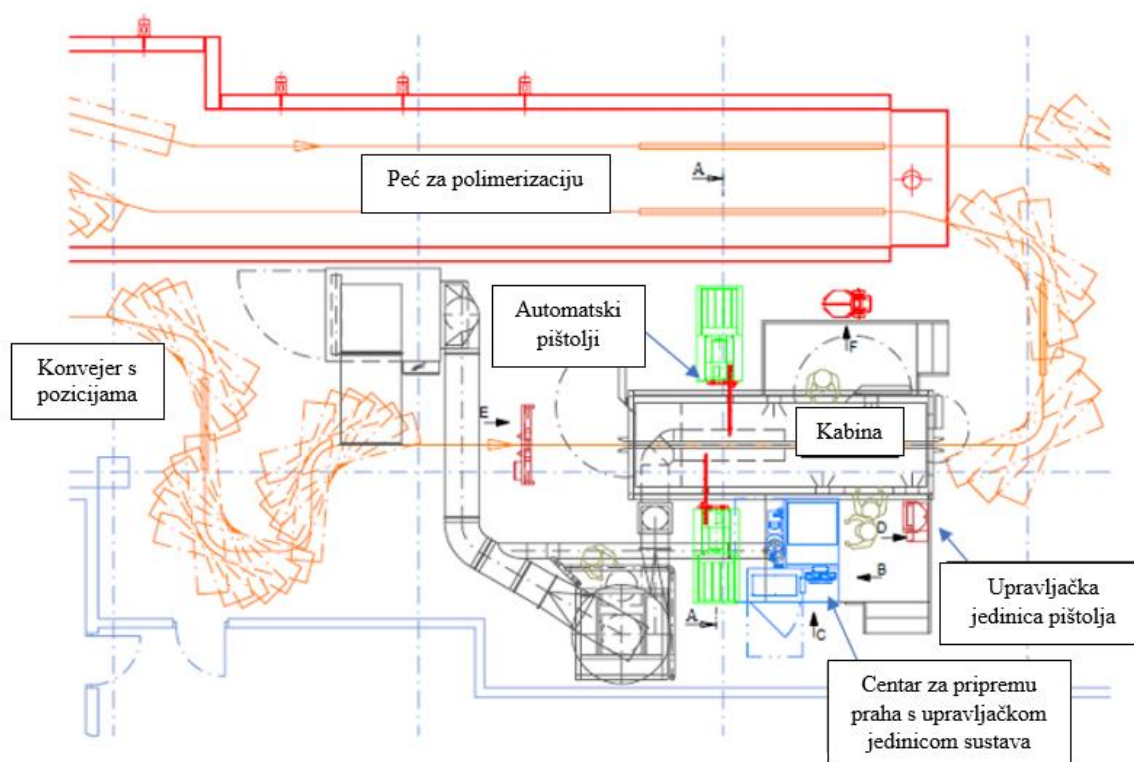
Dodatna mogućnost koji nudi ovakav tip upravljačke jedinice je tzv. PCC (eng. *Precise Charge Control*) način rada koji omogućuje postavljanje vrijednosti struje, manje od $10 \mu\text{A}$, s pomakom $0,5 \mu\text{A}$ (suzbijanje efekta Faradayevog kaveza). [10]

Dodatna funkcija upravljače jedinice je opcija čišćenja. Čisti zrak se koristi za ispuhivanje crijeva, pištolja i injektora od zaostalog praha. [10]

6.2 Oprema za automatizaciju procesa ESP-a

U ovom poglavlju pojašnjene su metode automatizacije sustava ESP-a, te svi dijelovi takvog sustava. Istaknuta je prednost korištenja komponenti koje služe za automatiziranje pogona.

Slika 6.4. prikazuje shemu automatiziranog pogona za elektrostatsko praškasto farbanje tvrtke Alpron.

