ICES
VIŠJA STROKOVNA ŠOLA

Diplomsko delo višješolskega strokovnega študija
Program: Strojništvo
Modul: Orodjarstvo

Analiza postopkov za zmanjšanje izmeta v procesu zunanjega lakiranja avtomobilskih leč

Mentor: mag. Slavko Božič, univ. dipl. inž. stroj.
Somentor: Tomaž Rifelj, inž. mehatronike
Lektorica: Lucija Hrženjak, prof. slov. in biol.

Kandidat: Rok Mohorčič

Ljubljana, julij 2022

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju mag. Slavku Božiču za mentorstvo in strokovno pomoč pri izdelavi diplomskega dela, prav tako pa bi se želel zahvaliti g. Tomažu Riflju za somentorstvo, pomoč in nasvete znotraj podjetja.

Zahvala podjetju Hella Saturnus Slovenija, da mi je omogočilo izdelavo diplomskega dela.

Zahvaljujem se tudi lektorici Luciji Hrženjak, da je mojo diplomsko nalogo jezikovno in slovnično pregledala.

Posebna zahvala staršem in dekletu, da so me podpirali in spodbujali v času študija, ter prijatelju Davorinu Miloviću, ki me je prepričal, da sem se vpisal na ta študij.

IZJAVA

Študent Rok Mohorčič izjavljam, da sem avtor tega diplomskega dela, ki sem ga napisal pod mentorstvom mag. Slavka Božiča, univ. dipl. inž. stroj., in somentorstvom Tomaža Riflja.

Skladno s 1. odstavkom 21. člena Zakona o avtorski in sorodnih pravicah dovoljujem objavo tega diplomskega dela na spletni strani šole.

Dne _____ Podpis: _____

POVZETEK

Namen diplomskega dela je z analizo posameznih postopkov znotraj procesa zunanjega lakiranja avtomobilskih leč ugotoviti, kateri postopki najbolj prispevajo k zmanjšanju izmeta glede na vrsto napak. S tem bi potencialno pomagali podjetju zmanjšati količino neustreznih proizvodov. V delu podrobno opišemo postopke za zmanjšanje količine neustreznih proizvodov in razčlenimo celoten proces po posameznih fazah. Ob tem ugotavljamo, zakaj so sploh potrebni posamezni postopki in kako vplivajo na proces zunanjega lakiranja avtomobilskih leč. S statistično analizo smo pridobili realne podatke o tem, katere napake so najbolj vplivale na nastanek izmeta v opazovanem obdobju.

Izpostavimo šest najpogostejših tipov napak in v tabeli in grafu nazorno prikažemo, katere napake so se pojavljale v obravnavanem obdobju in v kakšnem obsegu. Napake opišemo in razložimo, s katerimi postopki in na kakšen način jih trenutno odpravljamo. Predlagamo tudi možne izboljšave procesa, s katerimi bi lahko napake potencialno še dodatno zmanjšali.

KLJUČNE BESEDE

- lakiranje
- Hella Saturnus Slovenija
- postopki za zmanjšanje količine izmeta
- avtomobilske leče
- UV-lak

ABSTRACT

The purpose of this diploma paper is to analyze the procedures within the process of exterior lacquering of the car lenses, to determine which procedures contribute the most, at reducing scrap products according to the type of defects. Potentially this would help the company to reduce the production of unsuitable products and lower the costs related to them. We have dissected the whole process on individual phases and described every procedure that helps to reduce the production of scrap products in detail. We have learned importance of every procedure and its contribution to the whole process. With statistical analysis of the period that we were monitoring, we gathered real data of the types of defects that occurred the most during the process of exterior lacquering.

We have pointed out 6 types of defects that were most frequently reported in this specific period, and made a chart and a table out of them, that graphically shows what were the most common defects and the range of them. We have described this most common defects and explain what procedures are currently in use that eliminate them. We have also recommended possible improvements of the process that could potentially help to reduce those types of defects even more.

KEYWORDS

- lacquering
- Hella Saturnus Slovenia
- procedures to reduce scrap products
- car lenses
- UV lacquer

KAZALO

1 UVOD 1
1.1 Predstavitev problema 1
1.2 Namen in cilji naloge 1
1.3 Predstavitev Podjetja Hella saturnus slovenija, d. o. o. 1
1.4 Predpostavke in omejitve 2
1.5 Metode dela 3
2 TEORETIČNI DEL 4
2.1 Kontrola kakovosti 4
2.1.1 Kontrolne karte 4
2.1.2 Neustrezna kakovost – izmet 5
2.3 Avtomatizacija 6
2.3.1 Prednosti avtomatizacije 6
2.3.2 Slabosti avtomatizacije 7
2.4 Lak 7
2.4.1 Zgodovina in razvoj laka 7
2.4.2 UV-lak SilFORT™ UVHC5000-60 Clear Coat 8
2.5 Operacijski postopki 8
2.5.1. Delovni list 9
2.5.2 Kontrolni list 9
3 PRAKTIČNI DEL 12
3.1 Predstavitev linije za zunanje lakiranje KAS 1 12
3.2 Postopki za zmanjšanje količine izmeta pred lakiranjem 13
3.2.1 Lakirna podlaga 13
3.2.2 Prepihovanje in razelektritev leč 14
3.2.3 IPA-krpica 15
3.3 Postopki za zmanjšanje količine izmeta med procesom lakiranja 15
3.3.1 Lakirna šablona 15
3.3.2 Lakirna kabina 16
3.3.3 Lakirni robot 17
3.4 Sušilne peči 18
3.4.1 IR-peč 18
3.4.2 UV-peč 19
3.4.3 Temperirna peč 19
3.5 Preventivni postopki za zmanjšanje količine izmeta 20
3.5.1 Celovito produktivno vzdrževanje 20
3.5.2 Klimati 21
3.6 Kontrola kakovosti 22
3.6.1 Merjenje debeline laka 22
3.6.2 Zarezni testi 23
3.7 Analiza izmeta 24

3.7.1 Bele pike 26
3.7.2 Izpadli kos 26
3.7.3 Manipulacija 28
3.7.4 Točkovna omočenost 29
3.7.5 Lak spodaj 30
3.7.6 Neustrezna debelina laka 31
4. POVZETEK RAZISKAVE 32
5 ZAKLJUČEK 33
6 LITERATURA IN VIRI 35

KAZALO SLIK

Slika 1: Grafični prikaz kontrolne karte 5
Slika 2: Kontrolni list 10
Slika 3: Zmanjšanja stroškov neustrezne kakovosti s pravočasnim odkritjem napake 6
Slika 4: Primer dekorativne ocene leče Aston Martin 11
Slika 5: Načrt lakirne linije KAS1 13
Slika 6: Levo Taifun in desno IPA krpica 15
Slika 7: Lakirni robot in v ozadju lakirna šablona 18
Slika 8: UV žarnice nad sušilnim transportom 19
Slika 9: Grafični prikaz interferometrije, na primeru merjenja debeline laka na leči . 23
Slika 10: Grafični prikaz zareznega testa 24
Slika 11: Graf odvisnosti količine najpogostejših tipov napak glede na teden 25
Slika 12: Robotsko prijemalo z fiksnimi prednjimi konicami 28
Slika 13: Ledena roža 29

KAZALO TABEL

Tabela 1: Količina izmeta glede na tip napake 25

POJMOVNIK

Brush: poteg oziroma nanos, navadno linija, vzdolž katere nanesemo lak
Ethernet: vrsta žične omrežne povezave
Group: združba
Overspray: del lakirnega snopa, ki ob lakiranju ne pristane na lakirni površini

KRATICE IN AKRONIMI

AGV:	Automated Guided Vehicles, avtomatizirano vodena vozila
D:	Desna
HSS:	Hella Saturnus Slovenija, d. o. o.
IPL:	Interpenetration Layer, interpenetracijski sloj
IR:	Infrardeče
L:	Leva
NOK:	Not ok, ni v redu
PC:	Polikarbonat
TPM:	Total Productive Maintenance, celovito produktivno vzdrževanje
UV:	Ultravijolično
3D:	Tridimenzionalno

1 UVOD

1.1 PREDSTAVITEV PROBLEMA

Izmet zaradi napak, ki nastajajo v procesu proizvodnje, je nekaj, s čimer se srečujejo v vsaki proizvodnji. Napake nastanejo zaradi različnih dejavnikov. Želimo jih kar se da hitro prepoznati in odpraviti. Stremimo k hitremu odpravljanju napak oziroma zastojev, saj tako zmanjšamo stroške, povezane z izmetom, in skrbimo, da ne zmanjšamo produktivnosti. V diplomskem delu obravnavamo izmet, ki nastane v procesu zunanjega lakiranja avtomobilskih leč v podjetju Hella Saturnus Slovenija, d. o. o., (HSS) oziroma v oddelku KAS 1, in glavne vzroke za nastanek izmeta. S statističnim spremljanjem izmeta smo pridobili potrebne informacije o najpogostejših vzrokih za nastanek napak. Glede na podatke smo analizirali, zakaj se pojavljajo, ali lahko prepoznamo kakršen koli vzorec, kdaj se posamezna vrsta napake največkrat ponavlja in kateri postopki jih najučinkoviteje odpravijo. Za večjo preglednost smo postopke razčlenili na preventivne postopke, postopke za pripravo lakirne površine in na postopke v procesu lakiranja. V delu smo vsakega izmed postopkov tudi bolj podrobno opisali in razložili njihov namen.

1.2 NAMEN IN CILJI NALOGE

Skozi diplomsko delo želimo raziskati, zakaj se pojavljajo posamezne napake, ki posledično vodijo v povečano količino izmeta, in opisati vse postopke, s katerimi jih poskušamo omejiti oziroma odpraviti. Proučimo in opišemo načine za preverjanje kakovosti polizdelkov in zagotavljanje zanesljivosti procesa.

Z analizo končnega izmeta in postopkov, ki zmanjšujejo količino izmeta, bomo v podjetju HSS bolje razumeli, katere napake se najpogosteje pojavljajo, in glede na pridobljene podatke podrobneje proučili procese, ki naj bi jih odpravljali. Z boljšim razumevanjem nastanka posameznih napak bomo prispevali k hitrejši odpravi napak in posledično k zmanjšanju količine izmeta. Cilj je predlagati morebitne predelave oziroma izboljšave postopkov, zmanjšati reakcijski čas za odpravo napak, povečati preglednost, s tem pa olajšati delo novim generacijam lakircev in zmanjšati stroške podjetja zaradi nepotrebnega izmeta.

1.3 PREDSTAVITEV PODJETJA HELLA SATURNUS SLOVENIJA, D. O. O.

HSS ima več kot stoletno tradicijo in je del mednarodnega koncerna HELLA ter eden največjih dobaviteljev avtomobilske industrije na svetu. Od začetka leta 2022 je večinski lastnik postalo podjetje Faurecia, ki je združilo moči pod skupnim imenom FORVIA. Podjetje sodeluje z najpomembnejšimi svetovnimi proizvajalci

avtomobilske industrije, kot so Volkswagen Group, Mercedes-Benz Group, BMW in še mnogi drugi. Glavne dejavnosti podjetja so razvoj, proizvodnja in trženje komponent in sistemov svetlobne tehnike ter elektronike, kot so na primer žarometi, dodatni žarometi za meglo, žarometi za dnevno vožnjo, notranja svetila oziroma t. i. ambientalna razsvetljava, eno- in večfunkcijske svetilke. V podjetju je približno 2000 zaposlenih, med njimi je mnogo strokovnjakov s področja strojništva, fizike in elektronike.

Proizvodnja je razdeljena na proizvodnjo komponent in končno montažo proizvodov. Diplomsko delo je izdelano na podlagi podatkov in postopkov lakirne linije oddelka KAS 1, ki sodi k proizvodnji komponent in vključuje brizganje, zunanje lakiranje, del pa je namenjen notranjemu lakiranju, tako imenovanemu I-kas. Gre za avtomatizirano lakirno linijo, kjer je ob nemotenem delovanju človek potreben le na koncu, da polizdelek oziroma v našem primeru avtomobilsko lečo vizualno pregleda in odkrije morebitne napake.

1.4 PREDPOSTAVKE IN OMEJITVE

Izmet nastane v vseh fazah proizvodnje izdelkov in polizdelkov, naša naloga pa je, da ga zaznamo in omejimo. Za učinkovito odpravljanje napak je treba dobro poznati proces in njegove pomanjkljivosti. Tako lahko že vnaprej predvidimo, kje bi se posamezne vrste napak lahko pojavile, in s preventivnimi ukrepi dosežemo, da se sploh nikoli ne pojavijo. Napake je treba identificirati in odpravljati metodično.

Opis lakiranja in posameznih postopkov lakiranja ter tudi vsi številčni podatki o količini izmeta, ki smo jih uporabili kot del statistike, smo pridobili v oddelku za zunanje lakiranje KAS 1 podjetja Hella Saturnus Slovenija, d. o. o. Vrste napak in izmet, ki smo jih analizirali, so omejeni na določeno časovno obdobje, v našem primeru 13 tednov. Omejeni smo bili na projekte, ki so bili v tem obdobju del redne proizvodnje. Ugotovitve in rezultati se nanašajo zgolj na proces lakiranja. Iz dela so izvzeti vplivi dejavnikov, ki nastanejo v drugih oddelkih v procesu sestave končnega izdelka in so del dejanskega končnega izmeta, a v procesu zunanjega lakiranja nimamo vpliva na njih. Omejeni smo, ker nekatere vrste napak težko opredelimo, kam spadajo, v našem primeru lahko nastanejo že v oddelku brizganja. Vrst napak, za katere ni možno natančno določiti točke izvora, to pomeni, ali so nastale pri brizganju ali pri lakiranju, ni veliko, zato jim v delu ne posvečamo veliko pozornosti, vseeno pa jih nismo mogli zanemariti, saj ne izključujemo možnosti, da nastanejo v procesu lakiranja.

