

Površinska obrada drva praškastim lakovima

Šarić, Domagoj

Undergraduate thesis / Završni rad

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Forestry / Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:108:265556>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2021-01-23**

Repository / Repozitorij:

[University of Zagreb Faculty of Forestry](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
ŠUMARSKI FAKULTET
DRVNOTEHNOLOŠKI ODSJEK
ZAVOD ZA NAMJEŠTAJ I DRVNE PROIZVODE

POVRŠINSKA OBRADA DRVA

Domagoj Šarić

Površinska obrada drva praškastim lakovima

ZAVRŠNI RAD

Predmet: Površinska obrada drva

Studij: Preddiplomski studij Drvna tehnologija

Mentor: doc. dr. sc. Josip Miklečić

Student: Domagoj Šarić, 2927/15

Akademska godina: 2019./2020.

Zagreb, srpanj, 2020.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
ŠUMARSKI FAKULTET
DRVNOTEHNOLOŠKI ODSJEK
ZAVOD ZA NAMJEŠTAJ I DRVNE PROIZVODE

Površinska obrada drva praškastim lakovima

ZAVRŠNI RAD

Predmet: Površinska obrada drva

Studij: Preddiplomski studij Drvna tehnologija

Mentor: doc. dr. sc. Josip Miklečić

Student: Domagoj Šarić, 2927/15

Akadska godina: 2019./2020.

Zagreb, srpanj, 2020.

PODACI O ZAVRŠNOM RADU

AUTOR:	Domagoj Šarić 24.12.1996.
NASLOV:	Površinska obrada drva praškastim lakovima
PREDMET:	Površinska obrada drva
MENTOR:	doc. dr. sc. Josip Miklečić
RAD JE IZRAĐEN:	Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet, Zavod za namještaj i drvne proizvode
AKAD. GOD.:	2019./2020.
DATUM OBRANE:	10.7.2020.
RAD SADRŽI:	Stranica: 30 Slika: 8 Navoda literature: 16 Jedinica s interneta: 2
SAŽETAK:	Cilj ovoga rada bio je istražiti mogućnosti obrade različitih vrsta drva i drvnih ploča praškastim lakovima. Istraživanje je obuhvatilo analizu metoda nanošenja praškastih lakova, analizu tehnološkog procesa površinske obrade drva i drvnih ploča praškastim lakovima te analizu prednosti i nedostataka primjene praškastih lakova na drvu.

	IZJAVA O IZVORNOSTI RADA	OB ŠF 05 07
		Revizija: 1
		Datum: 28.6.2017.

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

vlastoručni potpis

Domagoj Šarić

U Zagrebu, 10.07.2020.

Sadržaj:

1.	Uvod	1
2.	Cilj rada	2
3.	Povijest praškastih lakova	3
4.	Svojstva praškastih lakova	5
5.	Veziva u praškastim lakovima.....	8
5.1.	Epoksidna veziva.....	9
5.2.	Hibridna veziva.....	10
5.3.	Silikonska veziva	11
5.4.	Poliesterska veziva	11
5.5.	Akrilna veziva	12
5.6.	UV-otvrdnjavajući praškasti lakovi.....	13
5.7.	Veziva za termoplastične praškaste lakove.....	14
6.	Metode nanošenja praškastih lakova.....	15
6.1.	Nanošenje elektrostatskim štrcanjem	15
6.2.	Fluidizirani sloj.....	19
6.3.	Raspršivanje plamenom	20
6.4.	Metoda i uređaji za horizontalno nanošenje praškastog laka	20
7.	Priprema drva	23
7.1.	Općenito o brušenje	23
7.2.	Brušenje i nanošenje praškastog laka na MDF	24
8.	Prednosti i ograničenja praškastih lakova	26
9.	Zaključak.....	28
10.	Literatura.....	29

1. Uvod

Sredinom prošlog stoljeća razvija se tehnologija i metode nanošenja praškastog laka, prvo za metalnu a potom i drvenu industriju. Uz drvo, njegova primjena počela je i na drvnim kompozitima kao što je srednje gusta ploča vlaknatica (MDF) radi njezine homogene građe i male poroznosti.

Praškastilakovi sastoje se od veziva uz koja se dodaju pigmenti, punila i aditivi. Veziva koja se upotrebljavaju mogu biti epoksidna, akrilna, silikonska, hibridna te poliesterska.

Kada je riječ o metodama nanošenja praškastog laka razlikujemo ih nekoliko:

- elektrostatsko nanošenje,
- fluidizirani sloj,
- elektrostatski fluidni sloj,
- raspršivač plamena,
- horizontalno nanošenje.

Površina prije nanošenja laka mora biti što čišća, bez prašine što se postiže brušenjem. Brušenje je odvajanje čestica drva kojim površina postaje glatka te se stvara vizualno atraktivna površina, uklanjaju se razlike u debljini i neravnosti, uklanjaju se tragovi noža nakon blanjanja, poboljšava se adhezija i zaglađuju se oštri rubovi.

Praškastilakovi imaju jako dobra svojstva. Praškasti lak korisnicima nudi zaštitu te čini drvo otpornim na mrlje, sunčevu svjetlost, ogrebotine, pruža izvrstan film za fizičku i kemijsku otpornost.

2. Cilj rada

Cilj ovoga rada bio je istražiti mogućnosti obrade različitih vrsta drva i drvnih ploča praškastim lakovima. Istraživanje je obuhvatilo analizu metoda nanošenja praškastih lakova, analizu tehnološkog procesa površinske obrade drva i drvnih ploča praškastim lakovima te analizu prednosti i nedostataka primjene praškastih lakova na drvu.