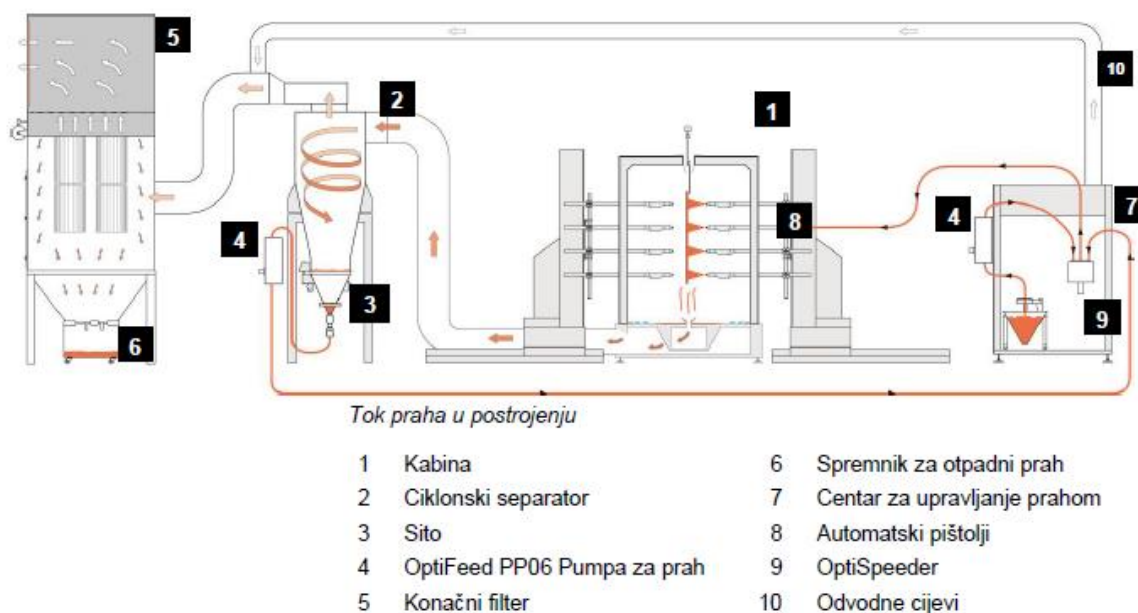


Slika 6.4. Shema pogona tvrtke Alpron

Na slici 6.4. je vidljiv raspored opreme u pogonu tvrtke Alpron. Crvenom bojom prikazana je peć za stvrdnjavanje (polimerizaciju). Plavom bojom označen je centar za upravljanje prahom, te upravljački ormar s PLC-om. Zelenom bojom označen je stubni automat s automatskim pištoljima. Između se nalazi kabina (komora) za naprašivanje. Narančastom bojom na slici je označen tok pozicija (izradaka) kroz proces pomoću konvejera.

Zajedničkim nazivom *Gema Automatic Powder Coating*, u nastavku opisani elementi, služe za dodatno povećanje ekonomske i proizvodne iskoristivosti cijelog procesa.

Slika 6.5. prikazuje zatvoreni sustav opreme za elektrostatsku polimerizaciju.



Slika 6.5. Shema zatvorenog sustava [11]

Nakon što je vreća s prahom postavljena u ljevak za vreću, prah se fluidizira i potom odvodi do *OptiSpeeder* uređaja (9) koji se nalazi u centru za upravljanje prahom *OptiCenter OCO3* (7). Tako fluidizirani zrak se pomoću pumpi (4) crijevom transportira do pištolja (8) gdje se nanosi u kabini za nanošenje (1). Sav neiskorišteni prah pada na dno kabine. Ispušnim zrakom odnosi se sav preostali prah do ciklonskog separatora (2) gdje se odvaja od zraka. Izdvojeni prah mora proći kroz sito (3), te se odvodi natrag do *OptiSpeeder* uređaja gdje dolazi do ponovne pripreme praha. [11]

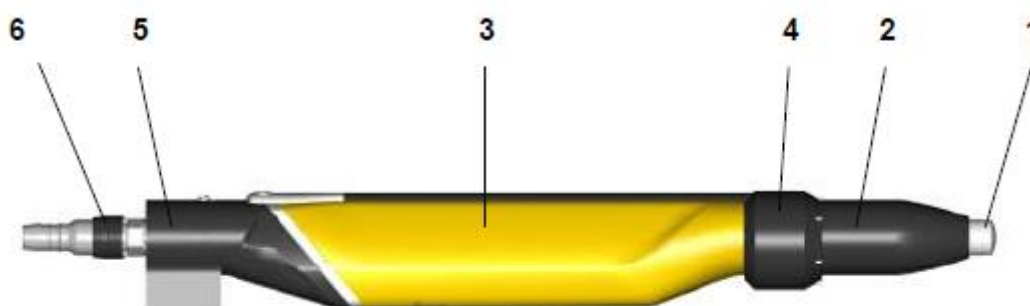
Dijelovi *Gema Automatic Powder Coating* opreme su:

- Automatski pištolj *OptiGun GA03*,
- Stubni automat *ZA-07*,
- Kontrolni sustav (PLC) *CM40*,

- Upravljački sustav *OptiFlex A2* i
- Centar za upravljanje prahom.

Automatski pištolji služe kao zamjena za manualne ručne pištolje. Prednost je što su automatski pištolji upravljani od strane upravljačke jedinice, te eliminiraju ljudski faktor pri nanošenju praha.

Slika 6.6. prikazuje automatski pištolj za nanošenje praha.