Na koncu procesa lakiranja se zanašamo na človeški dejavnik, saj leče ročno pregleduje zaposleni v kontroli. Pomembna je dobra usposobljenost vseh, ki kose pregledujejo, saj le tako lahko zagotovimo, da se napake hitro opazijo in odpravijo. Morebitne napake, ugotovljene ob vizualnem pregledu leče, se javijo v računalniški

sistem iTAC. Napaka mora biti pravilno identificirana, v nasprotnem primeru je javljena kot napačna vrsta napake, zato na koncu ne dobimo pravilnih podatkov o izmetu.

1.5 METODE DELA

Raziskovanja smo se najprej lotili z iskanjem dostopnega gradiva, ki pa ga ni prav veliko, še posebej ne v slovenskem jeziku. Zato smo se oprli na interno gradivo podjetja, nekaj smo ga našli tudi v knjižničnih sistemih COBISS in DKUM. Gradivo je bilo treba proučiti in izluščiti tisto, kar smo lahko uporabili in vključili v delo. Pri tem je bila uporabljena metoda analize dokumentacije.

V praktičnem delu smo uporabili več metod. Najprej je bilo treba natančno razumeti proces lakiranja, delovanje posameznih postopkov lakiranja in kaj so njihove naloge. Za ta del smo izbrali analitični pristop, saj smo razčlenili celoten proces na posamezne faze, jih proučili in na tak način razumeli nalogo vsake izmed njih. V nadaljevanju praktičnega dela smo uporabili opisno metodo, saj smo postopke opisali in razložili. Spremljali smo podatke in statistiko izmeta, ki je bila javljena preko računalniškega sistema iTAC v obdobju 13 tednov, da bi lahko ugotovili, kateri vzroki za nastanek izmeta se pojavljajo najpogosteje in v kakšnem obsegu. Za to smo v zadnjem delu diplomskega dela uporabili metodo statistične analize.

2 TEORETIČNI DEL

2.1 KONTROLA KAKOVOSTI

Kontrola kakovosti se v industrijah pojavi v začetku 20. stoletja in temelji na specifikaciji oziroma standardih kakovosti. Specifikacija je lastnost ali številčna vrednost lastnosti proizvoda v merljivi ali ocenjeni obliki. Specifikacija oziroma standard predstavlja osnovo za izvajanje kontrole kakovosti (Marolt, 2005).

Kontroliranje pomeni, ali je dejanska vrednost kontrolirane veličine znotraj toleriranih mej ali izven.

Razlikujemo med (Božič, 2009):

- mersko kontrolo, npr. kontrolo trdote materiala, dolžine idr.;
- nemersko kontrolo, npr. kontrolo barvnega/lakirnega premaza;
- kontrolo z oblikovno podobnim telesom (kalibrom), s katerim ugotavljamo, ali geometrična oblika ustreza potrebnim vrednostim.

Funkcija kontrole kakovosti znotraj organizacij je ločena od proizvodnje. Ljudje, ki opravljajo kontrolo, t. i. kontrolorji, izvajajo predvsem kontrolo oziroma preverjanje skladnosti karakteristik kakovosti izdelanih proizvodov s predpisanimi standardi. Brez standarda oziroma specifikacije ni mogoče izvajati kontrole kakovosti, ker ni osnove za primerjavo dejanskega stanja z zahtevanim stanjem. Na osnovi ugotovljenega stanja ločujejo proizvode na ustrezne in na neustrezne (Marolt, 2005).
V podjetju, kjer se izdela velika količina proizvodov, je kontrola nujno potrebna, saj le tako lahko učinkovito preverjamo, ali so proizvodi ustrezni. Neustrezni proizvodi so vsi proizvodi, ki imajo kakršno koli nedovoljeno napako oziroma odstopanje od standarda ali norme, ki jo določi podjetje oziroma kupec. V nekaterih primerih lahko kakovost nadzorujemo s statističnimi metodami z vpeljavo načel variabilnosti procesa in teorijo vzorčenja.

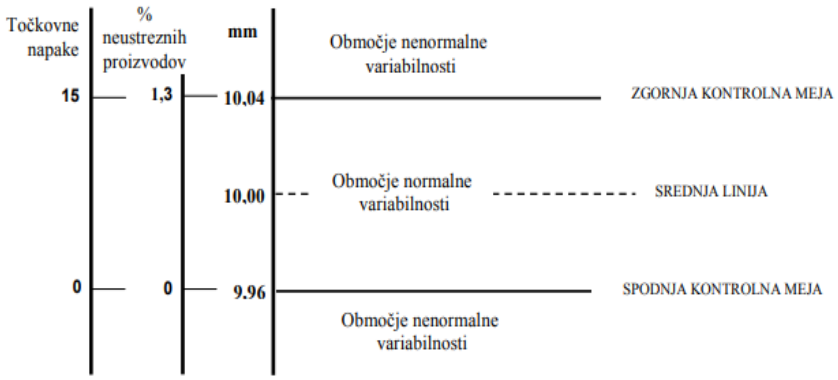
2.1.1 Kontrolne karte

Osnovni namen kontrolnih kart je nadzor in izboljšava procesov s proučevanjem variabilnosti in njenih vzrokov. Delimo jih na sistemske in naključne vzroke.

- Naključni oziroma slučajni vzroki: v procesu jih najdemo zelo veliko, težko jih je identificirati in povzročajo relativno majhen obseg variabilnosti procesa ali stroja. Ob njihovem pojavu je proces še vedno v stanju statističnega nadzora.

- Sistemski vzroki: sistemske napake so tiste, ki jih načeloma poskušamo odpraviti še pred začetkom procesa. Povzročajo večja odstopanja in jih je lažje identificirati. Kadar so prisotne te napake, pravimo, da proces ni v stanju statističnega nadzora (Božič 2009).

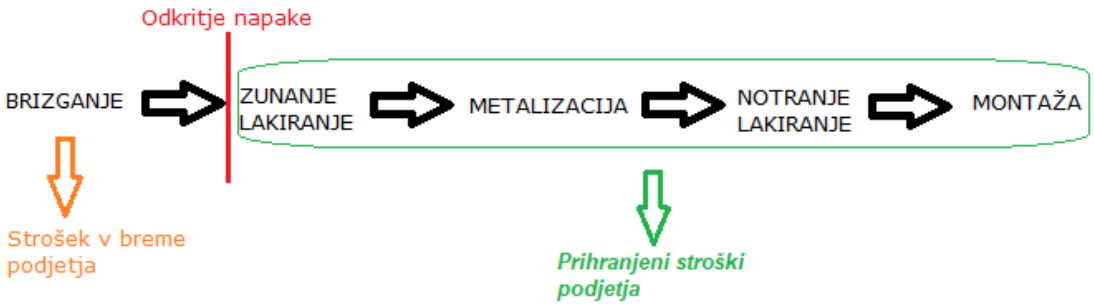
Pri uporabi kontrolnih kart vzamemo iz procesa poljudni vzorec, izračunamo statistiko vzorca in jo primerjamo s srednjo vrednostjo te statistike. Če pride do prevelikega odstopanja statistike posameznega vzorca, proces ni pod nadzorom, ker je nastopil sistemski vzrok in je ena izmed kontrolnih mej prekoračena. Kontrolne meje so izračunane na osnovi dejanskih vrednosti iz procesa, ko je ta predvidoma pod statističnim nadzorom (Marolt 2005).



Slika 1: Grafični prikaz kontrolne karte
(Vir: Marolt in Gomišček, 2005)

2.1.2 Neustrezna kakovost – izmet

Proizvod, ki ne ustreza standardom, se kategorizira kot neustrezen proizvod in predstavlja izmet. Vzroki zanj so lahko različni, na primer neustrezna razvojna dokumentacija, neustrezna proizvodno-tehnološka dokumentacija, neustrezni material ali sestavni deli, neprimerna priprava dela, nepravilno skladiščenje ali ravnanje z materiali, neustrezna tehnična sredstva, napake zaposlenih, napake pri nastavitvi strojev, neustrezno orodje, neustrezna izvedba dela, neopravljen ali pomanjkljivo opravljen pregled, neustrezna programska oprema. Glavna težava izmeta pa so stroški organizacije. Prej ko se v procesu napaka ugotovi, manjši so stroški, saj je proizvod, ki ne ustreza standardom, izločen iz procesa, še preden preide v naslednjo fazo procesa v ciklu izdelave končnega proizvoda. S pravočasno zaznavo napake se izognemo stroškom materiala, stroškom dela, energije, orodja, dodatnih materialov, amortizacije strojev; ti stroški bi sledili pri vseh nadaljnjih procesih po dejanskem nastanku napake (Marolt, 2005).



Slika 2: Zmanjšanje stroškov zaradi neustrezne kakovosti ob pravočasnem odkritju napake
(Lastni vir)

2.3 AVTOMATIZACIJA

»Pojem avtomatično pomeni samodejno, torej nekaj, kar se samodejno odvija in deluje. V industriji to pomeni, da avtomatizacija omogoča samodejno odvijanje raznih delovnih procesov« (Pintarič, 2011, str. 3).

O avtomatizacij govorimo, ko proces za svojo delovanje ne potrebuje prisotnosti človeka. Tehnologija omogoča, da izvrševalne funkcije prevzemajo stroji, roboti ali druge naprave. Za nadzor in načrtovanje pa še vedno skrbijo zaposleni. Avtomatizacija naredi procese stabilnejše in hitrejše, saj se z njo izognemo človeškemu dejavniku, kjer je to najbolj potrebno. S tem zmanjšamo število napak in izboljšamo konstantnost končnih izdelkov ter njihovo kakovost. Zaradi konstantnosti procesa se vsaka sprememba ali odstopanje od predvidenih vrednosti hitro opazi, kar na koncu pomaga zmanjšati število slabih proizvodov, reklamacij in izboljšati poslovanje celotnega podjetja (Kopa, d. d., 2022).

2.3.1 Prednosti avtomatizacije

- Nižji obratovalni stroški. Z industrijsko avtomatizacijo se odpravijo stroški delavcev, prihrani se mesečna plača in vsi stroški, povezani z delavci, ki jih je nadomestil avtomatizirani proces. Kljub visokim začetnim investicijam se na dolgi rok naložba povrne, saj se povečata tudi produktivnost in število dobrih proizvodov.
- Velika produktivnost. Utrujene in izčrpane delavce, ki delajo v treh izmenah, nadomestijo stroji in roboti, ki delujejo neprekinjeno 24 ur na dan, sedem dni v tednu. To pomeni več proizvodov v krajšem času in manj izmeta, kar vodi v večjo produktivnost.
- Prilagodljivost. Če se na liniji doda nek nov proizvod ali nova naloga, je treba, če ni avtomatizacije, šolati in usposabljati kader. Zato je v procesu avtomatizacije veliko lažje, saj se robotom le spremeni program oziroma

naredi manjšo adaptacijo linije. Usposobiti je treba le eno osebo, tehnologa, ki skrbi za nemoteno delovanje linije.
- Varnost. Vsa težka in nevarna dela lahko opravijo roboti in ne človek.
- Visoka kakovost. Z odpravo možnosti človeške napake je kakovost izdelkov večja, manj je slabih proizvodov in posledično manj izmeta.

2.3.2 Slabosti avtomatizacije

- Višja raven vzdrževanja. Stroji potrebujejo redne servisne intervale, da ne prihaja do neželenih okvar in daljših zastojev zaradi neizpravne opreme.
- Visoki začetni stroški. Pri načrtovanju in predelavi avtomatizirane linije porabimo ogromno denarja za drage stroje in robote ter strokovnjake s tega področja, ki postavijo linijo.
- Vedno manj delovnih mest. Zaradi avtomatizacije dela proizvodnje ali celo celotne proizvodnje se zaprejo vsa delovna mesta, za katera je bil prej potreben človek, zdaj pa to delo opravlja robot ali stroj.
- Višja stopnja usposobljenosti zaposlenih. Ljudje, ki skrbijo za nemoteno delovanje celotne linije, morajo biti strokovno usposobljeni, da hitro odpravijo težavo, ne glede na to, kje v procesu se pojavi. Prej je bil en delavec zadolžen le za del procesa, medtem ko je zdaj en delavec zadolžen za celoten proces.

2.4 LAK

Lak je vrsta trdega premaza, ki se nanaša kot zašita na različne vrste materialov. Tekoči premaz navadno vsebuje mešanico naravne ali sintetične smole, sušilno olje ali alkohol, sušilec in hlapno topilo. Med sušenjem laka topila izhlapijo, preostale sestavine pa oksidirajo ali polimerizirajo, da tvorijo trpežen prozoren sloj. S sodobnimi tehnikami lakiranja se lak uporablja za vzdržljive trde prevleke in zaščito različnih komponent. Popularen je postal predvsem v avtomobilski industriji, kjer se uporablja za zaščito luči in površin, ki so bolj izpostavljene vremenskim vplivom in bolj dovzetne za nastanek morebitnih površinskih poškodb oziroma prask.