3. Povijest praškastih lakova

Za praškaste lakove koriste se različite tehnologije i metode nanošenja koje su usavršavane tijekom godina. Koncept primjene organskog polimera u obliku praha datira iz kasnih 40-ih i ranih 50-ih godina prošlog stoljeća kada je prah na metalne podloge raspršivan plamenom. Tijekom tog vremena, Erwin Gemmer razvio je primjenu fluidiziranog sloja za termoplastične smole na metalu kao učinkovitiju alternativu metodi raspršivanja plamenom. Između 1958. i 1965. godine, postupkom fluidiziranog sloja nanosili su se gotovo svi praškasti lakovi. Većina aplikacija bila je funkcionalne prirode i pružala je debljinu filma od 6 do 20 mm u svrhu električne izolacije, zaštite od korozije i abrazije (<https://www.pcimag.com/articles/93678-a-history-of-powder-coatings>).

Od 1960-ih, praškasti premaz revolucionirao je industriju površinske obrade pružajući vrhunski, izdržljiv i ekološki prihvatljiv izgled za metalne proizvode poput automobilskih dijelova, sportske opreme i bezbroj drugih proizvoda. Veliki proboj praškastih lakova na tržište postignut je kad je počela njihova primjena na podlogama osjetljivim na toplinu kao što je srednje gusta ploča vlaknatica (MDF). MDF je bio jako prikladan za nanošenje praškastih lakova zbog svoje male poroznosti i homogene strukture (<https://www.powdercoating.org/page/PConWood>).

U kasnim 1960-ima i ranim 1970-ima, počele su se proučavati uobičajene metode pripreme tekućih premaznih materijala za praškaste lakove. Smole i sredstva pogodna za proizvodnju praškastih lakova bila su otopljena u organskim otapalima. Zatim su dodani pigmenti, punila i aditivi te se dobivena smjesa pripremila na uobičajenoj opremi za otapalne premazne materijale, samo što je na kraju osušena u prah. Međutim, ovaj postupak nije polučio dobre rezultate (<https://www.pcimag.com/articles/93678-a-history-of-powder-coatings>).

Praškast lak se danas koristi na raznim proizvodima na kojima je primjena bila gotovo nemoguća. Praškasti lak revolucionirao je tržište MDF-a, jer nudi velike slobode u dizajniranju proizvode koji se ne mogu površinski obraditi na odgovarajući način drugim metodama površinske obrade. Praškasti lak pruža lijep, izdržljiv, bešavan površinski sloj u velikom spektru boja (slika 1) te štiti proizvode od MDF-a od mrlja, prolijevanja i ogrebotina (<https://www.powdercoating.org/page/PConWood>).



Slika 1. MDF obrađen praškastim lakom
(<https://www.powdercoating.org/page/PConWood>)

Ukupna proizvodnja praškastih lakova u 2001. godini procijenjena je na oko 900 000 tona. Praškasti lakovi najčešće se koriste u Europi (43 %) i Aziji (26 %); slijedi Sjeverna Amerika (23 %) te ostatak svijeta (8 %). Postotno je uporaba praškastih lakova brzo rasla od 1970-ih do 2000. godine kada je počela usporavati (Wicks Jr., 2007).

4. Svojstva praškastih lakova

Praškast lak čini proizvode od drva otpornima na mrlje i oštećenja uzrokovana izravnim sunčevim zrakama, a MDF je zaštićen od ogrebotina, grubog rukovanja, prodora vode i kemikalija i ekstremnih temperatura (<https://www.pfonline.com>). Praškasti lak je termički očvrstnut sustav koji pruža izvrstan film za fizičku i kemijsku otpornost, pruža robustan izgled koji omogućava dosljednost u nanošenju procesa i pouzdanost u izvedbi (<https://www.radtech.org>).

Površinska obrada praškastim lakom često je jeftinija od površinske obrade tekućim lakovima. Troškovi proizvodnje štede se uštedom energije, radnom snagom, troškovima prerade, smanjenom potrošnjom materijala, smanjenim troškovima odvoza otpada i povećanjem ukupne učinkovitosti linija. Za razliku od mnogih tekućih lakova, praškasti lakovi su u skladu s propisima o zaštiti okoliša. Temeljni lakovi i boje često sadrže štetne hlapive organske spojeve koji mogu pridonijeti zagađenju zraka i oštećenju ozona (Daniels, 2003).

Nakon višegodišnjih istraživanja utvrđeno je da je MDF najbolji materijal za nanošenje praškastog laka. MDF je drveni materijal izrađen od različitih drvenih vlakana koji nastaje kombiniranjem drvenih vlakana sa smolom, na visokim temperaturama i pod pritiskom te ima ujednačenu površinu koja nije tako porozna kao kod drugih drvenih ploča. Postupak površinske obrade praškastim lakovima uključuje brzo zagrijavanje i hlađenje MDF ploče. Stoga, kako bi MDF ploča izdržala zagrijavanje i hlađenje u komorama, on mora imati unutarnju čvrstoću od oko 900 kPa. Važan zahtjev MDF ploča koje obrađujemo praškastim lakovima je da imaju sadržaj vode 5 – 7 % kako bi ploča bila vodljiva.

Tri su čimbenika koja utječu na lijepljenje praha na podlogu: vrsta podloge, toplina i naboj praha.

1. Odabir podloge - ovo je vjerojatno najvažniji čimbenik cijelog postupka. Imamo vrlo specifične kriterije koje drvena ploča mora ispunjavati prije nego što je možemo koristiti za oblaganje praškastim lakom.
2. Primjena topline - Jedan od prvih dijelova postupka nanošenja praškastog laka je omogućavanje MDF ploči da provodi električnu struju. Zbog toga je važno imati sadržaj podloge 5 – 7 %. Ploča se vrlo brzo zagrijava na visoku

temperaturu kako bi se voda izvukla na površinu i učinila ju vodljivom. Nakon raspršivanja praha, ploča se ponovno zagrijava kako bi se prah želirao što mu omogućava tečenje i prijanjanje za površinu. Dok teče, prah se omotava oko rubova obratka, stvarajući glatku i bešavnu površinu.