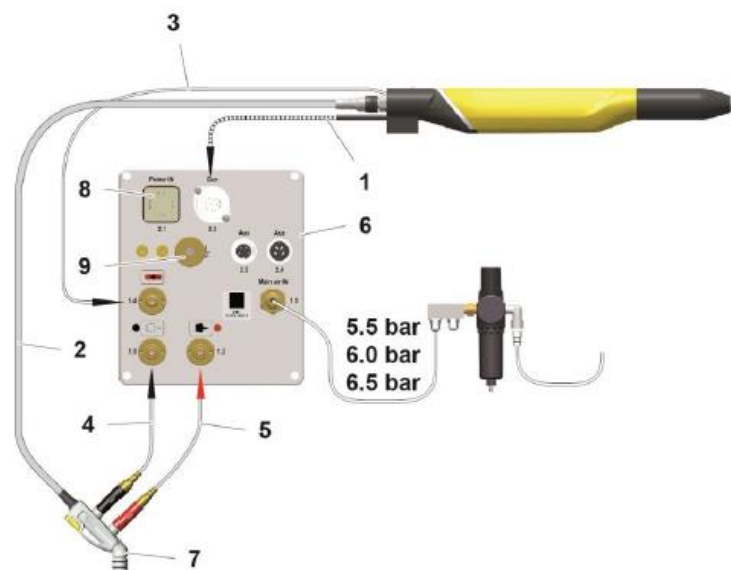
Slika 6.6. *OptiGun GA-03 automatski pištolj* [12]

Gdje je:

1. Mlaznica,
2. Navojni rukavac,
3. Vrat pištolja s odvojivom visokonaponskom kaskadom,
4. *SuperCorona* prsten,
5. Držač pištolja i
6. Cijev za prah.

Automatski pištolj *OptiGun GA03* predstavlja nadogradnju ručnog (manualnog) pištolja *OptiSelect GM03*. Automatski pištolj montira se na stubni automat *ZA-07*, pri čemu je moguće kombinirati više od jednog pištolja. Kod korištenja više pištolja, svaki ima svoju upravljačku jedinicu. Princip generiranja visokog napona jednak je kao kod ručnog pištolja. Kao i ručni, automatski pištolj ima opciju korištenja različitih vrsta mlaznica: ravne i okrugle.

Slika 6.7. prikazuje shemu spajanja automatskog pištolja i upravljačke jedinice.



Slika 6.7. Shema spajanja automatskog pištolja i upravljačke jedinice [12]

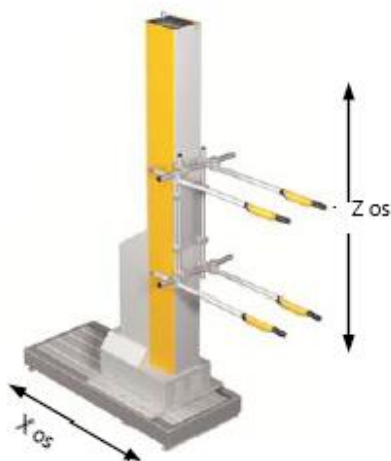
Pri čemu je:

1. Kabel pištolja,
2. Crijevo za prah,
3. Crijevo zraka za propuhivanje,
4. Crijevo za transportni zrak,
5. Crijevo za dodatni zrak,
6. Upravljačka jedinica,
7. Injektor,
8. Napajanje i
9. Uzemljenje.

Uloga injektora je transport praha koristeći manje komprimiranog zraka čime smanjuje istrošenost crijeva i pištolja.

U Alpronu se koristi šest automatskih pištolja za nanošenje praha na sve pozicije koje stanu u komoru.

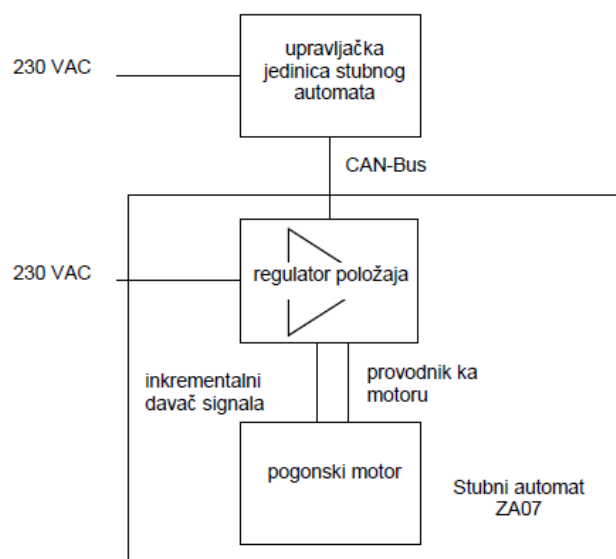
Stubni automat ZA-07 služi za nošenje automatskih pištolja nanošenje praha i prikazan je na slici 6.8.



Slika 6.8. Stubni automat ZA-07 [13]

Uloga mu je ostvariti pravocrtno gibanje automatskih pištolja, montiranih na štitniku (Z-kolica). Z kolica gibaju se po okomitoj, odnosno po Z osi (gore-dolje). Gibanje se ostvaruje pomoću zupčastog remena. Moguće je ostvariti i pravocrtno gibanje po osi X. Pogonsku jedinicu čini elektromotor. Preko upravljačke jedinice moguće je kontrolirati brzinu i hod kretanja stupnog automata. [13]

Na slici 6.9. vidljiv je shematski prikaz stubnog automata.