2.4.1 Zgodovina in razvoj laka

Beseda lak izhaja iz hindujske besede »lakh« in pomeni besedo 100.000 zaradi tisoče majhnih insektov *Kerria lacca*, ki proizvajajo snov lac oziroma shellac, iz katere se s preprostim kemičnim postopkom naredi premaz, podoben laku. Uporabljal se je predvsem v nekaterih azijskih državah. Prvi lak, podoben temu, ki ga poznamo danes, je patentiral Alexander Parkes leta 1855, a se je zaradi pomanjkanja znanja o topilih in osnovnih surovinah za izdelavo uporabljal zelo malo. Pogostejša raba se začne s prvo svetovno vojno, ko se je uporabljal v letalski industriji, topila pa so se razvijala skupaj z razvojem nitroceluloznega eksploziva.

Največji napredek je bilo odkritje topil na osnovi estrov,[1] etil, butil in amil acetatov, kar je pomenilo začetek komercialne in industrijske proizvodnje lakov (Winburn, 1952).

2.4.2 UV-lak SilFORT™ UVHC5000-60 Clear Coat

Ta lak je različica laka z veliko vsebnostjo trdih snovi. Razvit je za uporabo na izdelkih, narejenih iz polikarbonata[2] (PC), ki za sušenje oziroma zamrežitev[3] potrebuje UV (ultravijolično) svetlobo. Aplikacijska prednost UV-laka pred navadnim je predvsem čas sušenja, saj se UV-lak ob izpostavitvi primerni količini UV-svetlobe (od 3 do 12 J/cm^2) posuši v nekaj sekundah. Uporabne prednosti pa so izboljšana odpornost proti nastanku mikro razpok, boljša odpornost proti vremenskim pojavom in svetlobna prepustnost. Preprečuje rumenenje, ki se je v preteklosti z uporabo drugih lakov pogosto pojavljalo predvsem na avtomobilskih lečah po večletni izpostavljenosti UV-svetlobi. Lak SilFORT™ UVHC5000-60 Clear Coat je sestavljen iz hlapljivih organskih komponent, ki niso tako škodljive ljudem in okolju. Zaradi tega je bolj prijazen za uporabo. Nanaša se lahko z lakirno pištolo kot razpršilo. S sistemom odsesavanja laka v lakirni kabini med lakiranjem lahko neuporabljeni prestreženi lak (overspray) s postopkom regeneracije ponovno uporabimo (Performance Materials, 2022).

2.5 OPERACIJSKI POSTOPKI

To so postopki oziroma navodila, ki korak po korak opisujejo procese, nujno potrebne za neko delo. Navadno so specifično prilagojeni vsakemu proizvodu posebej in v skladu z industrijskimi predpisi in standardi. So osnova, ki jo je treba upoštevati za zagotavljanje kakovosti, da ne prihaja do neustreznih proizvodov. Operacijski postopek je osnova delavcem in določa, kako ravnati s proizvodom, način pakiranja, katero embalažo je treba uporabiti, vse materiale in pripomočke, potrebne za uspešno opravljanje dela. Izobešeni so na vsakem delovnem mestu specifično za dotično operacijo.

[1] *Kisikove organske spojine, ki vsebujejo estrsko vez (-COO-).*
[2] *Skupina termoplastičnih polimerov, ki vsebujejo karbonatne skupine.*
[3] *Zamreženje je tvorba kovalentnih vezi med dvema polimernima verigama.*

2.5.1. Delovni list

Delovni list ali dekorativna ocena izdelkov in polizdelkov (Hella norma[4] N67025) je dokument, ki natančno definira vrste napak, kje so sprejemljive in tudi slikovno podkrepi izgled izdelka ali polizdelka s pobarvanim mejnim vzorcem, razdeljenim na cone:

- rdeča cona: po vgradnji na vozilo najbolj vizualno izpostavljen del. Dovoljenih najmanj oziroma skoraj nič napak;
- rumena cona: po vgradnji na vozilo malo manj viden del, navadno rob ali obrobni predel. Dovoljene rahlo večje napake kot pri rdeči coni, napaki dovoljenih dimenzij se lahko ponovita v manjšem razmaku;
- zelena cona: po vgradnji na vozilo zelo malo viden del, navadno spodnji del. Dopustne napake drastično večje, tudi razmik med dvema dovoljenima napakama zmanjšan;
- bela cona: po vgradnji na vozilo nevidni del, navadno lepilni rob ali zadnja stran. Vse vrste opisanih napak dovoljene.

2.5.2 Kontrolni list

Kontrolni list je dokument, v katerem je razpredelnica z najpogostejšimi vrstami napak ter časovnih obdobij. Namenjen je zbiranju podatkov o procesu posameznega projekta. V razpredelnico se ustrezno označujejo napake in čas odkrite nepravilnosti. Na tak način dobimo pomembne podatke, kot so na primer, koliko neustreznih proizvodov izdelujemo, v kakšnem časovnem obdobju so nastali in vrste napak. Kontrolni list nam pomaga, da hitreje zaznamo, ali gre za naključni vzrok ali sistemski vzrok nastale napake, ter služi kot statistični nadzor pri končnem izmetu.

Zadnjih nekaj let je klasični kontrolni list zamenjala elektronska različica. Gre za računalniški program, povezan v sistem podjetja preko etherneta. Vanj se sproti neposredno beleži ves izmet. Je preprostejši za uporabo in predvsem hitrejši, saj ni treba ročno vpisovati vsake napake posebej in napak na koncu seštevati, ampak lahko to naredimo z enim klikom. Program poleg spremljanja izmeta omogoča tudi sprotno javljanje ustreznih oziroma dobrih kosov preko razpisanih nalogov glede na projekt. Kaže dejansko sliko, koliko kosov je treba še proizvesti, koliko jih je že bilo proizvedenih in koliko od teh je neustrezne kakovosti.

[4] *Interni dokument podjetja Hella Saturnus Slovenija, d. o. o., ki opisuje najboljše prakse in standarde v veljavi. V tem dokumentu so določeni normativi specifično za vsak projekt/ področje posebej in je enoten standard za vse Helline družbe v poslovni diviziji Svetlobna oprema (Lighting) po svetu.*

EVIDENCA NAPAK Z ESKALACIJO

VIZUELNA KONTROLA LEČA ASTON MARTIN
LAKIRANJE LEVA IN DESNA (230.665-01/02)

SAP SIFRA	NAPAKE	QG alarm	1. ura	2. ura	3. ura	4. ura	5. ura	6. ura	7. ura	8. ura
			6.00 - 7.00	7.00 – 8.00	8.00 – 9.00	9.00 – 10.00	10.00–11.00	11.00–12.00	12.00-13.00	13.00-14.00
	LEVA		14.00 -15.00	15.00-16.00	16.00-17.00	17.00-18.00	18.00-19.00	19.00-20.00	20.00-21.00	21.00-22.00
			22.00 -23.00	23.00-24.00	24.00- 1.00	1.00 -2.00	2.00 -3.00	3.00 - 4.00	4.00 -5.00	5.00 -6.00
0071	Kapljice laka	2								
0072	Mat površina	3								
0073	Stečen lak	4								
0416	Kos izpadel	3								
0076	Prstni odtisi	3								
0091	Točkovna omočenost	3								
0429	Pike	3								
0428	Črne pike	5								
0005	Praske/ Opraskano	3								
0414	Manipulacija	3								
ŠT. NAPAK NA URO										
										SKUPAJ
	DESNA									
0071	Kapljice laka	2								
0072	Mat površina	3								
0073	Stečen lak	4								
0416	Kos izpadel	3								
0076	Prstni odtisi	3								
0091	Točkovna omočenost	3								
0429	Pike	3								
0428	Črne pike	5								
0005	Praske/ Opraskano	3								
0414	Manipulacija	3								
ŠT. NAPAK NA URO										
Ime in priimek:		**Izmena:**	**Datum:**							**SKUPAJ**

Slika 3: Kontrolni list
(Vir: Hella Saturnus Slovenija, d. o. o., 2022)

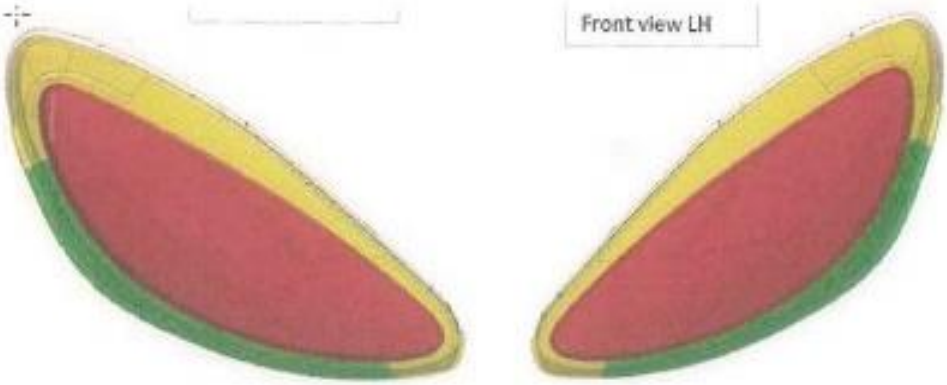
Polizdelek Št.:	230.665-01_02_03_04_11_12_13_14_15_16	Hella- koda izdelka.:	014.274-01_06
Ime izdelka/ Verzija:	PC leča	Kupec koda izdelka:	HRO
Mejni vzorec:	/	Kupec:	Aston Martin
Dobavitelj:	HSS	Številka dokumenta (DIS):	10002257489
Operacija:	Brizganje, zunanje lakiranje, notranje lakiranje in lasersko graviranje		

Položaj A	red Zone	vizuelne cone iz položaja A
Položaj B	yellow Zone	vizuelne cone iz položaja B
Položaj C	green Zone	vizuelne cone iz položaja C

Dekorativne cone so natančneje opisane in določene s pobarvanimi mejnimi vzorci

desna leča

leva leča



Opis con	Rdeča	Rumena	Zelena	Bela
Maksimalna velikost posameznih pik na izdelku	Premer 1 mm	Premer 1.5 mm	Premer 2 mm	Vse opisane napake so dovoljene
Maksimalna velikost napak praske,raze v obliki linije ali čtrte	L = 1 mm	L = 5 mm	L = 10 mm	
Največja dopustna velikost deformacij	1 x 1 mm	3 x 3 mm	10 x 10 mm	
Najmanjša razdalja med dvema največjih odstopanj v polmeru 50 mm	15 mm R50	10 mm R50	5 mm R50	
Fotometrično relevantne površina na reflektorju	Nobene deformacije dovoljene			

Slika 4: Primer dekorativne ocene leče Aston Martin
(Vir: Hella Saturnus Slovenija, d. o. o., 2022)

3 PRAKTIČNI DEL

3.1 PREDSTAVITEV LINIJE ZA ZUNANJE LAKIRANJE KAS 1

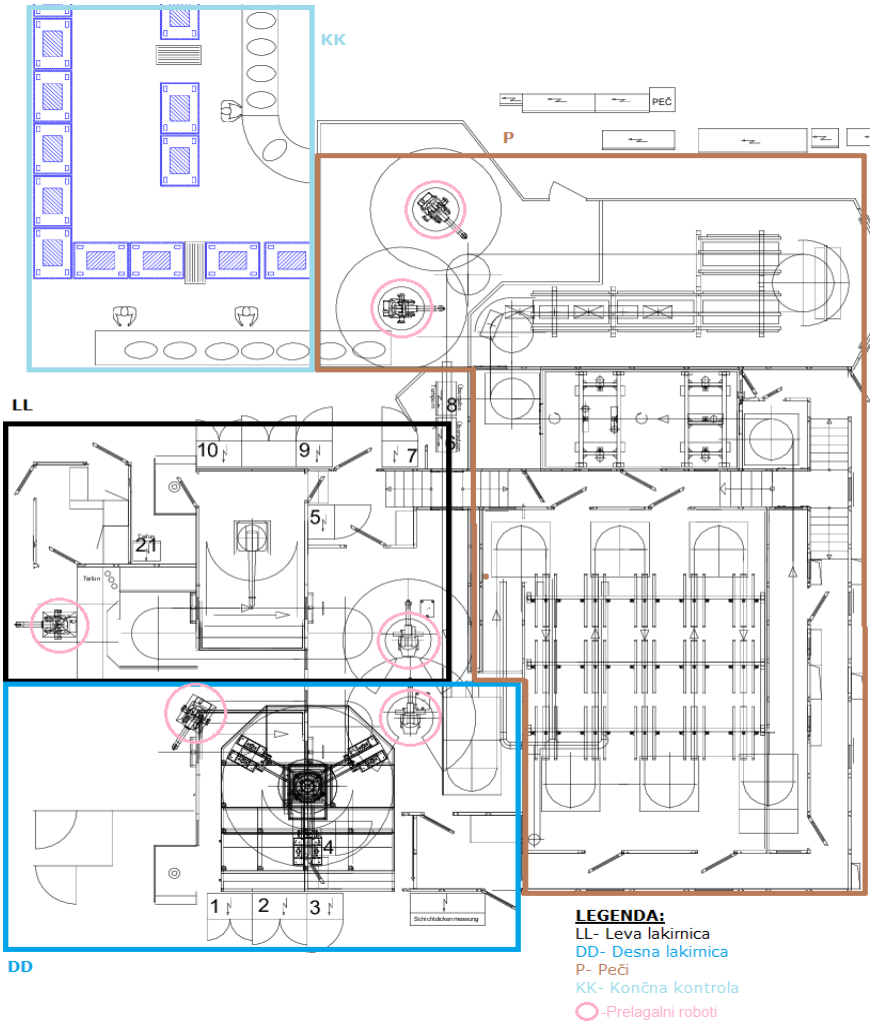
KAS 1 je v celoti avtomatizirana linija od brizganja do končne kontrole, delavec je potreben le pri končnem pregledu in pakiranju leč. Deli se na levo in desno lakirnico. Do obeh lakirnic vodi montrac,[5] avtonomni transport, ki je v zaprtem prostoru s filtracijo zraka, da se leče med transportom ne onesnažijo z delci in nečistočami iz ozračja. Pred obema lakirnicama stoji prelagalni robot. Njegova naloga je, da leče, ki prihajajo največkrat v parih, prime s posebnim prijemalom in jih odloži v namenske šablone, eno po eno. V levi lakirnici so šablone pritrjene na premične, dvižne postaje, ki se premikajo s pomočjo mokre verige,[6] ki skrbi za transport skozi lakirno kabino. Desna lakirnica za transport uporablja vrtljivo mizo s tremi pari postaj, na katere so pritrjene lakirne šablone. V lakirni kabini je lakirni robot, ki s prednastavljenimi programi polakira lečo v šabloni in se nato s pomočjo omenjenega transporta lakirana leča premakne na mesto prelaganja na sušilni transportni trak, imenovan suha veriga. Skupni prostor med obema lakirnicama in suho verigo vsebuje dva prelagalna robota, ki preložita lečo iz šablone na nosilec na suhi verigi. Tako imenovana suha veriga skrbi, da se lakirane leče s konstantno hitrostjo premikajo skozi naslednje peči:

1. IR (infrardeča)[7] peč,
2. UV-peč,
3. temperirno peč,
4. temperirno peč 2K.

Prelagalni robot po končanem sušenju in temperiranju leče iz suhega transporta prestavi na tračni transport, kjer se leče delno ohladijo. Sledita vizualni pregled leče in končna kontrola pred pakiranjem in transportom v naslednji oddelek.