3. Naboj praha - Nakon što se MDF zagrije i površina mu postane vodljiva, spreman je za nanošenje praškastog laka. Za točan i dosljedan završetak, koriste se automatske prskalice koje mogu raspršiti prah koji je negativno nabijen dok ga istiskuju s vrha pištolja komprimiranim zrakom. Taj negativni naboj čini čestice praha elektrostatskima zbog čega ih brzo povlači uzemljeni dio. Uloga naboja je smanjiti gubitke praha zbog čega se iskorištenje kreće oko 98 %.

Na elektrostatsko nanošenje praha utječe sadržaj vode u podlozi zbog povećanje električnog otpora uz smanjenje sadržaja vode na površini ploče. Ako je MDF ploča previše suha (visoki električni otpor), potreban transport električnih naboja tijekom nanošenja naelektriziranog praha nije uopće ili je osigurano nedovoljno, što dovodi do nedovoljnog stvaranja filma i male debljine premaza. S povećanjem električnog otpora debljina nanosa stalno se smanjuje. Pri površinskim vrijednostima električnog otpora $> 1011 \Omega$, oblikovani lakovi su bili previše tanki i MDF ploča povremeno je bila vidljiva kroz lak što je dovelo do nezadovoljavajuće kvalitete premaza. Iako su obične površine u mnogim slučajevima bile prihvatljive čak i pri tako kritičnim vrijednostima za površinski električni otpor, rubovi su često ostali bez nanošenja. Stoga se površinska vrijednost električnog otpora $< 1011 \Omega$ može smatrati kritičnom granicom koja je potrebna za dostatnu primjenu elektrostatičkog praha. Ako je MDF ploča previše suha (visoki električni otpor) potreban transport električnih naboja tijekom elektrostatskog nanošenja praha uopće nije ili je nedovoljno osiguran, što dovodi do nejednoličnog stvaranja filma i male debljine premaza. Uz to, rezultati ukazuju na izrazitu tendenciju razvoja pukotina (pucanje rubova tijekom taljenja i očvršćivanja u pećnici). Općenito je definirano da površinski električni otpor MDF-a treba biti manji od 1011Ω kako bi se osigurao dovoljan nanos naelektriziranog praha. Razumijevanje električnog otpora MDF ploča na površini i jezgri materijala i odnos sadržaja vode na ploči je od najveće važnosti za površinsku obradu praškastim lakom. Ravnotežni sadržaj vode u jezgri MDF ploče veći je od sadržaja vode u površinskom sloju. Može se pretpostaviti da je to uzrokovano većim toplinskim utjecajem

temperатурне предобрaде на површинским слоjevima tijekom proizvodnje MDF-a. Područja s većim udjelom vode pokazuju niži električni otpor, a samim tim i povećanu vodljivost. Nadalje, na otpor MDF-a utječe i vrsta MDF ploče. MDF ploče standardne klase bez elektrokonduktivnih aditiva imaju veći električni otpor od MDF ploča s elektroprevodnim dodacima iako obje vrste MDF-a imaju isti sadržaj vode.

Prilikom lakiranja MDF-a praškastim lakom može doći do pukotina na rubovima tijekom procesa taljenja i očvršćivanja u peći zbog čega se premeti s pukotinama odbacuju ili nanovo površinski obrađuju. Općenito, na ovo utječu čvrstoća i gustoća MDF-a. Dodatne studije pokazale su da bi ovaj problem mogao biti usko povezan i sa sadržajem vode u sirovom MDF-u neposredno prije nanošenja praškastog laka. Posebno, promjene klimatskih uvjeta tijekom prijevoza i skladištenja mogu dovesti do promjene u sadržaju vode na ploči prije nanošenja laka. S povećanjem sadržaja vode povećava se vjerojatnost stvaranja pukotina (<https://pdfs.semanticscholar.org>).

Postizanje visokog sjaja prilikom lakiranja praškastim lakovima predstavlja jedan , jer se prah mora nanositi u određenoj količini. Ako se nanese previše praha, dolazi do rupičastih oštećenja i narančine kore. Ako se nanosi premalo, onda je teško postići željeni raspon sjaja. Rupičasta oštećenja uzrokovana su zarobljenim zrakom ispod površine premaza, a obično se pojavljuju na rubovima i stražnjoj strani obrađene površine. Narančasta kora je valovita, nepravilna površina uzrokovana primjenom previše praha . Treći potencijalni problem za postizanje visokog sjaja je premala debljina laka na rubovima koja nastaje zbog povlačenja laka s ruba uslijed promjene viskoznosti zagrijanog praha.

Hazir i Koc (2019) u svojem istraživanju uspoređivali su vodeni, otapalni i praškasti lak na MDF-u. Utvrdili su da je praškasti lak imao veću debljinu i udio suhe tvari od vodenog i otapalnog laka. Nadalje, zaključili su da praškasti lakovi imaju manju otpornost na adheziju od vodenog laka, a veću od otapalnog laka. Isto tako utvrdili su da praškasti lak daje veću tvrdoći površine, ali je otpornost na deformacije manja na praškastom laku u odnosu na vodeni i otaplani lak.

5. Veziva u praškastim lakovima

Veziva za termootporne praškaste lakove sastoje se od mješavine primarne smole i umreženih spojeva, često nazivanih otvrdivač. Glavne vrste veziva su nekako proizvoljno grupirane u nekoliko klasa, kao što je prikazano u tablici 1 (Wicks Jr., 2007).

Tablica 1. Vrste veziva u praškastim lakovima (Wicks Jr., 2007).