Slika 6.9. Shematski prikaz stubnog automata [13]

Pomoću inkrementalnog generatora impulsa omogućeno je precizno pozicioniranje Z-kolica. Sustav napajanja smješten je, zajedno s kablovima, u električnom modulu. Za ostvarenje dodatnih osi, poput potreban je dodatni električni modul. [13]

Prednosti upotrebe stupnog automata su mala potrošnja energije, autonomni rad, mogućnost korištenja više automatskih pištolja odjednom, kontinuiran rad i izbjegavanje nuspojava ESP-a. Stupni automat nudi i mogućnost gibanja pištolja naprijed-nazad (U-os) čime je moguće izbjeći efekt povratne ionizacije i pojavu „narančine kore“. Kako je ranije objašnjeno, blizina pištolja poziciji ima važnu ulogu na jačinu električnog polja, a time i na nastajanje povratne ionizacije i „narančine kore“. Stupni automat nudi vrlo preciznu kontrolu nad položajem pištolja u odnosu na tretiranu poziciju, te ju ostvaruje puno točnije od radnika koji koristi ručni pištolj.

U Alpronu se koriste dva stubna automata sa svake strane kabine, gdje svaki nosi po tri automatska pištolja GA-03.

Upravljačka jedinica sustava CM40 služi za nadzor, kontrolu i upravljanje radom automatiziranog sustava elektrostatskog praškastog farbanja.

Slika 6.10. prikazuje upravljačku jedinicu sustava.



Slika 6.10. Upravljačka jedinica CM-40 [15]

Pomoću PLC-a sa zaslonom osjetljivim na dodir moguće je vršiti dijagnostiku sustava, spremati podatke o operativnom radu komponenti, konfigurirati i upravljati parametrima, upravljati čišćenjem sustava i pripremom praha. Povezivanje s komponentama sustava izvršeno je preko CAN-bus tehnologije. Upravljačka jedinica može pratiti razne statistike tijekom rada pogona poput trošenja dijelova, performansi pogona, potrošnje praha, vremena rada, vremena do sljedećeg servisa pogona i planiranja održavanja. [15]

Pogonom se upravlja u tri različita moda rada: automatski, ručni (manualni) i mod čišćenja.

U automatskom modu unaprijed postavljeni programi kontroliraju sve radne procese i pomake. Promjene na objektima vrše se automatski ili ručno. Nanošenje praha se prekida zaustavljanjem konvejera, a pištolji se pokreću automatski. [15]

Ručni mod koristi se za upravljanje manjim pogonima i za testiranje. Pištolji se individualno upravljaju i pozicioniraju, promjene na objektima vrše se ručno. [15]

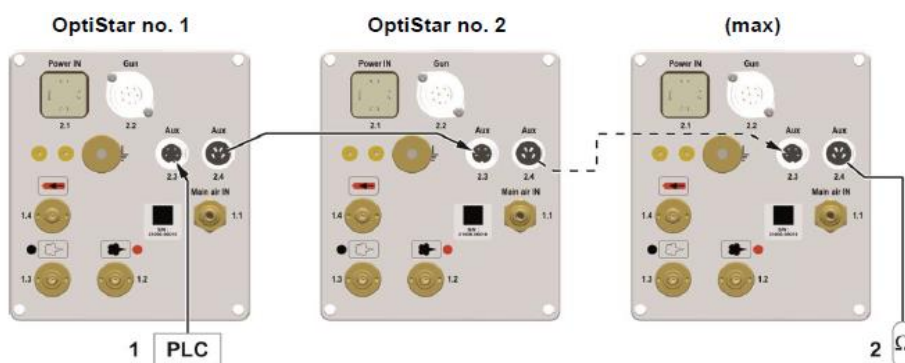
Mod čišćenja omogućuje čišćenje komponenti i kabine za naprašivanje. Čišćenje je djelomično automatizirano, dok se određene komponente moraju očistiti ručno. [15]

Jedna od prednosti korištenja upravljačke jedinice sustava je korištenje od strane više korisnika, pri čemu je moguće odrediti nivo pristupa (autorizacije) za svakog korisnika (npr. administrator, serviser, poslovođa, operater itd.). [15]

Prema načinu montaže upravljačka jedinica sustava može se ugraditi u upravljački ormar ili kao samostalna izvedba.

U ranijem poglavlju spomenuta upravljačka jedinica pištolja ima opciju povezivanja više jedinica sa središnjim PLC-om.

Na slici 6.11. prikazan je način povezivanja više upravljačkih jedinica.



Slika 6.11. Povezivanje više upravljačkih jedinica [10]

Veza između upravljačkih jedinica se ostvaruje pomoću CAN – bus kabela. Moguće je ostvariti mrežu do najviše 127 upravljačkih jedinica.[10]

Na ovaj način omogućena je bolja preglednost nad sustavom i postavljanjem parametara svakog pištolja. Ovakav pristup donosi ogromne uštede na vremenu postavljanja, te smanjuje mogućnost pogreške zbog repetitivnosti posla.