Za opisani postopek od prevzema kosov na montracu do končne kontrole potrebujemo približno 10 minut za lečo za levo lakirnico in 35 minut za lečo za desno lakirnico. Vse leče iz desne lakirnice gredo na koncu še skozi temperirno peč 2K, medtem ko leče iz leve lakirnice tega postopka ne potrebujejo, zato se za njih postopek sušenja konča hitreje.

[5] *Avtonomni tirni transportni sistem, ki povezuje med seboj delovne prostore in procese med roboti s tirnicami, po katerih krožijo električno gnani vozički.*
[6] *Veriga, ki jo poganja elektro motor in ima sprotno mehansko podmazovanje.*
[7] *Infrardeče valovanje, valovna dolžina od 700 nm do 1 mm.*



Slika 5: Načrt lakirne linije KAS 1
(Vir: Hella Saturnus Slovenija, d. o. o., 2022)

3.2 POSTOPKI ZA ZMANJŠANJE KOLIČINE IZMETA PRED LAKIRANJEM

3.2.1 Lakirna podlaga

Leče, ki se izdelujejo V oddelku KAS 1, so iz plastične mase, ki spada k termoplastom,[8] bolj natančno iz polikarbonata [-ORO-C(O)-] n. To je material, ki se uporablja pri brizganju in je osnova za nanašanje lakirnega sloja. Poznati je treba njegove lastnosti, da lahko vemo, kako se bo material odzval ob stiku z lakom in kako se bo obnašal pri IR- in UV-sušenju v pečeh pri visokih temperaturah. Polikarbonat je material, ki ga pogosto srečamo v avtomobilski industriji. Je eden

[8] *Snovi iz nitkastih molekul, sestavljeni iz polimernih verig, ki so povezane z močnimi kovalentnimi vezmi (Božič, 2011).*

največ uporabljenih plastičnih mas, saj je preprost za oblikovanje in obdelavo, pomembni lastnosti predvsem pri izdelavi avtomobilskih leč pa sta zelo dobra optična prozornost in UV-stabilnost. V našem oddelku se leče brizgajo iz polikarbonatov Makrolon AL2447, Makrolon 2405 in Lexan LS, odvisno od projekta in zahtev, a zaenkrat so se ti trije materiali izkazali za najbolj primerne.

Površina leče mora biti kar se da čista in suha, saj vsaka nepravilnost, smet, mast itd. na površini pomeni potencialno napako, ki vodi v izmet. Ohranjanje čistosti površine leče pred lakiranjem je pomembna faza procesa, saj pozneje v procesu ne moremo več vplivati na tisto, kar je ujeto pod slojem laka. Večina nečistoč oziroma delcev je še veliko bolj opazna, ko čeznje nanesemo lak, saj nastanejo manjše izbokline, ki niso le vizualno bolj opazne, ampak se tudi čutijo ob dotiku površine leče. Zato gre vsaka leča na tirnem transportu do lakirnice čez serijo postopkov, ki skrbijo, da so s površine leč odstranjeni delci umazanije oziroma potencialne nepravilnosti, ki lahko padejo na lečo v postopku brizganja ali transporta od brizgalnega stroja do lakirne kabine.

3.2.2 Prepihovanje in razelektritev leč

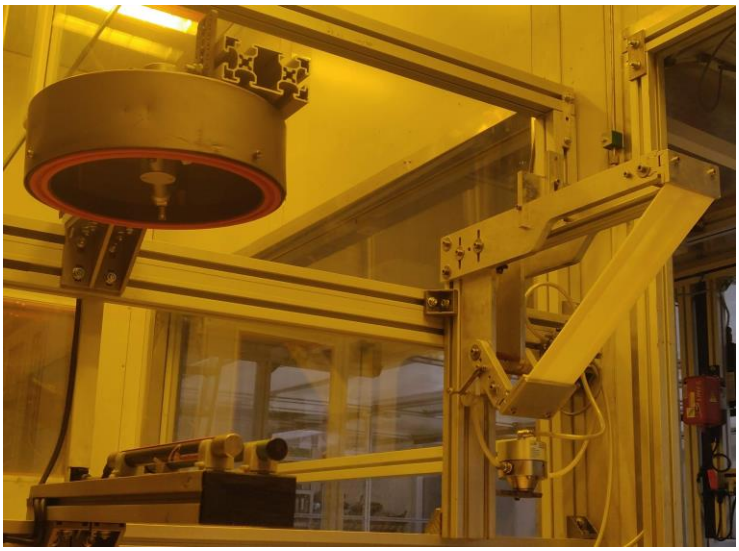
Da bi med avtomatskim transportom leč z vozički, na katerih so naloženi nosilci in na njih leče, prek montraca preprečili kontaminacijo lakirne površine, se leče na poti od brizgalnega stroja do lakirnice dvakrat ustavijo pod ionizacijo.[9] Aktivna ionizacija je sistem šob na usmerjeni stisnjeni zrak in električni tok, ki ustvarja pozitivne (katione) in negativne (anione) ione,[10] s čimer nevtralizira naboj površine. S tem dosežemo elektrostatično razelektritev leč in posledično zmanjšamo privlačnost prašnih delcev in umazanije na lakirno površino.

Leče po montracu pridejo do prvega prelagalnega robota, ki stoji tik pred lakirno kabino. Tu se površina leče še zadnjič spiha in razelektri. Za ta postopek uporabljamo čistilni sistem Taifun, ki uporablja vrteče šobe na stisnjeni zrak, tlak zraka je od 1 do 3,5 bara. Okoli šob na robu ohišja so nameščene ščetke iz prevodnih vlaken, ki ustvarjajo statični naboj in ionizirajo izpihani zrak, pod katerim robot vodi lečo, tako da je površina v katerem koli trenutku oddaljena približno 10 centimetrov. S spodnje strani sta za najboljši rezultat nameščena še dodatna cev in sistem ščetk za razelektritev leče tudi s spodnje strani. Pri tem postopku močan tlak prepihovanja spiha s površine še najbolj trdovratne delce, ki ostanejo na površju leč po brizganju in med transportom.

[9] *Ionizacija je prehod atoma v ion (Lahajnar, 2001).*
[10] *Ion je električno nabit delec, ki nastane, če atom odda ali sprejme elektrone (Lahajnar, 2001).*

3.2.3 IPA-krpica

Določeni projekti, predvsem velike in dolge leče, se pred odlaganjem v lakirno šablono obrišejo z IPA-krpico. Krpica je nameščena pod kotom 45°, tako da robot lažje vodi lečo pod njo. Njena naloga je preprečevanje luščenja laka na določenih točkah. V procesu brizganja leč namreč nastajajo plini, tako imenovani UV-stabilizatorji in ločilci, ki med drugim tudi pomagajo lečam, da se lažje odlepijo iz brizgalnega orodja. Nekaj teh zaostalih plinov tudi po transportu do lakirnice še vedno ostane na površju leče. Dokončno se je znebimo oziroma jih zmanjšamo do te mere, da ne vplivajo več na poznejši proces, ravno z brisanjem z IPA-krpico.



Slika 6: Levo taifun in desno krpica IPA
(Lastni vir)

3.3 POSTOPKI ZA ZMANJŠANJE KOLIČINE IZMETA MED PROCESOM LAKIRANJA

3.3.1 Lakirna šablona

Lakirna šablona je podlaga, kamor se odloži leče, ko pridejo do lakirne kabine. Šablone so v parih leva za levo lečo in desna za desno lečo in so oblikovane specifično za vsak projekt posebej. Ob menjavi projektov se zamenjajo tudi šablone, ki morajo biti suhe in očiščene, da se leče ne kontaminirajo z ostanki zasušenega laka ali vode v sistemu za prepihovanje leče. Sestavljene so iz naležne plošče, ki se pritrdi na dvižno postajo, na kateri sta fiksni in dvižni del. Vrh šablone je oblikovan po obliki leče vsakega projekta posebej in ima ob robu utor, kamor se usede leča, ko jo robot spusti pri odlaganju. Namen utora je fiksiranje leče med transportom in zaščita, da lak med lakiranjem ne pride na spodnjo stran leče. Dodatna zaščita, ki

preprečuje prehod laka na spodnjo stran, je stisnjeni zrak, ki je priklopljen na vsako šablono posebej. Na vrhu šablone so čez celotno površino narejene šobe z usmerjevalnimi ploščicami, katerih naloga je, da enakomerno razpršijo tlak vpihanega zraka s spodnje strani leče in tako ustvarijo nadtlak. Ta izpodrine ves lak, ki bi se drugače prijel na spodnjo stran leče, kar bi pomenilo neustrezen proizvod oziroma t. i. not o. k. (NOK) kos.

Šablone so nameščene na lakirne postaje, ki so del lakirnega transporta. Vsaka postaja ima svoj dotok stisnjenega zraka, ki služi tako za dviganje in spuščanje šablon kakor tudi za prepihovanje. Vsaka postaja je opremljena z dvema mazalnima kartušama, ki skrbita za konstantno podmazovanje in zmanjšanje obrabe vodil, na katerih je privijačena šablona. Namen dvigovanja in spuščanja postaje je, da odpremo šablono in naredimo prostor prelagalnemu robotu na mestu za nalaganje, da nemoteno odloži lečo v šablono. Ko robot opravi svoje delo in se odmakne v osnovni položaj, se šablona zapre in premakne naprej v lakirni položaj. Postopek se ponovi na drugi strani lakirne kabine, ko se na odvzemnem položaju šablona odpre oziroma spusti, da lahko drugi prelagalni robot vzame sveže polakirano lečo iz šablone in jo preloži na sušilni transport.

3.3.2 Lakirna kabina

Avtomatska lakirna kabina, kakršno uporabljamo v našem oddelku, je sestavljena iz lakirnega robota, lakirnega transporta in sistema za odsesavanje odvečnega laka. Lakirni transport v levi lakirnici je verižni transport s štirimi postajami. Vsaka postaja nosi eno šablono, v katero se odloži ena leča. Na verigo so pritrjene v zaporedju leva, desna, leva, desna. To pomeni, da lahko naenkrat lakiramo dva različna projekta, prvi kos je vedno levi in nato desni.

V desni lakirni kabini namesto verižnega transporta uporabljamo vrtljivo mizo, kjer so postaje fiksirane na tri vrtljive roke. Na vsaki roki sta dve postaji, leva in desna, kamor se pritrdijo šablone. Na vsaki roki je lahko en projekt, kar pomeni, da lahko v desni lakirnici lakiramo tri projekte hkrati. Transportni sistem ima odlagalno mesto, lakirno mesto in odvzemno mesto. Vsako od teh mest ima pripadajočega robota, ki skrbi za lakiranje ali prelaganje leče z enega transportnega sistema na drugega.