Uobičajeni naziv	Umreživač primarne smole
Epoksi BPA (ili novolak)	Poliamini, anhidridi, fenoli
Hibridni COOH-funkcionalni poliester	BPA epoksi
Poliester COOH-funkcionalni poliester OH-funkcionalni poliester	Triglicidilizocijanurat ili hidroksialkilamid Blokirani-izocijanat ili amino smola
Akril Epoksi-funkcionalni akril OH-funkcionalni akril	Dvobazna kiselina Blokirani-izocijanat ili amino smola
UV otvrdnjavanje Akrilna-funkcionalna smola Epoksidna-funkcionalna smola	Slobodni radikali Kationski

Epoksidni praškasti lakovi uključuju samo lakove na bazi bisfenola A (BPA) i novolac epoksidnih smola s aminom, anhidridom ili fenolnim otvrdnjivačima. Hibridni lakovi također sadrže BPA epoksidne smole, ali su umreženi s karboksi funkcionalnim poliesterskim smolama. Poliesterski lakovi sadrže poliestere s različitim otvrdnjivačima osim BPA i novolak-epoksida; ovaj se pojam upotrebljava samo za premaze koji pokazuju dobru i izvrsnu vanjsku trajnost. Akrilni lakovi sadrže akrilne smole s različitim otvrdnjivačima. Pored toga, koriste se razne smjese, koje se ponekad nazivaju i legure ovih klasa. Smjese dobivaju sve veću važnost, na primjer, u temeljnim slojevima za automobile. Među čimbenicima za odabir klase praškastog laka su zaštitna svojstva, vanjska trajnost i trošak.

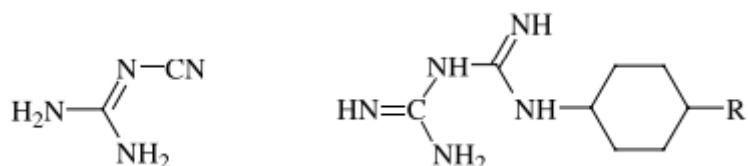
Kod praškastih lakova potrebno je kontrolirati ravnotežu veziva kroz staklište (T_g), molarnu masu (M) i reaktivnost. Materijal se treba površinski obraditi bez značajnog umrežavanja, a prah ne smije sinterirati (započeti sakupljanje) ili početi umrežavati tijekom skladištenja, već se prilikom pečenja mora rastopiti i izravnati tako da se dobije željeni film te se poprečno povezati. Općenito, primarne smole su amorfni

polimeri s dovoljno visokim staklištem da se izbjegne sinteriranje praha i s molarnom masom od nekoliko tisuća. Preporučene minimalne vrijednosti T_g veziva su 40 °C u Europi i 45 do 50 °C u Sjevernoj Americi, što odražava veće temperature tijekom otpreme i skladištenja u dijelovima Sjeverne Amerike. Tipični praškasti premaz s T_g od 50 °C može se rastopiti na oko 80°C, a može se s njim rukovati i skladištiti na temperaturama do oko 40 °C. Kada se zagrijava u pećnici za pečenje, viskoznost praškastog laka nakratko će pasti do oko 10 Pas, omogućujući koalescenciju, protok i izravnavanje, a uz kontinuirano zagrijavanje od 15 minuta na temperaturi u rasponu od 130 do 200 °C lak se međusobno povezuje. UV praškasti lakovi otvrdnjavaju na nižim temperaturama od 100°C.

Budući da je T_g praškastih lakova veći od klasičnih tekućih premaza, praškasti lakovi mogu postići dobru tvrdoću i nešto niže gustoće poprečne veze od većine tekućih premaza dizajniranih za slične primjene. Ovo svojstvo ima tendenciju da pogoduje prašcima koji često kombiniraju izvrsnu tvrdoću i izvrsnu otpornost na udarce (Wicks Jr., 2007).

5.1. Epoksidna veziva

Epoksidni praškasti lakovi su najstarija i još uvijek jedna od najvećih vrsta termootpornih praškastih lakova. Dekorativni premazi temelje se na BPA epoksidnim, a najčešće korištene unakrsne veze su dicijandiamid ili modificirani dicijandiamid (slika 2). Modificirani dicijandiamidi su topljiviji u epoksidnim smolama i imaju tendenciju bržeg oblikovanja jednoličnih filmova. 2-metilimidazol je široko korišten katalizator. Epoksidni praškasti premazi imaju dobra mehanička svojstva, prijanjanje i zaštitu od korozije; međutim njihova vanjska izdržljivost je loša. Primjenjuju se za površinsku obradu namještaja, polica i alata te za zaštitu cijevi, armatura, električne opreme, temeljne premaze i dijelova podvozja automobila (Weldon, 2009).



Slika 2. Dicijandiamid (lijevo), modificirani dicijandiamid (desno)

Ako je potrebna povećana kemijska i korozivna otpornost, fenolne smole se koriste za umrežavanje epoksidnih smola, s 2-metilimidazolom kao katalizatorom. Novolac epoksidne smole ili mješavine novolaka i BPA epoksije daju veće gustoće umrežavanja od samih BPA epoksija. Sve ove prevlake uklanjaju boju i kredu na vanjskoj izloženosti. Anhidridi polikarboksilne kiseline, poput trimelitnog anhidrida, ponekad se koriste s BPA epoksidnim smolama za koje je veća otpornost na žutilo i na kiseline i otapala. Kasnije se premazi uglavnom zamjenjuju hibridnim premazima koji imaju nešto bolju vanjsku izdržljivost i manje su toksični (Wicks Jr., 2007).

5.2. Hibridna veziva

Hibridni praškasti lakovi sastoje se od BPA epoksidne smole umrežene su s poliesterskim smolama i karboksilnom kiselinom. Hibridni premazi imaju bolju stabilnost boje i sjaja, te otpornost na UV zrake od epoksidnih praškastih lakova, ali još uvijek nemaju dobru trajnost u eksterijeru (Weldon, 2009).