Upravljački sustav *OptiFlex A2* modularni je sustav za upravljanje automatskim pištoljima za nanošenje praha.

Slika 6.12. prikazuje upravljački sustav.



Slika 6.12. *OptiFlex A2* upravljački sustav [14]

Upravljačke jedinice pištolja smještene su u upravljački ormar gdje je omogućeno postavljanje svakog automatskog pištolja posebno. Takvo podešavanje dodatno je olakšano korištenjem središnje upravljačke jedinice (PLC-a), čime je moguće grupirati i spremati parametre. *OptiFlex A2* potrebno je spojiti na glavni sustav komprimiranog zraka, te radi s pojačanim protokom praha. [14]

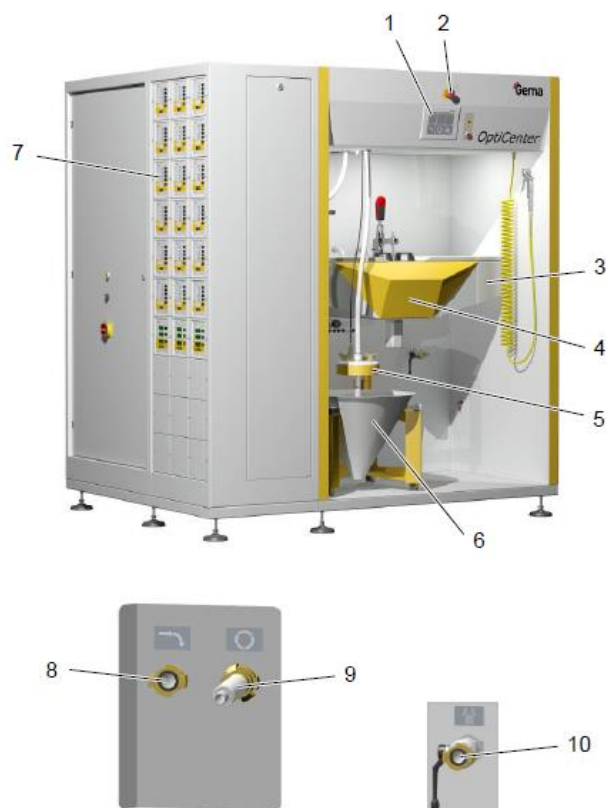
Na slici 6.13. prikazan je ormar sa šest upravljačkih jedinica (jedna za svaki pištolj) koji se nalazi u pogonu za ESP tvrtke Alpron.



Slika 6.13. Ormar s upravljačkim jedinicama u Alpronu

Centar za upravljanje prahom *OptiCenter OC03* služi za pripremu praha za korištenje u procesu, te za promjenu boje praha i čišćenje. Pogodan je za upotrebu u postrojenjima s potpuno zatvorenim sustavom cirkulacije praha. Za normalan rad potreban je priključak na izvor komprimiranog zraka (radni tlak 6 bar).[11] Važno je napomenuti da centar za upravljanje prahom mora biti uzemljen.

Slika 6.14. prikazuje centar za upravljanje prahom.



Slika 6.14. OptiCenter OC03 centar za upravljanje prahom [11]

Gdje je:

1. Upravljačka jedinica,
2. Gumb za hitno zaustavljanje,
3. Aplikacijske pumpe (*OptiFeed* PP06),
4. *OptiSpeeder* uređaj,
5. Držač vreće s prahom,
6. Lijevak vreće za prah s vibratorom,
7. Upravljačke jedinice pištolja,
8. Priključak za otpad,
9. *OptiSpeeder* priključak i
10. Priključak za provjetravanje spremnika za prah.

Centar za upravljanje prahom sadrži upravljačku jedinicu sa zaslonom osjetljivim na dodir preko kojeg se upravlja svim bitnim radnim procedurama. *OptiSpeeder* uređaj služi za automatiziranu pripremu i fluidizaciju praha. *OptiSpeeder* se može napuniti sa do 5 kg praha i može biti opremljen s najviše 24 aplikacijske pumpe.[11]

Slika 6.15. prikazuje centar za upravljanje prahom u Alpronu.



Slika 6.15. Centar za upravljanje prahom u Alpronu

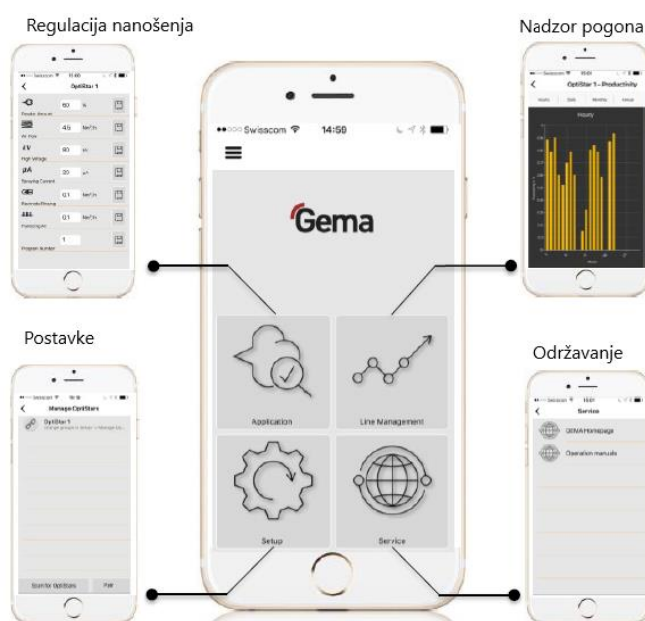
U Alpronu se koristi centar za upravljanje prahom s jednom aplikacijskom pumpom, te ormarom s upravljačkim jedinicama automatskih pištolja, koji se nalazi pored.