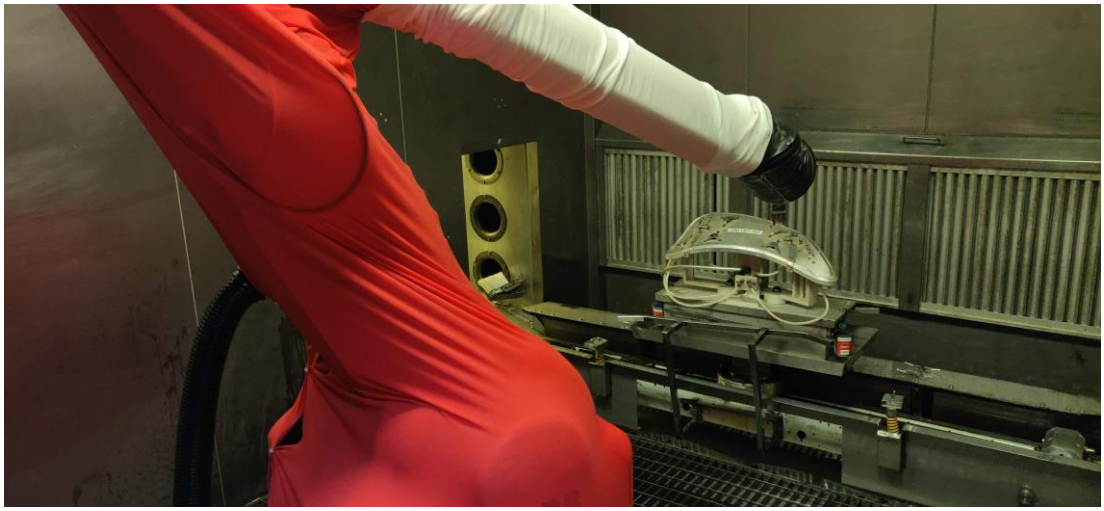
V kabinah je nameščen prezračevalni sistem, ki skrbi, da med lakiranjem lak ne zapušča lakirne kabine. Gre za zračne zavese, nameščene ob lakirnem mestu, namenjene odsesavanju odvečnega laka, ki ostane v zraku po lakiranju. Od tam gre odsesani zrak z vsebnostjo laka skozi izločevalnike laka, ki lak prestrežejo in vrnejo v zbiralnik laka. Odvečni lak, ki je odsesan ob lakiranju zaradi overspraya, se zbira v sodih. Ta lak se regenerira in ponovno uporabi.

Z odsesavanjem ni možno prestreči popolnoma vsega odvečnega laka, nekaj se ga prime tudi na strani šablone, lakirni transport in notranjost lakirne kabine, zato so tla lakirne kabine sistem rešetk, kamor kaplja oziroma se steka odpadni lak. Rešetke služijo kot filter, ločijo umazanijo od laka, ki se ga nato prečrpa v sod, namenjen za shranjevanje odpadnega laka, ki nadaljuje pot na sežig.

3.3.3 Lakirni robot

Za celoten proces lakiranja v oddelku skrbi šest šestosnih robotskih rok znamke ABB. Vsaka ima prilagojeno prijemalo ali nosilec glede na funkcijo, ki jo opravlja, za prelaganje leč iz enega na drugi avtomatizirani transport oziroma iz ene v drugo fazo procesa. V lakirnih kabinah lakiranje izvajata dva lakirna robota istega proizvajalca. Gre ravno tako za šestosni robotski roki, prilagojeni za potrebe lakiranja. Namesto prijemala imata nameščeno lakirno pištolo in nadeto zaščitno obleko, ki ju varuje pred lakom.

Lakirni programi za nanašanje laka na lakirno površino so razdeljeni na posamezne brushe. Vsak brush predstavlja eno linijo nanosa laka, brushi se med seboj prekrivajo. Tako dosežemo enakomerni nanos čez celo lečo. Vsak brush je sestavljen iz več točk, s katerimi lahko spreminjamo položaj lakirne pištole glede na površino in hitrosti, s katerimi se giblje med njimi. Lakirna pištola mora biti v vsaki točki lakiranja orientirana pravokotno na lakirno površino in od nje oddaljena 12 centimetrov. Tekoči lak SilFORT™ UVHC5000-60 Clear Coat, ki ga uporabljamo, je preko sistema speljan do lakirne pištole. Z odpiranjem in zapiranjem igle, ki dozira lak in komprimirani zrak, ki preko šob na kapi pištole razprši lak, dobimo želeni vzorec nanosa v obliki elipse. S spreminjanjem tlaka v šobah lahko spreminjamo širino in dolžino lakirnega vzorca. Debelina nanesenega laka mora biti enakomerna na vseh delih leče (rdeča cona) in je med 8 µm in 16 µm z izjemo lepilnega roba. Na lepilnem robu je zahtevana cona brez laka. Lepilo se lepi neposredno na PC in se tako zagotovi stabilno adhezijo. Na debelino nanosa laka vpliva tudi brush faktor. Nastavljen mora biti tako, da ob merjenju pretočnosti laka kaže pretok 2,2 mg/s s toleranco +/–0,1 mg/s. V primeru, ko ne dosegamo tolerančnih mej debeline laka na večjem delu leče, lahko to reguliramo tudi s spremembo brush faktorja. Za spremembo debeline laka le na delu leče oziroma v posameznih točkah se to spremeni v programu RobView, kjer z regulacijo hitrosti premika med točkami ali spremembo dozirane količine laka na posameznih brushih zmanjšamo ali povečamo debelino nanosa na določenem območju leče.



Slika 7: Lakirni robot in v ozadju lakirna šablona
(Lastni vir)

3.4 SUŠILNE PEČI

Po postopku lakiranja se leče iz lakirnega transporta z drugim prelagalnim robotom preložijo na sušilni transport, imenovan tudi suha veriga. Gre za verižni transport s 119 pritrjenimi univerzalnimi nosilci, na katere robot odlaga lakirane leče ne glede na vrsto projekta. Veriga kroži s konstantno hitrostjo 0,14 m/s in že, kot ime pove, nima avtomatskega podmazovanja verige, saj bi pogosto mazanje verige pomenilo več izparevanja olj, s čimer bi se lahko onesnažil lakirni nanos, kar posledično privede do napake – neomočenosti.[11] Leče nato sušilni transport na nosilcih vodi skozi vrsto peči, kjer se lak posuši, da dobi želene končne lastnosti trdega zaščitnega premaza.

3.4.1 IR-peč

Prvi sklop peči je IR-peč, v kateri je pet con, vsaka cona pa sestoji iz treh sklopov grelnikov, ki jih sestavlja več IR-panelov. Nameščeni so v dveh ravneh, centralno nad transportom in levo in desno pod kotom 90°. Temperatura grelnikov se giblje med 220 °C in 340 °C, odvisno od položaja. Pot leče, ki jo opravi pod grelniki od vstopa do izstopa iz IR-peči, traja 260 sekund, površina leče pa doseže maksimalno temperaturo 65 °C. S to pečjo primarno dosežemo izparevanje topil iz laka, poleg tega je njen namen enakomerno razlivanje lakirnega nanosa po celotni površini, da ne nastane struktura pomarančne kože. Med slojem laka in lakirno površino nastane medplast, imenovana interpenetracijska plast (interpenetration layer, IPL). To je plast, ki nastane s penetracijo laka v vrhnji sloj lakirne površine, v našem primeru polikarbonata, in skrbi za adhezijo med njima. S spreminjanjem temperature peči

[11] *Drsenje laka stran od točke, ki je onesnažena, navadno mastna oziroma oljnata površina.*

vplivamo na hitrost izparevanja topil iz laka in s tem na debelino IPL-sloja. Debelina IPL-sloja je predpisana in se jo meri skupaj z debelino lakirnega nanosa.

3.4.2 UV-peč

Leča s sušilnim transportom po IR-peči nadaljuje skozi UV-peč. V peči je 12 UV-žarnic, nameščenih levo, desno, centralno in pod kotom 45° od suhe verige. Ker uporabljamo UV-lak, se lak ob izpostavljenosti UV-svetlobi strdi oziroma zamreži, kar pomeni, da se lakirni nanos posuši ob ravno pravi dozi UV-svetlobe. Leče so izpostavljene 95 sekund UV-žarnicam z močjo med 100 W/cm^2 in 200 W/cm^2. Ker se leče med sušenjem gibajo s sušilnim transportom pod UV-žarnicami, je še toliko bolj pomembno, da je oddaljenost žarnic ravno pravšnja in da so vse leče odložene enako na nosilce sušilnega transporta. Leče so različnih oblik, nekatere bolj kompleksnih, druge manj, zato lahko nepravilni položaj leče na nosilcu ali premaknjena žarnica vodi do neposušenega lakirnega nanosa na delu leče, saj ni prejela zadostne količine UV-svetlobe.

Slika 8: UV-žarnice nad sušilnim transportom
(Lastni vir)

3.4.3 Temperirna peč

Temperirna peč je namenjena sproščanju notranjih napetosti med polikarbonatom in lakirnim nanosom. Leče gredo v to peč neposredno iz UV-peči, kjer se je lakirni premaz posušil. Brez temperiranja bi zaradi notranjih napetosti med lakirnim nanosom in polikarbonatom nastale geometrijske spremembe leče in posledično bi lak popokal. Da se to ne zgodi, je v peči nad sušilnim transportom nameščenih šest

con IR-grelnikov. Vsaka cona ima pet sklopov grelnikov, ki jih sestavljajo IR-paneli, nameščeni nad suhim transportom, levo in desno in s spodnje strani. Odvisno od položaja IR-panela je temperatura nastavljena med 305 °C in 440 °C, površina leče pa doseže temperaturo med 110 °C in 125 °C. Celoten postopek temperiranja traja 100 sekund. Ko pridejo leče iz temperirne peči, jih tretji prelagalni robot preloži na tekoči trak. Tam se ohladijo in premaknejo do končne kontrole, kjer se preveri, ali so leče v skladu z normativi. Če niso, se jih zavrže in prijavi kot neustrezni proizvod – izmet.

Podoben namen ima tudi zadnja peč v procesu, tako imenovana temperirna peč 2K. Namenjena je sproščanju notranjih napetosti med dvema komponentama oziroma materialoma. Novejše leče so dvobarvne, in sicer imajo sredinski prozorni del in črno obrobo. To pomeni, da so leče brizgane iz dveh različnih polikarbonatov. Ker ima vsak material svoje lastnosti, prihaja do napetosti med njima, kar vodi v krivljenje, pokanje in odstopanje pri geometrijskih meritvah. V temperirni peči 2K tretji prelagalni robot 2K leče iz suhe verige odloži na štirinivojske nosilce, ki jih nato četrti prelagalni robot odloži na transport v peči. Leče na nosilcih krožijo v peči 20 minut pri temperaturi 125 °C, ki jo dosežemo z vpihovanjem vročega zraka v peč. Ko leče naredijo krog, jih isti prelagalni robot skupaj z nosilci odstrani iz peči in odloži na drugi tekoči trak, kjer se ohladijo in nadaljujejo proti končni kontroli in postopku pakiranja.

3.5 PREVENTIVNI POSTOPKI ZA ZMANJŠANJE KOLIČINE IZMETA

Da lahko trdimo, da je proces znotraj statističnega nadzora, se je treba prepričati, da niso prisotne sistemske napake. Tovrstnim napakam se najlažje izognemo z rednimi servisi, tedenskim čiščenjem in z rednim popisovanjem in nadzorom parametrov. Do sistemskih napak naj ne bi prihajalo oziroma v čim manjšem obsegu. Saj na primer nepravilno nastavljen parameter v procesu ali nepravilno delovanje lahko pomeni močno povečan izmet, pride lahko tudi do celotne serije slabih proizvodov. Zato je pomembno, da se jih ob morebitnem pojavu kar se da hitro identificira in odpravi. Vrsto preventivnih postopkov se naredi pred zagonom ali ob zagonu linije, da z njimi ne motimo delovanja procesa in s svojo prisotnostjo ne kontaminiramo proizvodov in povzročamo dodatnega izmeta.

3.5.1 Celovito produktivno vzdrževanje

Celovito produktivno vzdrževanje (total productive maintenance, TPM) je metoda menedžmenta za izboljšanje učinkovitosti proizvodne opreme. Namen TPM-ja je maksimalno izkoristiti stroje, da pri rednem delovanju ne prihaja do nepotrebnih izgub, proizvajati izdelke brez popravila ali izmeta, zmanjšati stroške in proizvajati zahtevane količine v najkrajšem možnem času. S TPM-jem sistematično v rednih intervalih preverjamo brezhibno delovanje strojne opreme (DEMETRA, 2022).

TPM izvajamo v tedenskih intervalih pred zagonom proizvodnega procesa. Obsega naslednje postopke:

- čiščenje prelagalnih prostorov, robotov in pripadajočih prijemal,
- čiščenje lakirne pištole, kalibracija in merjenje pretoka laka,
- čiščenje lakirnih šablon in transporta v lakirni kabini,
- menjava podmazovalnih kartuš na lakirnem transportu,
- ročno podmazovanje vodil lakirnih šablon in vratc lakirne kabine,
- preverjanje pravilnega delovanje ionizacije in tajfuna pred lakirno kabino,
- preverjanje ravni tlaka na robotih, lakirnem transportu in v sistemu za dovod laka,
- vizualni pregled in vijačenje nosilcev na suhi verigi,
- popis nastavitvenih parametrov,
- preverjanje temperatur in delovanje posameznih grelnikov ali UV-žarnic v sušilnih pečeh,
- testiranje delovanja senzorjev.

Poleg navedenih postopkov se na daljše intervale oziroma po potrebi izvajajo tudi čiščenje sušilnih peči, sušilnega transporta in merjenje jakosti UV-žarnic ter izredna servisna dela.

3.5.2 Klimati

Vsi prostori v procesu lakiranja so klimatizirani. Zrak, ki se vpihuje v prostore, gre skozi sistem filtracije zraka. Ta zadrži delce in umazanijo, ki bi potencialno lahko kontaminirali lakirno površino ali nanos laka. Lakirnica je neposredno vezana na klimate. Ob njihovem nepravilnem delovanju zaradi varnosti lakirne linije ni možno zagnati. Kot del preventivnih metod za zmanjšanje izmeta je treba redno menjevati oziroma čistiti filter v sistemu. Filtri, ki jih uporabljamo, so standardni filtri trdih delcev, kategorizirani po standardu ISO 16890/ EN 779. Filter M6 je klasificiran kot predfilter z zmožnostjo od 60 do 80 % filtracije delcev velikosti 0,4 µm, filter s standardno oznako F9 pa je klasificiran za filtracijo do najmanj 95 % delcev velikosti 0,4 µm (Ventilacija.si, 2021). Klimati zajemajo zunanji in notranji zrak, ki se zmešata. Zrak gre najprej skozi predfilter M6, nato se segreje oziroma ohladi na želeno temperaturo in nadaljuje skozi filter F9 in preko klimatskega sistema do lakirne linije, kjer gre, preden vstopi v čisti prostor lakirne linije, še skozi končni filter Ulpa H15 (Hella, d. o. o., 2022).