Primjenjuju se za površinsku obradu grijača vode, alata za gašenje požara, radijatore i poklopce transformatora. Većina ih je izvedena iz neopentil glikola (NPG) i tereftalne kiseline (TPA) s manjim količinama drugih monomera kako bi se Tg prilagodio željenoj razini. Primarna reakcija umrežavanja je otvaranje epoksidnih skupina u prstenu karboksilnim kiselinama. Dodatno na umrežavanje utječu reakcije esterifikacije i transesterifikacije koje uključuju hidroksilne skupine epoksidne smole i reakcije homopolimerizacije epoksidnih skupina. Katalizatori poput soli amonijaka ili fosfora, na primjer tetrabutilamonijev bromid ili holin-klorid, omogućavaju temperature pečenja u rasponu od 160 do 200 °C. Često se poliesterske smole isporučuju s pomiješanim katalizatorom (Wicks Jr., 2007).

5.3. Silikonska veziva

Zabilježena je upotreba silikona i silikona/poliestera u smolama praškastih lakova visoke otpornosti na toplinu. Silikonski praškasti lakovi zahtijevaju niže temperature obrade od ostalih praškastih lakova. Da bi se izbjeglo bubrenje zbog isparavanja vode tijekom umrežavanja, debljina filma je ograničena na 50 µm ili manje dok premazi otvrdnjavaju na 232 °C (Wicks Jr., 2007).

5.4. Poliesterska veziva

Poliesterski praškasti lakovi također se često koriste i imaju puno bolje karakteristike u eksterijeru od epoksidnih i hibridnih praškastih lakova. Ovisno o vrsti sredstva za umrežavanje, može se koristiti karboksilna kiselina ili hidroksilni funkcionalni poliesteri. Svojstva protoka praškastih lakova koji sadrže poliestere koji završavaju karboksilnom skupinom obično su lošiji od onih izrađenih s poliesterima koji završavaju hidroksilnom kiselinom. Triglicidilizocijanurat (TGIC) naširoko se koristi kao otvrdnjivač za poliestere s toplinskim karboksilnim kiselinama i osnovnim katalizatorima. Iako je TGIC skup, potrebne su količine relativno male zbog male ekvivalentne težine. Uobičajena veziva sadrže 4 do 10 % TGIC-a i 90 do 96 % poliestera armiranog ugljikom. Praškasti lakovi na bazi TGIC-a imaju dobra svojstva u eksterijeru i mehanička svojstva. Primjenjuju se za površinsku obradu vanjskog namještaja, poljoprivredne opreme, ogradnih stupova i klima uređaja (Weldon, 2009).

Napravljeno je istraživanje raznih katalizatora za TGIC - poliesterske praškaste lakove kako bi se pronašao katalizator koji će otvrdnuti pri temperaturi od 120 °C, a pritom će imati i dovoljnu stabilnost skladištenja i protok. Rad je bio usmjeren na praškasti lak za upotrebu u prevlačenju aluminijske legure za zrakoplove. Svojstva nekih aluminijevih legura mijenjaju se ako su izloženi temperaturi preko 120 °C. Istraživanje je pokazalo da je najprikladniji katalizator benziltrimetilamonijev klorid. Za kombinaciju fumarnog nezasićenog poliestera i alil funkcionalnog poliestera s TGIC-om i benzoil peroksidom kao inicijatorom slobodnih radikala utvrđeno je da se otvrne pri temperaturi od 125 °C. Problem s NPG -TPA poliesterima je što mogu sadržavati cikličke estere bez funkcionalnih skupina, a takvi spojevi cvjetaju na površini poliestera-TGIC premaza. Kombinacija NPG-a i 2-butil-2-etil-1,3-propandiola s TPA i IPA daje

polukristalni poliester s puno manje cikličkog estera i bez cvjetanja kada je umrežen s TGIC-om kako bi se napravili sjajni premazi (Wicks Jr., 2007).

Sve je veća zabrinutost zbog toksičnih opasnosti od TGIC-a. Kao rezultat toga, tetra (2-hidroksialkil) bisamidi koriste se kao sredstva za umrežavanje karboksilne kiseline - funkcionalni poliesteri za primjenu u eksterijeru. Ovi lakovi također imaju dobra mehanička svojstva i protočnost. Ometana COOH skupina povećava protok zbog smanjenja vodikove veze između COOH skupina i poboljšava izravnavanje. Primjer takvog poliesteru izrađen je u tri stupnja. Prvo se NPG esterificira s TPA da bi se dobio hidroksi-funkcionalni poliester. Drugo, taj poliester reagira s IPA kako bi se dobio poliester koji završava karboksilnom kiselinom. Tada taj poliester reagira s hidrosipivaličnom kiselinom kako bi se dobio poliester završen s tercijarnim skupinama karboksilne kiseline.

5.5. Akrilna veziva

Različite akrilne smole mogu se upotrijebiti u praškastim lakovima: hidroksi-funkcionalni akrili mogu biti umreženi blokiranim izocijanatom ili glikolurilima, a karboksilna kiselina - funkcionalni akrili mogu biti umreženi epoksidnim smolama ili karbodiimidima. ATRP praškasti lak daje otvrdnute filmove s boljim izravnavanjem od uobičajenih polimera i ima jako dobru stabilnost pri skladištenju. Niža viskoznost taline i stoga uska raspodjela molekularne mase polimera ATRP rezultirale su boljim izravnavanjem, a smanjena količina molekula vrlo niske molekularne mase smanjila je fuziju čestica praška tijekom skladištenja (Wicks Jr., 2007).

Najveći interes izazvali su epoksi-funkcionalni akrili napravljeni s glicidil metakrilatom (GMA) kao komonomerom i umreženi su s dikarboksilnim kiselinama poput dodekandiojeve kiseline $[\text{HOOC}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}]$ ili karboksilne kiseline - funkcionalne smole. Epoksi-funkcionalni akril za automobilski temeljni premaz - površinski premaz zahtijeva molekulsku masu ispod 2500, T_g iznad $80\text{ }^\circ\text{C}$ i monomerni sastav takav da je viskoznost taline manja od 40 Pas pri $150\text{ }^\circ\text{C}$. Takva se smola može dobiti s 15 do 35 % GMA, 5 do 15 % butilmetakrilata (BMA), pri čemu balans može biti metil metakrilat (MMA) i stiren. Epoksi-funkcionalni akrilni polimeri mogu se sintetizirati emulzijskom polimerizacijom pomoću polimerizacije potpomognute ciklodekstrinom. Ciklodekstrin je otopljen u vodi, akrilni monomeri su emulgirani u otopinu i dodan je

redoks sustav inicijatora, a proizvod je disperzija epoksi-funkcionalnog akrila koji se filtrira i suši.