Upotrebom centra za upravljanje postignuto je smanjenje vremena pripreme praha što rezultira manjim troškovima rada sustava. Kako se centar za prah ventilira direktno kroz konačni filter, nema potrebe za zasebnim pogonom ispušnog sustava, te se kao rezultat javlja ušteda energije. Rad s centrom za upravljanje prahom jednostavan je i ne zahtijeva skupu obuku.

6.3 Gema E-APP

Među najnovije metode automatizacije pripada i mobilna aplikacija *Gema E-App* koja omogućuje regulaciju nanošenja, nadzor pogona i informacije vezane za održavanje preko mobilnog uređaja. Povezivanje je ostvareno pomoću *Bluetooth* veze.

Slika 6.16. prikazuje mobilnu aplikaciju za nadzor i regulaciju.



Slika 6.16. Prikaz *Gema* mobilne aplikacije [18]

Gema E-App najnovija je nadogradnja upravljanja automatiziranim ESP pogonom tvrtke Alpron i predstavlja dodatni korak prema Industriji 4.0 koja se temelji na inteligentnom umrežavanju strojeva s ciljem bolje povezanosti unutar sustava, analize sustava, prikupljanja podataka i ostvarenja autonomije.

Regulacija nanošenja služi za upravljanje parametrima pojedinačnog pištolja ili više pištolja odjednom (grupiranje). Nadzor pogona omogućuje praćenje performansi rada (vrijeme nanošenja, potrošnja praha) pogona i vođenje statistike (dnevna, mjesečna, godišnja). Aplikacija vodi evidenciju održavanja odnosno omogućuje planiranje.

Upotrebom aplikacije olakšan je pristup glavnim podacima vezanim uz proces, te je olakšana organizacija i praćenje rada.

7. Analiza rezultata

U ovom poglavlju izvršena je analiza postignutih rezultata, napravljen je sažetak optimizacije i razrade tehnološkog procesa, navedeni su prednosti i nedostaci automatiziranog ESP pogona, te je objašnjeno na koji način je moguće izvršiti daljnju nadogradnju samog automatiziranog pogona.

Smanjenje troškova proizvodnje HVAC proizvoda uspješno je napravljeno. Za postizanje smanjenja troškova bilo je potrebno napraviti sitnu konstrukcijsku preinaku na poziciji sklopa, koja je rezultirala korištenjem jeftinije tehnologije prilikom proizvodnje. Ušteda na jednom proizvodu je dodatno naglašena kada se uzme u obzir da se radi o seriji od nekoliko stotina komada godišnje. Napravljen je novi NC program za probijanje optimizirane pozicije koristeći CAM program *TruTops*. Razrađen je cijeli tehnološki proces proizvoda zaključno s pakiranjem i isporukom. Dijagramom toka i planom kontrole operacija dana je mogućnost lakšeg praćenja proizvodnje i sprječavanja mogućih grešaka.

Prilikom objašnjenja rada procesa ESP-a navedene su česte negativne pojave. Te pojave najčešće su produkt ljudske greške poput efekta „narančine kore“, ali i greška nedostatka opreme poput nemogućnosti kvalitetnijeg postavljanja ulaznih parametara. Te greške su smanjene korištenjem opreme za automatizaciju pogona ESP-a. Ljudski faktor je sveden na kontrolu i održavanje sustava, dok nanošenje praha preuzima stubni automat s automatskim pištoljima. Pištolji se preko upravljačkih jedinica fino podešavaju i time je osiguran višestruko kvalitetniji nanos, uz manje potrošenog praha, nego što bi ga ostvario čovjek. Korištenjem upravljačke jedinice sustava omogućena je jednostavnost prilikom upravljanja pogonom, uz različite razine autorizacije. Nedostatak koji je, nažalost, nemoguće izbjeći je investiranje velike količine sredstava za nabavu sve potrebne opreme. Isplativost se javlja tek kod proizvodnje velikih serija kao što je slučaj u Alpronu. Ovime je dokazano da je automatizacija pogona za ESP bila opravdana u svrhu postizanja nižih troškova proizvodnje.

Upravljanje sustavom dodatno je pojednostavljeno korištenjem Gema aplikacije, koja omogućuje kontrolu održavanja, nadzor i regulaciju parametara pomoću mobilnog uređaja. Aplikacija je nova na tržištu, te bi njenu kvalitetnu implementaciju trebalo dodatno istražiti.