3.6 KONTROLA KAKOVOSTI

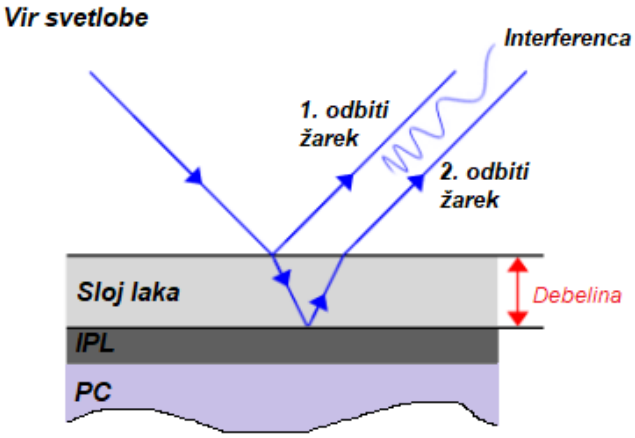
Pri proizvajanju velike količine enakih proizvodov je za nadzor ustreznosti nujno potrebna kontrola kakovosti. Božič (2009, str. 6) navaja: »Specifikacija oz. standard predstavlja osnovo za izvajanje kontrole kakovosti. Šele na osnovi izdelanih in sprejetih standardov je možno izvajati kontrolo kakovosti, ker je kontrola v bistvu preverjanje, ali so izdelani proizvodi v skladu s predpisanimi standardi.«
Za večjo natančnost in hitrejšo zaznavo neustreznih proizvodov se kontrola izvaja na več točkah procesa. Izvaja se v predpisanih intervalih in se lahko razlikuje glede na projekt. Preden leče pridejo do procesa lakiranja, se opravi prvi test kontrole, kjer se leče dimenzijsko izmeri, ali geometrijsko ustrezajo predpisom. Naslednje predpisane kontrole se vršijo na koncu procesa lakiranja, ko je lakirni nanos posušen, in v končnem stanju, kot ga bo na leči prejel kupec.

3.6.1 Merjenje debeline laka

Debelina laka se meri s postopkom interferometrije bele svetlobe s spektrometrom, ki je naprava za merjenje debelin slojev tridimenzionalnih struktur. Deluje po načelu merjenja interakcije elektromagnetnega valovanja bele svetlobe z vzorcem (lečo). Vidna svetloba se deli na barvne spektre, ki so med infrardečo in ultravijolično svetlobo z valovno dolžino med 380 nm in 720 nm. Z disperzijskimi rešetkami v monokromatorju ločimo vidno svetlobo na njene sestavne valovne dolžine, ki so usmerjene na foto detektor. Spektrometer, ki ga uporabljamo, je enožarčni, kar pomeni, da je treba pred meritvami izmeriti absorbanco referenčnega vzorca, šele nato merimo dejanski vzorec oziroma v našem primeru avtomobilsko lečo (Edinburgh Instruments, 2022).

Lakirni nanos merimo s sondo z usmerjenim virom bele svetlobe, ki obsije lečo in lakirni nanos, ter preko optičnih vlaken pošlje odboj svetlobe nazaj spektrometru. Z primerjavo valovnih dolžin in faznega zamika[12] valovanja svetlobe glede na odboj oziroma absorpcijo svetlobe glede na material (sloj), od katerega se svetloba odbija, naprava izračuna razliko oziroma interferenco med dvema različnima valovanjema in z odstopanjem do 0,005 μm določi debelino slojev.

[12] *Razlika med dvema fazama pri valovanju z enako frekvenco.*



Slika 9: Grafični prikaz interferometrije na primeru merjenja debeline laka na leči
(Vir: Engineer's Office for Applied Spectroscopy, 2022)

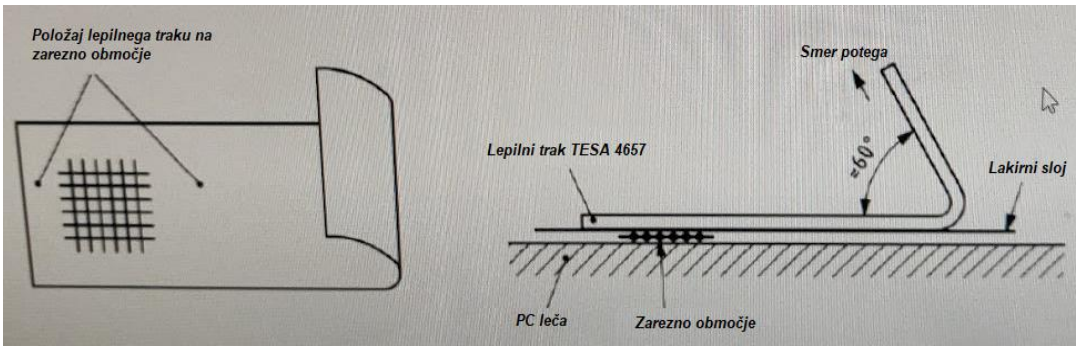
Na vsaki dve uri ali ob zagonu vsakega projekta se preverja debelina lakirnega nanosa, da vemo, ali smo še znotraj tolerančnih mej ali je potrebna kakršna koli korekcija. Debelina lakirne površine mora po celotni površini rdečega območja ustrezati normativom med 8 µm in 16 µm, debelina medsloja IPL pa med 1 µm in 6 µm. Ob zagonu se izmeri celotna površina leče, da se prepričamo, da ni v kateri točki prevelikih odstopanj, na dve uri pa se meri debelina le v točkah 5 in 6, ki ju določi operacijski postopek. Debelina laka se vpisuje v kontrolne karte znotraj programa za statistični nadzor procesov RLS GausSPC, kjer program sam opozori, če vnesemo vrednost izven dovoljenega območja.

3.6.2 Zarezni testi

Zarezni test je preverjanje oprijemljivosti lakirnih površin za PC-leče. Izvajata se dve različici tovrstnega testa, klasični zarezni test in zarezni test z vodno kopeljo. Pri obeh testih se na površju lakirane leče s posebnim nožem s šestimi vzporednimi rezili v razmiku dveh milimetrov z možnostjo rezanja šestih vzporednih zarez istočasno naredi rez vzdolžno po površini leče in nato še rez pravokotno na prvega. Dobimo mrežo s 25 majhnimi kvadrati oziroma polji. Postopek ponovimo v enakomernih razmakih po celotni površini leče. Lečo obrišemo, da na njej ni odvečnih delcev, nastalih pri rezanju. Čez zarezane mreže nalepimo lepilni trak TESA 4657, ki ga nato z enim potegom pod kotom 60° povlečemo stran od površine. Test se ovrednoti na način, da se vizualno preveri površina lakiranega sloja na leči, ali so na proizvodu vidni sledovi luščenja laka in ali so na lepilnem traku vidni sledovi ostankov laka. Če na traku ni videti koščkov laka in na vrezanih mrežnih vzorcih ni videti deformacije kvadratkov, je leča opravila test brez napake. Vrednotenje rezultatov se izvede po normi DIN EN ISO 2409. Uporabljamo GT-klasifikacijo adhezije. Od GT0, s čimer se označi leča brez izgube adhezije, torej da ni vidnih koščkov laka na lepilnem traku in mrežni vzorec na leči ima lepe gladke

vreznine, brez znakov deformacije, do GT5, s čimer označimo lečo s popolno izgubo adhezije, kar pomeni, da na lepilu ostane ves lak s testiranega območja in lak s proizvoda se popolnoma odlušči, mrežni vzorec ni prepoznaven. Pozitivni rezultat testa je GT0 IN GT1, kar je označeno z več kot GT1, se šteje kot NOK-kos oziroma neustrezen proizvod (Hella Saturnus Slovenija, d. o. o.).

Zarezni test z vodno kopeljo je enak test, le da je v postopek dodana vodna kopel, s katero še dodatno obremenimo dele in simuliramo proces staranja. Leče se pred zareznim testom potopi za dve uri v vodno kopel, v kateri je demineralizirana[13] voda, segreta na temperaturo 70 °C. Po preteklem času jih odstranimo iz kopeli in pustimo 30 minut, da se ohladijo na sobno temperaturo. Pred zareznim testom lečo z zunanje strani obrišemo s krpico, namočeno v izopropanol, da je testna površina kar se da čista. Nadaljevanje testa je enako klasičnemu zareznemu testu. Testa se izvajata skladno z operativnimi postopki navadno na začetku vsake nove serije ob zagonu projekta, pri nekaterih projektih pa enkrat na vsako izmeno.



Slika 10: Grafični prikaz zareznega testa
(Vir: Hella Saturnus Slovenija, d. o. o., 2022)

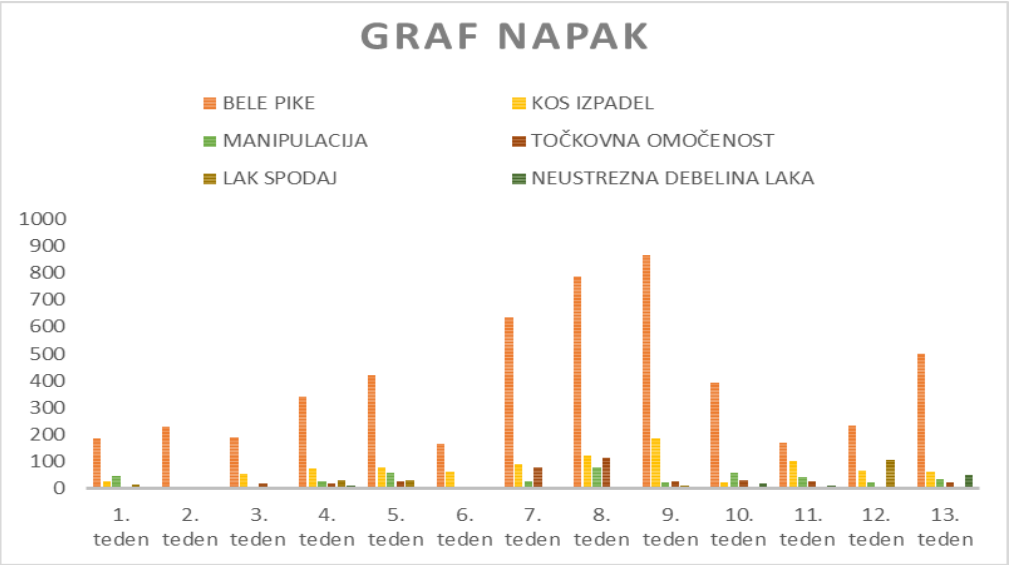
3.7 ANALIZA IZMETA

Za analizo izmeta smo izbrali kvantitativni način raziskave. Iz računalniškega sistema iTAC, preko katerega se javlja napake in končni izmet po projektih, smo 13 zaporednih tednov (od 7. februarja 2022 do 7. maja 2022) zbirali podatke o tipih najpogostejših napak, ki so se pojavljale pri različnih projektih, ki so bili v tem času del rednega proizvodnega procesa v oddelku zunanjega lakiranja avtomobilskih leč KAS 1. Za podrobnejšo analizo izmeta smo uporabili pridobljene podatke o naknadnem izmetu, ki se ga javi naknadno. Gre za napake, ki so bile spregledane pri končni kontroli lakiranja. Opazilo se jih je šele v procesu montaže žarometa. Iz pridobljenih podatkov smo izdelali razpredelnico, v kateri je navedenih šest glavnih vrst napak, ter nato na podlagi razpredelnice za bolj nazorni prikaz oblikovali graf odvisnosti časa in števila napak.

[13] *Demineralizacija je postopek izločitve vseh topnih soli oziroma mineralov.*

TEDEN	BELE PIKE	IZPADLI KOS	MANIPULACIJA	TOČKOVNA OMOČENOST	LAK SPODAJ	NEUSTREZNA DEBELINA LAKA
1. teden	185	25	47	2	14	
2. teden	229		7		3	
3. teden	191	56	7	20		
4. teden	341	76	26	21	31	12
5. teden	422	78	57	27	32	
6. teden	166	62	7	6		
7. teden	634	90	27	80		
8. teden	787	121	78	116		
9. teden	864	186	23	27	13	
10. teden	391	24	59	32		20
11. teden	169	103	44	26		10
12. teden	235	66	22		108	
13. teden	501	61	33	22		52
SKUPAJ	**5115**	**948**	**437**	**379**	**201**	**94**

Tabela 1: Količina izmeta glede na tip napake
(Vir: Hella Saturnus Slovenija, d. o. o., 2022)



Slika 11: Graf odvisnosti količine najpogostejših tipov napak glede na teden
(Vir: Hella Saturnus Slovenija, d. o. o., 2022)

3.7.1 Bele pike

Za nastanek najpogostejše vrste napake, ki se pojavlja v oddelku zunanjega lakiranja leč ali brizganja, je možnih več vzrokov. Bela pika je lahko prašni delec, delec tkanine robotske obleke, delec obrabe orodja ali materiala dela znotraj procesa. Torej kakršen koli delec, ki pade na lečo kjer koli pred procesom, med njim ali po njem, vse dokler se lak ne posuši. Bela pika je na videz in na otip majhna izboklina, saj je lak, ki je prekril delec, ustvaril konveksno lečo nad delcem in optično povečal napako. Težava pri belih pikah je, da je izvor velike večine belih pik že v postopku brizganja, tako da lakirna površina pride do lakirne kabine že kontaminirana. Veliko delcev nam uspe odstraniti s pihanjem ioniziranega zraka na površino leče, ki s površine odpihne večino nečistoč, in z zmanjšanjem statične napetosti leče. Tako zmanjšamo možnost, da bi se na površino tudi po prepihovanju prijel kakšen delec, ki bi ga pozneje prekril lak. Težava nastane, ker so leče, ki pridejo iz brizganja, vroče, kar povzroči, da se delci, ki padejo na lečo, preden se ta ohladi, zapečejo na njeno površino in jih ni možno odstraniti niti s prepihovanjem. Izmet iz procesa brizganja ali lakiranja se beleži skupaj, ker je proces avtomatiziran, vse od brizganja do končne kontrole lakiranja, tako da je treba v primeru pojava belih pik preveriti, od kod sploh izvirajo.