Akrilni praškasti lakovi obično imaju vrhunsku otpornost na deterdžente i koriste se za primjenu u perilicama rublja. Akrili su obično nespojivi s drugim praškastim lakovima, pa je potreban oprez pri promjeni vrsta lakova kako bi se izbjegla kontaminacija, što može rezultirati stvaranjem kratera. Kao i kod tekućih premaza, akrilni praškasti lakovi imaju lošiju otpornost na udarce od poliesterskih praškastih lakova (Wicks Jr., 2007).

5.6. UV-otvrdnjavajući praškasti lakovi

Razvijeni su praškasti lakovi koji otvrdnjavaju UV zračenjem. Ovaj postupak omogućava brzo otvrdnjivanje na nižim temperaturama. Budući da je prah stabilan u zraku, prijevremena reakcija tijekom proizvodnje praha je svedena na minimum. Napravljeni su slojevi sa slobodnim radikalima i kationima, premazi sa slobodnim radikalima koriste akrilirane epoksidne smole i/ili akrilirane poliestere ili nezasićene maleinske poliestere kao vezivo. Ispitivani su učinci pečenja prije UV otvrdnjivanja metakriliranih BPA epoksidnih smola, akriliranih BPA epoksidnih smola, siliranih akriliranih BPA epoksidnih smola i akriliranih poliestera. Filmovi metakrilirane BPA smole pečenja na 110 °C pokazali su se kao nefleksibilni. Akrilirana BPA epoksidna smola pružila je visoku otpornost na habanje i dobru glatkoću kada je bila zagrijana na 170 °C. Sililirana akrilirana BPA epoksidna smola pokazala je izvrsnu glatkoću i otpornost na udarce kada se peče na 90 °C. Međutim, otpornost na habanje bila je manja u odnosu na ostale filmove. Akrilirani poliester pokazao je dobru glatkoću kada je bio pripremljen na 190 °C i bio je u sredini po ostalim svojstvima (Wicks Jr., 2007).

Prilikom raspršivanja UV laka u prahu na ploču vlaknaticu on treba bit poduprta uzemljenom bakrenom pločom. Kristalni nezasićeni poliesteri s disfunkcionalnim vinil eterima preporučuju se kao sredstvo za UV premazivanje praškastim slojevima koji se spajaju s infracrvenim zračenjem (IR) pri nižim temperaturama od 120 °C. Formiranje filma infracrvenim žaruljama mogu se izvesti pri temperaturama filma ispod 120 °C, a filmove UV zračenje otvrdnjiva u 1 sekundi ili manje dok je još vruće. To dopušta upotrebu na podlogama osjetljivim na toplinu, poput drva i plastike. Dobro izravnavanje moguće je jer se viskoznost ne počinje povećavati sve dok UV otvrdnjivanje ne

započne. Kao i kod bilo kojeg drugog UV sustava otvrdnjivanja i pigmenti mogu ometati otvrdnjivanje jer apsorbiraju UV zračenje, ograničavajući debljinu filma koja može otvrdnuti (Wicks Jr., 2007).

5.7. Veziva za termoplastične praškaste lakove

Prvi praškasti lakovi bili su termoplastični lakovi, ali se njihov udio značajno smanjio. Termoplastični praškasti lakovi imaju nekoliko nedostataka u odnosu na termoplastične premaze. Teško ih je usitniti do malih veličina čestica; na taj se način mogu nanijeti samo u relativno debelim filmovima. Da bi imala dobra svojstva filma, veziva moraju imati visoku molekulsku masu i/ili snažnu vodikovu vezu unutar molekula. Kao rezultat toga, ako se peku čak i na visokim temperaturama, oni su jako viskozni zbog čega je slab protok i izravnavanje. Kao veziva koriste se kopolimeri vinilklorida (PVC) i, u ograničenoj mjeri, poliolefini, poliamidi (najloni), fluoropolimeri i termoplastični poliesteri. Kopolimeri koji sadrže visoki vinil klorid formulirani su sa stabilizatorima i ograničenom količinom plastifikatora, često ftalatnog estera, tako da je T_g iznad temperature okoline. Djelomična kristalnost PVC-a može pomoći u stabiliziranju praha protiv sinteriranja. Vinilni prahovi se obično nanose pomoću fluidiziranog sloja kao prilično debeli film (0,2 mm i više). Držači za suđe, rukohvati i metalni namještaj primjeri su krajnje uporabe (Wicks Jr., 2007).

Poliolefinski prahovi daju obloge s malom apsorpcijom vode i izvrsnom kemijskom otpornošću. Koriste se za premazivanje laboratorijske opreme i opreme za rukovanje hranom. Praškasti lakovi na bazi najlona 11 - najlon 12 pokazuju izuzetnu otpornost na abraziju i deterdžente. Fluoropolimeri poput poli (viniliden fluorida) i epolen-klorotrifluoroetilen kopolimeri koriste se za premaze koji zahtijevaju izuzetnu izdržljivost u eksterijeru, poput aluminijskih krovova i okvira prozora, kao i za otpornost na korozivno okruženje, poput opreme za kemijska postrojenja. (Wicks Jr., 2007).

6. Metode nanošenja praškastih lakova

Gotovo se svi tankoslojni praškasti lakovi nanose elektrostatskim štrcanjem. Ostale metode nanošenja, važne za debeloslojne praškaste lakove, uključuju fluidizirani sloj, elektrostatski fluidni sloj i raspršivač plamena (Wicks Jr.,2007).