8. Zaključak

Izmjene značajki HVAC proizvoda rezultirale su korištenjem jeftinijih postupaka (alata) čime je snižen trošak proizvodnje. Time je dokazano da je proizvod 14C565A062_R04 moguće optimizirati s ciljem smanjenja troškova. Uklonjena je upotreba skupih specijalnih alata i smanjena je mogućnost pogreške operatera. Odabrana je nova tehnologija i programiranje je odrađeno u CAM programu. Kompletan tehnološki proces proizvoda dodatno je pojašnjen izradom dijagrama toka. Napravljen je i plan kontrole svake operacije procesa s ciljem praćenja kvalitete i prevencije pogrešaka prilikom proizvodnje.

Pogon za elektrostatsku polimerizaciju, automatizacijom je znatno unaprijeđen u vidu uštede materijala, sredstava i utjecaja na okoliš. Znatno je unaprijeđena produktivnost i smanjeni su pogonski troškovi. Smanjena je mogućnost pogreške zbog ljudskog faktora, te je poboljšana sigurnost pogona. Automatizacijom su dodatno naglašene prednosti praškastog farbanja i pritom smanjene štetne pojave. Nedostatak korištenja automatizirane opreme jednak je kao i kod općenitog korištenja procesa ESP-a tj. potrebna su vrlo visoka početna ulaganja, koja nisu isplativa kod proizvodnje malih količina (serija).

Korištenjem Gema *E-App* aplikacije ostvareno je bolje, tj. jednostavnije upravljanje sustavom. Otvorena je mogućnost za dodatno unaprjeđenje procesa u budućnosti i korak prema 4. industrijskoj (digitalnoj) revoluciji tj. Industriji 4.0. Potencijal GEMA mobilne aplikacije potrebno je dodatno istražiti i iskoristiti.

9. Literatura

- [1] Perinić, M.: „Tehnološki procesi (bilješke s predavanja), Rijeka, 2022.
- [2] „Technical pocket guide“, SCHAEFFLER, Germany, June 2018
- [3] „Trumpf Punching Catalogue“; TRUMPF Werkzeugmaschinen GmbH + Co. KG; Gerlingen Germany
- [4] [Operational Impact - Powder Coating Institute](#) ,s Interneta, pristupljeno 12.6.2023.
- [5] [Powder Coatings: Process, Types, Benefits & Application \(specialchem.com\)](#) , s Interneta, pristupljeno 14.6.2023.
- [6] [What Causes Orange Peel in Powder Coating? - FI Tarrifs | Feed-In Tariffs \(fitariffs.co.uk\)](#) , s Interneta, pristupljeno 14.6.2023.
- [7] Guskov, S.: „Electrostatic phenomena in powder coating“, Nordson Corporation, Ohio, 2017.
- [8] Liberto, N.: „User's guide to powder coating“, Fourth Edition, Dearborn, Michigan, 2003.
- [9] „Manual powder gun OptiSelect GM03“, © Copyright Gema Switzerland GmbH, St. Gallen, Switzerland 2010.
- [10] „Gun control unit OptiStar 4.0 (CG20/-C)“, © Copyright Gema Switzerland GmbH, St. Gallen, Switzerland 2017.
- [11] Centar za upravljanje prahom OptiCenter OC03, © Copyright Gema Switzerland GmbH, St. Gallen, Switzerland 2012.
- [12] Automatski pištolj OptiGun GA03, © Copyright Gema Switzerland GmbH, St. Gallen, Switzerland 2012.
- [13] Stubni automat ZA07, © Copyright Gema Switzerland GmbH, St. Gallen, Switzerland 2004.
- [14] OptiFlex A2 Control system (AS08 type), © Copyright Gema Switzerland GmbH, St. Gallen, Switzerland 2012.
- [15] System control MagicControl 4.0 (CM40), © Copyright Gema Switzerland GmbH, St. Gallen, Switzerland 2017.

- [16] Ferić, M.: „Optimizacija automobilske proizvodnje i projekt tehnološkog procesa“; diplomski rad, Rijeka 2019.
- [17] Car, Z.: „Automatizacija“ (bilješke s predavanja); Rijeka 2022.
- [18] [Gema E-App \(gemapowdercoating.com\)](https://www.gemapowdercoating.com) , s Interneta, pristupljeno 13.7.2023.
- [19] [SuperCorona, the Best Solution for Smooth Surfaces \(gemapowdercoating.com\)](https://www.gemapowdercoating.com) , s Interneta, pristupljeno 15.7.2023.)
- [20] [What is Orange Peel? And How do You Fix it? | Behind the Detail \(drbeasleys.com\)](https://www.drbeasleys.com) , s Interneta, pristupljeno 15.7.2023.