Kar se tiče reševanje problematike pik v lakirnici, se redno opravljajo čiščenje in vzdrževanje lakirne linije (ISO 5 klasa čistega prostora), redno merjenje prašnih delcev v prostoru in menjava filtrov Ulpa H15 za filtracijo zraka, menjava robotskih oblek v lakirnicah v rednih intervalih, zadostno podmazovanje premičnih delov, ki so močno izpostavljeni obrabi, ter redno preverjanje delovanja ionizacijskih naprav. Tudi omejitev vstopov v lakirne prostore med delovanjem druge lakirnice prispeva k zmanjšanju količine belih pik, saj s svojo prisotnostjo in mešanjem zunanjega zraka dodatno kontaminiramo prostor.

Rešitev. Povišanje tlakov za prepihovanje na ionizaciji. Ker je trenutno prevelika količina odjemnikov komprimiranega zraka na trenutnem razvodu, se čaka na dodatno linijo, ki bo omogočala zvišanje tlakov do te mere, da bodo odstranjeni tudi bolj trdovratni delci z lakirne površine.

3.7.2 Izpadli kos

V analizi smo ugotovili, da so drugi najbolj pogost vzrok izmeta pri lakiranju izpadli kosi. Pod to vrsto napake se javljajo vse leče, ki v procesu lakiranja iz različnih razlogov končajo na tleh. Najbolj pogost vzrok, da kos pade na tla, je slab oprijem prijemala robotske roke. Napaka se najpogosteje pojavlja ob zagonih, ko je treba vsak robotski program nekoliko optimirati, še posebej pri projektih, ki se niso delali že dolgo časa. Prijemala na prelagalnih robotih so narejena iz dveh delov, ki skupaj delujeta kot čeljusti. Na prijemalu so nameščene konice, tako imenovane špičke, ki

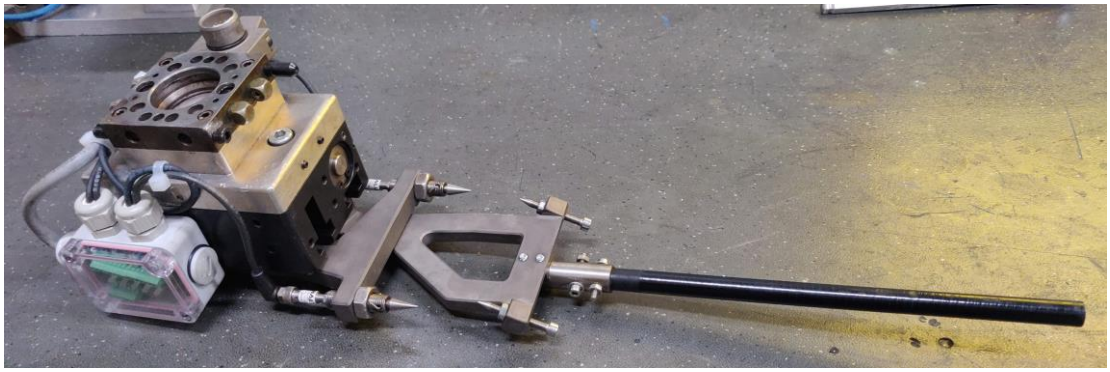
lečo stisnejo na spodnjem robu in jo tako fiksirajo, na drugem delu pa leča sloni na podaljšku prijemala, kar da leči dodatno oporo med prenosom. Tako prijemalo kot špičke imajo nameščen induktivni senzor,[14] ki javi robotu, ali je prijem leče dober. Ko dobi robot vse potrebne signale, da je prijemalo zaprto in da ima dober prijem, robot nadaljuje proces prelaganja. Če niso izpolnjeni vsi pogoji ali če robot med prenosom leče izgubi enega od signalov, se ustavi ali pa gre v poseben položaj za izmetavanje. Temu se v lakirnem žargonu reče, da je robot padel, saj izpusti lečo na tla, robotu pa je treba ročno potrditi program, da se vrne v osnovni položaj, iz katerega lahko nadaljuje prelaganje naslednje leče. Namen takšnega varnostnega sistema je zmanjšati možnost škode, ki bi lahko nastala, če bi nepravilno prijeta leča udarila ob enega izmed delov lakirnice ali ustavila sušilni transport ob odlaganju na nosilce. Izpadli kosi so lahko tudi posledica izgube kalibracije prijemala ali robotske roke ali zlomljenega podaljška prijemala.

Dobra in natančna optimizacija robotskih programov je ključ do zmanjšanja te vrste napak ter redno preverjanje brezhibnega delovanja senzorjev na prijemalu in tlakov komprimiranega zraka na robotski roki, s pomočjo katerega se prijemalo odpira in zapira. Ravno tako je treba redno preverjati stanje konic na prijemalih in prijemala natančno kalibrirati.

Rešitev.

1. Konice prijemala so zdaj fiksne na obeh straneh prijemala, kar pomeni težavo pri sodobnejših oblikah leč, ker je rob leče, kjer prijemalo prime lečo, neraven oziroma pod določenim kotom. Za to je predlagana izboljšava zamenjava vseh prijemal v gibljiva prijemala, pri katerih sprednje konice niso fiksne na prijemalu, ampak so pritrjene na ploščico, ki je vpeta centralno z vijakom in se lahko linearno giba okoli svoje osi. Pri nekaterih projektih se že uporabljajo takšna prijemala in so se izkazala kot dobra alternativa fiksnim.
2. Kamera za zaznavo kosa na montracu, ki ob nepravilno odloženi leči na nosilce pošlje signal prvemu prelagalnemu robotu, da nima izpolnjenih vseh pogojev, da gre lahko v pobiranje leče. V tem primeru bi lečo popravili ročno in se izognili, da bi jo robot spustil na tla ali da bi leča naprej v procesu ustavila transport.

[14] *Senzor, ki preko elektromagnetnega valovanja zazna prisotnost feromagnetnega materiala, kot so železo, jeklo, jeklene zlitine ali nerjaveče jeklo.*



Slika 12: Robotsko prijemalo s fiksnimi sprednjimi konicami
(Vir: Lastni vir)

3.7.3 Manipulacija

Pri tem gre za vrsto napake, kjer se prijavijo vidno poškodovane ali deformirane leče. Vzrok za njihov nastanek je slaba manipulacija z obdelovanim kosom. Manipulacija ima velik nabor možnih izvorov napake. Pri manipulaciji gre načeloma za slabo operiranje z lečo nekje v postopka transporta od lakirne kabine dalje. Najpogosteje se javi manipulacija ob ustavitvi sušilnega transporta, saj leče ostanejo v IR-pečeh dlje časa, kot je potrebno, stojijo na mestu, kar posledično privede do pregretja leče in nepravilnega izločanja topil. To pa pomeni odstopanje pri meritvah debeline laka ali v najslabšem primeru deformacije oziroma posedenost leče. Ob ustavitvi suhe verige se varnostno ugasnejo tudi UV-peči, zato imajo kosi, ki so ostali na suhi verigi, ob ponovnem zagonu sušilnega transporta neposušen lak. Leče, ki so bile v trenutku ustavitve na sušilnem transportu, se javi kot manipulacijo in gredo neposredno v izmet.

Ustavitev sušilnega transporta je posledica nepravilno odložene leče na nosilec. Ob sušilnem transportu so na štirih mestih nameščena varnostna vratca, ki jih nadzoruje stikalo. V primeru premika vratc iz osnovnega položaja se iz varnostnega razloga suha veriga nemudoma ustavi, da ne pride do poškodbe grelnikov in UV-luči znotraj peči. Za nepravilno manipuliranje z lečam se zato šteje tudi, če prelagalni roboti slabo odložijo lečo na sušilni transport. Ker leča ni z vseh strani enako oddaljena od grelnikov, posledično lahko pride do nepravilno posušenega lakirnega sloja ali odstopanja pri meritvah IPL. Ravno tako iz vseh strani ne prejme optimalne količine UV-svetlobe, kar lahko povzroči neenakomerno zamrežitev laka oziroma pojav ledenih rož. Nastanejo predvsem zato, ker se lak zaradi sence na določenem delu ne zamreži dovolj hitro, naredi se skorja, ki se s premikanjem transporta in ob tresljajih grbanči. Ostane dekorativna napaka. V najslabšem primeru pa slabo odložena leča zadane v varnostna vratca, ki povozijo stikalo, s tem pa povzroči ustavitev suhe verige in drastično poveča izmet.

Rešitev.

1. Predelava prijemala, ki bi kos bolj natančno držal, ne glede na obliko leče. Posledično bi bila leča manjkrat nepopolno odložena na sušilni transport.
2. Obsežnejša predelava sušilnih peči. Več prostora bi bilo za odmik IR-grelnikov in UV-luči stran od sušilnega transporta še za nekaj centimetrov, kar bi pomenilo več manevrskega prostora. Posledično bi bilo treba povišati temperature in moč UV-žarnic, da bi bile leče kljub odmiku izpostavljene enakim pogojem.

Slika 13: Ledena roža
(Vir: Lastni vir)

3.7.4 Točkovna omočenost

Točkovna omočenost je napaka, ki nastane v procesu lakiranja leče. Gre za stečeni lak ali kapljico laka, lahko tudi več, ki so kanile na del leče med posameznimi brushi, ko lakirna pištola pri spremembi položaja do naslednjega brusha prekine lakiranje. Točka, kjer igla v pištoli odpre pretok laka čez pištolo, je običajno postavljena nekaj centimetrov pred lečo. Prav tako je točka, kjer igla zapre pretok laka, nekaj centimetrov naprej od lakirne površine. Ker pa včasih to ni možno ali zaradi oblike leče ali skrajnih leg osi robotske roke lakirnega robota, ne preostane drugega, kot da se točke postavijo neposredno nad robove leče. Med odpiranjem in zapiranjem igle se občasno igla prehitro odpre ali zapre, kar povzroči, da nepravilno razpršeni lak kapne na lakirno površino. To je vzrok, da na leči ostane lak v obliki kapljic. Ta vrsta napake lahko nastane tudi zaradi nepravilnega delovanja lakirne pištole, na primer zaradi poškodovane igle, slabega tesnjenja tesnil lakirne pištole ali zaradi prepognjene cevke v robotski roki za dovod komprimiranega zraka do pištole.

Da do tega ne prihaja v večjem obsegu, je treba redno preverjati več dejavnikov: pravilno delovanje lakirne pištole, da se med lakiranjem pravilno odpira in zapira igla; da iz pištole, medtem ko je robot v osnovnem položaju, ne kaplja lak; brushi v lakirnem programu morajo biti optimalno nastavljeni glede na obliko leče; pomembno je tudi, da je kalibracija zrakov pištole uspešno opravljena (na referenčni krivulji ne prihaja do odklonov). Če pištola ni popolnoma brezhibna, jo je treba zamenjati.

Rešitev. Pogosto obnavljanje in vzdrževanje lakirne pištole, menjava tesnil in igle ter redno kalibriranje pištole.

3.7.5 Lak spodaj

Tudi lak spodaj je napaka, ki nastane v lakirni kabini pri postopku nanašanja laka na lečo. Lak spodaj se najlažje opazi, če lečo, ki je lakirana, pogledamo tako, da je v ozadju temna podlaga. Na spodnji strani leče se opazijo gosti oblački majhnih pik, ki nakazujejo, da je lak med postopkom lakiranja prišel na spodnjo stran leče. Obstajata dva glavna razloga za nastanek te vrste napake. Navedena sta v nadaljevanju.

1. Leča ni bila pravilno odložena v lakirno šablono. Če robot odloži lečo v lakirno šablono tako, da rob leče ni popolnoma v utoru lakirne šablone, prepihovanje šablone ne ustvari dovolj nadtlaka s spodnje strani leče. Zrak uhaja skozi luknjo, ki je nastala tam, kjer se leča ni dobro usedla v šablono, in dopušča, da del lakirnega snopa pride med lečo in šablono ter kontaminira površino leče s spodnje strani.

2. Prepihovanje šablone ne deluje pravilno. Vsaka šablona je priklopljena na dovod komprimiranega zraka. Na površini šablone ima enakomerno razporejene šobe, skozi katere piha zrak, ter med spodnjo stranjo leče in šablono ustvarja nadtlak. Če glavna cevka za dovod zraka do šablone ni priklopljena ali če je dovod zraka omejen ali blokiran, prepihovanje šablone ne dela oziroma dela z manjšim pretokom, kar pomeni veliko možnost, da bodo leče onesnažene z lakom s spodnje strani.