6.1. Nanošenje elektrostatskim štrcanjem

S obzirom na transport čestica od pištolja do objekta razlikuju se tzv. čisti elektrostatski uređaji i kombinirani uređaji (zračno-elektrostatski i bezračno-elektrostatski). Praškasti lakovi mogu se nanositi elektrostatski, pomoću raspršivača plamena ili vrtložne kupke. Prednosti elektrostatskog nanošenja su gotovo potpuno iskorištenje materijala, nema onečišćavanja okoliša, smanjena opasnost od požara i eksplozija, ušteda na radnoj snazi i energiji te mogućnost automatizacije. Postrojenje se sastoji od elektrostatskog pištolja (slika 3), zatim od kabine za nanošenje, peći za otvrdnjivanje (pečenje) praha, te uređaja za povrat praha što se prilikom nanošenja nije zadržao na objektu koji se zaštićuje (https://tehnika.lzmk.hr/tehnickaenciklopedija/lakovi_i_boje.pdf).

Elektrostatsko štrcanje glavni je postupak nanošenja praškastih lakova. Prah se fluidizira u spremniku i strujom zraka prenosi u pištolj za elektrostatsko nanošenje. Ovaj pištolj sastoji se od cijevi za nošenje praha do otvora na kojem se nalazi elektroda (Wicks Jr., 2007).

Kod postupka elektrostatskog štrcanja elektrodu predstavlja uređaj za štrcanje na koji se dovodi visoki napon (između 50 i 120 kV) dok anodu predstavlja uzemljeni predmet obrade (Jirouš- Rajković, predavanje: Nanošenje zračnim štrcanjem).



Slika 3. Pištolj za elektrostatsko štrcanje

(<http://top-equipment.hr/index.php/elektrostatski-pistolji/>)

Elektroni koje elektroda emitira reagiraju s molekulama u zraku, stvarajući oblak (maglu) iona oko otvora koji se naziva korona. Korona se sastoji pretežno od HO^- i, ponekad, O_2 iona. Čestice praha izlaze iz otvora, prolaze kroz koronu i kupe anione. Predmet na koji se nanosi praškasti lak električnim putem je uzemljen, pa razlika u potencijalu privlači čestice praha na dio površine. Privuče ih najjače na područja koja nisu pokrivena i formira se prilično jednolik sloj praha čak i na predmetima nepravilnog oblika. Čestice dovoljno snažno prijanjaju za površinu da se predmet prenese u pećnicu za pečenje, gdje se čestice praška spajaju u kontinuirani film. Toplina se može ostvariti u bilo kojoj konvencionalnoj peći ili infracrvenim grijanjem. Čestice praha koje se ne lijepe na podlogu (površinski nanos) obnavljaju se kao suhi prah (Wicks Jr., 2007).

Čimbenici koji utječu na elektrostatsko privlačenje su:

- Provodljivost obratka i oblik: (provodljivost drva ovisi o vlažnosti). Optimalna vodljivost drva za ovu metodu je od 10^{-7} do 10^{-4} om^{-1} , što odgovara vlažnosti drva od 10 do 12 %. Često se predmet obrade prije lakiranja izlaže kratkotrajnom površinskom parenju ili se na drvo prethodno nanese vodljivi temelj.
- Jakost električnog polja: intenzitet elektrostatskih sila ovisi prema Coulombovom zakonu o naboju prenesenom na čestice laka i o udaljenosti između pištolja i obratka.
- Otpor laka: otpor laka trebao bi iznositi 25-100 $\text{M}\Omega\text{cm}$. Neki otapalni lakovi imaju veći otpor, pa im se dodaju polarna otapala.

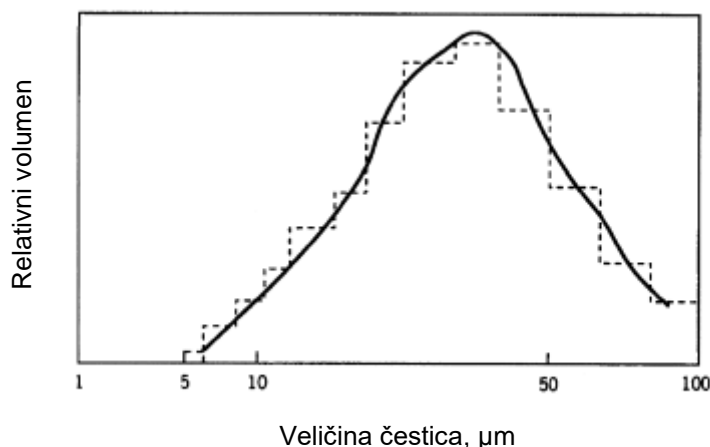
- Dimenzije čestica i njihova brzina: (dimenzije čestica ovise o pištolju, površinskoj napetosti, viskoznosti itd.). Elektrostatski efekt je bolji s manjim česticama jer je udio naboja po jedinici površine veći.
- Ekološki uvjeti: isparavanje otapala prilikom povećanja temperature uzrokuje smanjenje dimenzija čestica zajedno s povećanjem intenziteta naboja po jedinici površine. Zračna vlažnost važan je parametar jer promiče vodljivost zraka i time je bolji transport čestica prema obratku (Jirouš- Rajković, predavanje: Nanošenje zračnim štrcanjem).