10. Popis slika

Slika 2.1. Nanošenje praha u komori	4
Slika 2.2. Sile na česticu praha [7]	5
Slika 2.3. Efekt povratne ionizacije [7]	6
Slika 2.4. Efekt Faradayevog kaveza [19]	7
Slika 2.5. Usporedba glatke površine i narančine kore [20]	9
Slika 3.1. HVAC proizvod s vratima i bočnim stranicama (lijevo) i bez (desno)	12
Slika 3.2. Priprema modela u CAD modulu	13
Slika 3.3. Apliciranje tehnologije u Punch modulu	14
Slika 3.4. Izgled Multitool alata [3]	15
Slika 3.5. Prikaz konture obrađene KnockOut alatom [3]	15
Slika 3.6. Usporedba prije (lijevo) i poslije (desno) promjene geometrije	16
Slika 3.7. Usporedba programa prije (lijevo) i poslije (desno) izmjene konture	17
Slika 3.8. Prikaz broja udaraca alata $\emptyset 3$	17
Slika 3.9. Izračun kružnog pomaka alata [3]	18
Slika 3.10. Postavljanje parametara hrapavosti površine	19
Slika 3.11. Postavljanje parametara alata	19
Slika 3.12. Probijanje na stroju TC-500	21
Slika 3.13. Pozicije nakon savijanja	22
Slika 3.14. Zavareno postolje (a, b) i leđa kućišta (c, d)	23
Slika 3.15. Montaža pozicija u sklop zavarivanjem	23
Slika 3.16. Sklop kućišta nakon elektrostatskog praškastog farbanja	24
Slika 3.17. Sklop kućišta nakon završne montaže	25
Slika 3.18. Prikaz zapakiranog sklopa prije isporuke	26
Slika 4.1. Dijagram toka za pozicije debljine 0,8 i 2 mm.	28
Slika 4.2. Dijagram toka za pozicije debljine 1,2 mm	29
Slika 4.3. Dijagram toka izrade podsklopova leđa (a), nosača (b) i postolja (c, d)	30
Slika 4.4. Dijagram toka montaže podsklopova i pakiranja	31
Slika 6.1. OptiSelect GM03 ručni pištolj [9]	36
Slika 6.2. Prikaz ravne (gore) i okrugle mlaznice (dolje) [9]	37
Slika 6.3. Upravljačka jedinica pištolja CG-20 [10]	38
Slika 6.4. Shema pogona tvrtke Alpron	39

Slika 6.5. Shema zatvorenog sustava [11].....	40
Slika 6.6. OptiGun GA-03 automatski pištolj [12]	41
Slika 6.7. Shema spajanja automatskog pištolja i upravljačke jedinice [12]	42
Slika 6.8. Stubni automat ZA-07 [13]	43
Slika 6.9. Shematski prikaz stubnog automata [13]	43
Slika 6.10. Upravljačka jedinica CM-40 [15]	44
Slika 6.11. Povezivanje više upravljačkih jedinica [10]	46
Slika 6.12. OptiFlex A2 upravljački sustav [14].....	46
Slika 6.13. Ormar s upravljačkim jedinicama u Alpronu.....	47
Slika 6.14. OptiCenter OC03 centar za upravljanje prahom [11]	48
Slika 6.15. Centar za upravljanje prahom u Alpronu	49
Slika 6.16. Prikaz Gema mobilne aplikacije [18].....	50

11. Sažetak

U završnom radu opisan je princip rada procesa elektrostatskog praškastog farbanja. Napravljena je analiza prednosti i nedostataka korištenja takvog procesa, te je napravljena usporedba praškastog i konvencionalnog mokrog farbanja. Korištenjem opreme za automatizaciju pogona za elektrostatsko praškasto farbanje tvrtke Gema, poboljšana je iskoristivost i upravljivost cijelog procesa, te su sniženi pogonski troškovi. Smanjen je utjecaj ljudske pogreške prilikom rada u procesu uz jedini nedostatak visokih početnih ulaganja. Predložene su daljnje mjere poboljšanja procesa. Također je napravljena optimizacija HVAC proizvoda, na način da su primijenjene metode izrade koje generiraju niže troškove proizvodnje. Razrađen je cjelokupan tehnološki proces optimiziranog proizvoda zajedno s planom kontrole svake operacije, te dijagramom toka.

Ključne riječi: površinska zaštita, automatizacija, elektrostatska polimerizacija, ESP, metalni limovi, tehnološki proces, CAM, optimizacija

12. Summary

The final thesis contains description of the principle of operation of the electrostatic powder coating process. An analysis of the advantages and disadvantages of using such a process was made. A comparison of powder and conventional wet coating was also made. By using Gema automatic powder coating equipment, utility and control of the entire process has been improved with lowered operational costs. The impact of human error during the process is reduced, with the only drawback being high initial investments. Further process improvement measures are proposed. Optimization of a HVAC product was also made, by applying production methods that generate lower production costs. The entire technological process of the optimized product was developed together with the control plan of each operation and flow chart.

Keywords: surface protection, automation, electrostatic powder coating, ESP, sheet metal, technological process, CAM, optimization