Da ne prihaja do te vrste napake, je pred vsako menjavo projekta nujno vizualno pregledati celotno šablono. Preveriti je treba, ali so vse cevke v dobrem stanju, da ni katera razpokana ali zalomljena. Ravno tako je treba pregledati usmerjevalne ploščice na vrhu šob, ali so pravilno fiksirane, saj bi lahko premaknjena ploščica pomenila neenakomerno prepihovanje leče. Lakirna šablona mora biti dobro očiščena in v cevkah ne sme biti ostankov laka.

Rešitev.

1. Za malo overspraya težavo odpravljamo pri brizganju s plazemsko obdelavo. Na površini ustvarimo veliko prostih radikalov,[15] ki enakomerno vežejo nase meglico laka. Posledica tega je, da se overspray ne vidi, ker je enakomerno razporejen.

2. Širši utor za lažje odlaganje leče v šablono. Posledično bi bilo treba dodatno zatesniti luknjo, ki bi ostala med zunanjim robom utora in robom leče, s tesnilom oziroma napihljivo gumijasto obrobo. Napihnil bi jo komprimirani zrak, ki se uporablja za prepihovanje šablone, da lak ne bi mogel priti do spodnje strani leče. Rešitev ni idealna, saj bi bilo treba predelati vse šablone za vsak projekt posebej, kar bi bilo časovno precej zamudno in zapleteno za vzdrževanje.

3.7.6 Neustrezna debelina laka

Na zadnjem mestu po količini napak je neustrezna debelina laka, kar pri manjših odstopanjih ni vidno s prostim očesom. Za preverjanje se uporablja že opisani postopek interferometrije bele svetlobe. Če se pri merjenju ugotovi odstopanje od dovoljene vrednosti, se vse lakirane leče, ki so bile proizvedene med zadnjo dobro meritvijo in tistim trenutkom, blokira in ponovno pregleda, da ne bi prišlo do poznejših reklamacij.

Vsa večja odstopanja debeline laka, predvsem pa neenakomerni nanosi so običajno vidni tudi s prostim očesom ob končni kontroli. Da je na nekem delu leče laka premalo, se opazi kot matirana ali pomarančasta površina.

Pod to vrsto napake se javlja tudi neustrezna debelina medsloja IPL, ki se jo zazna le z meritvijo debeline laka. Manjša vrednost od dovoljene se lahko izraža kot slaba adhezija med lečo in lakom, kar lahko privede do odstopanja laka. Večja vrednost medsloja IPL od dovoljene pa se lahko izraža kot motna leča, saj je nanesenega laka preveč, zato se spremeni prozornost leče.

Ves izmet, vezan na neustrezno debelino laka, je posledica napake v postopku lakiranja. Običajno je napaka odpravljena le z manjšim popravkom hitrosti nanosa laka znotraj lakirnega programa. Če je laka na nekem delu leče premalo, se v tem območju upočasni hitrost gibanja roke lakirnega robota pri nanašanju laka, ali pohitri v primeru, da je laka preveč. Prav tako lahko vplivamo na debelino laka s spremembo oddaljenosti in kota lakirne pištole glede na lakirno podlago v posameznih točkah lakirnega programa. Če preproste korekcije ne zadostujejo, sta potrebna kalibriranje lakirne pištole oziroma tlakov, ki oblikujejo lakirni snop, in ustrezna nastavitev brush faktorja. Če po navedenih postopkih debelina laka še

[15] *Molekula ali atom z enim ali več prostimi elektroni.*

vedno ni v dovoljenem območju, je treba navadno zamenjati oziroma popraviti lakirne pištole.

Rešitev. Takojšna ugotovitev neustrezne debeline laka v trenutku, ko se dejansko pojavi, bi pripomogla k manjši količini izmeta, saj bi lahko hitro ustavili proizvodnjo neustreznih kosov in napako odpravili, še preden bi se število takšnih kosov povečalo. To bi lahko odpravili z bolj pogostimi intervali meritev ali z montažo sistema, s katerim bi na koncu sušilnega transporta samodejno sproti merili debelino nanosa laka na vseh lečah.

4. POVZETEK RAZISKAVE

Raziskava je pokazala, da so najbolj pogosta napaka, ki se pojavlja, bele pike, ki v večini primerov nastajajo v oddelku brizganja. Zaradi kontinuiranega avtomatiziranega procesa se jih odkrije šele po procesu lakiranja. Najbolj učinkovit postopek za odpravo, ki ga uporabljamo, je spihovanje lakirne površine s komprimiranim zrakom in ionizacijskimi napravami. V postopku je že predelava linije, ki bo omogočala še dodatni vod stisnjenega zraka in povečanje pritiska v šobah, ki bo sposoben odpihniti s površine tudi bolj trdovratne delce, ki se prilepijo na vročo lakirno površino.

Druga najbolj pogosta napaka, ki se pojavlja v procesu zunanjega lakiranja leč, je izpadli kos. Optimizacija robotskih programov, da dosežemo čim bolj optimalni prijem leč s prijemalom, je kratkotrajna rešitev, ki se je poslužujemo za vsak projekt posebej, saj vsaka sprememba položaja kosa, preden je odložen in med transportom, lahko vpliva na vse nadaljnje procese. V proces se uvaja uporaba gibljivega prijemala, ki se lažje prilagodi različnim oblikam leč in nudi bolj čvrst prijem leče. V prihodnje pa se načrtuje še dodatna predelava prijemala, saj zaradi specifike novih projektov obstoječe kmalu ne bo več kos nalogi oziroma bo treba univerzalno prijemalo pri posameznih projektih menjati na namenska, ki bodo prilagojena posebej za določene oblike leč. Kamera za zaznavo položaja kosa v bližnji prihodnosti še ni v načrtu, se pa že uspešno uporablja v podjetju na Kitajskem.

Izboljšava prijemala bi pomagala tudi pri manipulaciji, prav tako tudi širjenje in odmik grelnikov oziroma UV-luči ob sušilnem transportu, saj so proizvodi vedno večji in širši, zato trenutna infrastruktura kmalu ne bo več fizično dopuščala transporta takšnih proizvodov. Poteka že predelava nosilcev na sušilnem transportu, da bodo daljši. Na tak način bodo omogočali daljšim proizvodom bolj fiksen transport in manjšo možnost upogibanja materiala pri izpostavljenosti visokim temperaturam.

Točkovna omočenost je napaka, ki nastaja predvsem zaradi težav z lakirno pištolo. V desni lakirnici se uporablja starejša pištola Devilbiss ITW. V kratkem jo bo zamenjala novejša, kakršna je že nekaj časa v uporabi v levi lakirnici, AGMD Pro. Prednost nove so hitreje dobavljivi rezervni deli in novejši ter sodobnejši materiali, ki dlje časa zdržijo konstantno izpostavljenost laku.

Lak spodaj sicer ni pogosta napaka, a kljub temu nek predstavlja delež izmeta. Da ne prihaja do te napake, ima ravno tako pomembno vlogo optimizacija robotskega programa, s katerim lečo odložimo v lakirno šablono, saj je zelo pomembno, da lepilni rob leče kar se da lepo nalega v rob šablone. V nasprotnem primeru ima lak prosto pot, na spodnjo stran leče, kljub prepihovanju. Veliko šablon starejših projektov, ki so redko v uporabi, bi bilo treba obnoviti ali celo zamenjati za nove. Z leti se je material obrabil do te mere, da naležna plošča šablone ni več popolnoma ravna oziroma da odpiranje in zapiranje šablone ne tečeta več brezhibno. Pri takšnih projektih se obraba pogosto kaže v neželenem premikanju leče med transportom z lakirnim transportom ali v dvigovanjem leče iz utora ob zaprtju šablone. Ker leča posledično ne sedi v utoru, kot bi morala, komprimirani zrak ne izpodrine laka in del overspraya kontaminira spodnjo stran lakirne površine. Zaradi stroškov, ki bi bili potrebni za obnovo oziroma zamenjavo starih šablon, se bodo najverjetneje uporabljale še naprej enake. Kmalu pa ne bodo več v uporabi, saj jih bodo nadomestili drugi novejši projekti.

Neustrezna debelina laka je najmanj pogosta napaka izmed analiziranih. Poglavitni razlog za to so redne meritve, ki takoj podajo rezultate o debelina laka. To omogoča hitro korekcijo in odpravo napake v primeru, da pride do odstopanj od normativov. V prihodnje, ko se bo zmanjšalo število človeške sile in avtomatiziralo dele procesa, ki trenutno še niso, menimo, da bi bilo smotrno v proces vključiti tudi sistem, ki bo brez dodatne kontrole že med sušilnim transportom s senzorji premeril ustreznost debeline laka.

5 ZAKLJUČEK

S spremljanjem statistike izmeta v obravnavanem obdobju smo ugotovili, katere napake so se najpogosteje pojavljale v procesu zunanjega lakiranja avtomobilskih leč. Izpostavili smo šest najpogostejših napak, navedli, za kakšne napake sploh gre, in možne vzroke za njihov nastanek. Rezultati so pokazali, da se napaka bela pika izmed najbolj pogostih vrst napak pojavi največkrat, in to kar v 71,3 % primerov, na drugem mestu so izpadli kosi, ki se pojavijo v 13,2 % primerov. Naprej sledijo manipulacija (6,1 %), točkovna omočenost (5,3 %), lak spodaj (2,8 %) in neustrezna debelina laka kot najmanj pogosta napaka, ki zajema 1,3 % izmed analiziranih napak. Z analizo posamezne vrste napake smo ugotovili vzroke za njihov nastanek in opisali postopke, s katerimi so se odpravljale do zdaj, ter na koncu podali možne

izboljšave, s katerimi bi jih lahko potencialno zmanjšali. Velik dejavnik pri javljanju napak med končno kontrolo je človeška napaka, saj se velikokrat zgodi, da kontrola ne identificira napake pravilno in jo javi pod drugo vrsto napake. To težavo bi lahko odpravili z bolj pogostim izobraževanjem kadra in z manj pogostimi rotacijami kontrolnih delavcev med drugimi oddelki. Tako bi imela kontrola več izkušenj z napakami, ki so specifične za oddelek zunanjega lakiranja leč.

Pričakovanja za prihodnost so vpeljava industrije 5.0, kar pomeni, da bodo tudi posamezne faze procesa, ki niso avtomatizirane, sčasoma postale, saj bi s tem še dodatno izključili človeške napake in izboljšali kakovost ter zanesljivost procesa. Namesto končne kontrole bi lahko uvedli avtomatski sistem za zaznavanje napak, kar bi pomagalo pri bolj točni identifikaciji in eliminaciji neustreznih proizvodov. Sledila bi izdelava avtomatskega pakirnega sistema, pri katerem bi robot leče zlagal v ustrezno embalažo. V podjetju pa se že uvajajo avtonomne transportne enote (Automated Guided Vehicles, AGV), ki same brez voznika transportirajo proizvode do skladiščnih prostorov. Ravno tako je že v postopku izgradnja avtomatiziranega skladišča.

6 LITERATURA IN VIRI

Božič, S. (2009). *Kakovost in zanesljivost proizvodnje.* Ljubljana: Zavod IRC.

Božič, S. (2011). *Materiali.* Ljubljana: Zavod IRC.

Demetra-leanway. (b. l.). *Metoda TPM - Total Productive Maintenance.* Pridobljeno 27. April 2022 z naslova https://demetra-leanway.com/metode-2/metoda-tpm/.

Edinburgh Instruments. (2022). *What is a Spectrometer.* Pridobljeno 13. aprila 2022 z naslova *https://www.edinst.com/blog/what-is-a-spectrometer/*.

Fuchs T. (b. l.). *Engineer's Office for Applied Spectroscopy.* Pridobljeno 13. aprila 2022 z naslova http://www.appliedspectroscopy.info/brochures/Application%20Note%20Film%20Thickness%20Measurement.pdf.

Hella Saturnus Slovenija d.o.o. (2022). Interno gradivo podjetja.

Kopa d.d. (b. l.). *Avtomatizacija proizvodnje v 21. stoletju.* Pridobljeno 15. marec 2022 z naslova https://www.vsi.si/kopa/novice/avtomatizacija.

Lahajnar. U. M. (15. 11. 2001). *Kemijska vez in zgradba trdne snovi*. Pridobljeno z naslova http://www.educa.fmf.uni-lj.si/izodel/sola/2000/di/lahajnar/vezi1/index.html.

Marolt J., Gomišček B. (2005). *Management kakovosti.* Kranj: Moderna organizacija.

Momentive Performance Materials Inc. (16.05.2022). *Technical Data Sheet* Pridobljeno 22. marec 2022 z naslova *https://www.momentive.com/docs/default-source/tds/tds-silfort-uvhc5000-60-clear-coat-220406.pdf*.

Pintarič T. (2011). *Avtomatizacija in Robotika: gradivo za 2. letnik.* Ljubljana: Zavod IRC.

Ventilacija.si. (2021). *Klasifikacija filtrov ISO 16890 /EN 779*. Pridobljeno 14. maja 2022 z naslova https://ventilacija.si/kaksne-filtre-lahko-uporabimo/.

Winburn, H. J. (1952). *Lacquer and Lacquering.* Magistrska naloga, Oklahoma: Oklahoma A. & M. College, School of Industrial Arts Education and Engineering Shopwork.