Za štrcanje praškastih lakova obično se koriste automatizirani reciprokatori koji zahtijevaju minimalnu pažnju radnika. Međutim, ograničenje praškastih lakova je u poteškoći promjene boje. Kod štrcanja tekućeg laka, pištolj se može isprati otapalom i moraju se odvojiti vodovi koji se pune jednom bojom od onih koji se pune drugom bojom. Na taj način se slijedeći objekti na transportnoj liniji lako mogu obojiti različitim bojama. U površinskoj obradi s praškastim lakovima postupak se mora prekinuti, kabina očistiti, a jedinice za sakupljanje prekomjerno raspršenog laka moraju se promijeniti za skupljanje laka druge boje. Iako su kabine za štrcanje i uređaji za nanošenje lakova dizajnirani da skrate vrijeme čišćenja, još uvijek je samo ekonomski izvedivo razmjerno dugo korištenje jedne boje prije prelaska na drugu. Predložene su kabine za štrcanje s vodenim filtrom kako bi se izbjegli troškovi ugradnje posebnih kabina za štrcanje za kraće serije proizvoda gdje lak prikupljen u vodi raspršuje površinski aktivno sredstvo i taloži melaminskom smolom (Wicks Jr., 2007).

U elektrostatskom štrcanju naelektrizirane čestice praha omotaju se oko uzemljenog predmeta i premazuju izložene površine koje nisu u izravnoj liniji s pištoljem. Ipak, u proizvodnji je često poželjno koristiti pištolje s obje strane predmeta, što omogućuje jednolično obrađivanje zamršenih oblika poput automobilskih kotača i metalnog namještaja s cijevima i žicama. Na taj postupak snažno utječe efekt Faradayevog kaveza. Zbog toga je teško dobiti potpunu pokrivenost područja poput unutrašnjih kutova čeličnih ormara; unutrašnjost cijevi može se obraditi samo pištoljem za štrcanje unutar cijevi. Debljina filma povećava se s povećanjem napona i smanjenjem udaljenosti između pištolja za štrcanje i proizvoda na koji se nanosi prah, većim česticama praha i zagrijavanjem površine obratka. Međutim, debljina filma je ograničena činjenicom da nakon što je postignuta određena debljina filma, praškasti lak djeluje kao izolator i ne privlači dodatne čestice. Izolacijska svojstva praškastog

laka znače da se oštećeni obrađeni dijelovi uglavnom ne mogu ponovno obraditi već se otvrdnuti sloj laka treba prvo ukloniti kao bi se obradak mogao ponovno prelakirati (Wicks Jr., 2007).

Postoji dosta prostora za poboljšanje procesa površinske obrade praškastim lakovima i potrebno je bolje razumijevanje njegovih parametara. Na primjer, ne postoji zadovoljavajuće fizičko objašnjenje zašto se prah prilijepi za objekt. Jedna od mogućnosti za poboljšanje je povećati učinkovitost punjenja korone elektrostatskog pištolja. Procjenjuje se da se samo oko 0,5 % aniona u koroni veže za čestice praha. Ostatak privlači najbliži uzemljeni objekt, gdje se u najgorem slučaju može smanjiti učinkovitost taloga i povećati efekt Faradayevog kaveza. Tako neki stručnjaci smatraju da ako se učinkovitost punjenja korone poveća na 10 %, učinkovitost taloženja može postati dovoljno visoka da se smanji pretjerano nanošenje. Nadalje, veličina i raspodjela čestica imaju kritički učinak na prah. Raspon veličina čestica mora biti ograničen jer bi u pravilu prevladavajući promjer čestica trebao biti nešto manji od planirane debljine filma, a najveće čestice ne bi trebale biti veće od dvostruke debljine filma (slika 4) (Wicks Jr., 2007).



Slika 4. Raspodjela veličine čestica tipičnog bijelog epoksi praškastog laka (Wicks Jr., 2007)

Vrlo sitne čestice ne istječu pravilno iz spremnika laka dovodnih vodova. Općenito, samo 6 do 8 % čestica imaju promjer manji od 10 μm . Male čestice imaju veći omjer površine i volumena i time dobivaju veći omjer naboja i mase tijekom prolaska kroz koronu elektrostatskog pištolja. Nakon punjenja na čestice utječu tri sile: elektrostatsko polje, strujanje zraka i gravitacija. Male čestice vjerojatno najbolje

prodiru u Faradayevim kavezima. Velike čestice bolje protječu kroz sustav nanošenja i duže zadržavaju svoj naboj te stoga bolje prijanjaju za predmet prije pečenja. Međutim, prašina vrlo malih čestica (manjih od 1 μm) može biti toksična ako se udiše. Utvrđeno je da su veličine čestica koncentriranih u rasponu od 20 do 60 μm najbolje za praškaste lakove za debljinu filma od 30 do 60 μm .

Osim visokog napona koji stvara koronu na otvoru pištolja, za nabijanje čestica može se koristiti nabijanje trenjem (triboelektrično nabijanje) koje nastaje pri strujanju čestica kroz cijev pištolja za raspršivanje od poltetrafluoroetilena. Ovom metodom dobivaju se glatki premazi. S druge strane, protok je sporiji i zalutale zračne struje mogu lakše odbiti čestice između pištolja i predmeta koji se obrađuje. Triboelektrično punjenje se široko koristi u Europi i sve više dobiva na popularnosti u Sjevernoj Americi (Wicks Jr., 2007).

6.2. Fluidizirani sloj

Fluidizirani slojevi najstarija su metoda nanošenja praškastih lakova. Oprema se sastoji od spremnika za uranjanje na čijem je dnu porozna ploča. Predmet koji treba površinski obraditi visi s transportera i zagrijava se u pećnici na temperaturu znatno iznad staklišta (T_g) praha. Transporter prenosi predmet u spremnik s fluidnim slojem gdje se čestice praha tope i stvaraju toplinski izolacijski sloj. Posljednje čestice praha koje se nanose na obloženu površinu nisu u potpunosti spojene, tako da transporter mora predmet odnijeti u drugu pećnicu, gdje se dovršava spajanje čestica praha. Kod ove metode nanošenja debljina filma ovisi o temperaturi na kojoj se predmet prethodno zagrijava te se ne mogu postići tanki filmovi (Wicks Jr., 2007).

Elektrostatski fluidizirani slojevi su slični, ali dodaju se elektrode za stvaranje iona u zraku prije nego što uzemljeni predmet prođe kroz prah. Predmet privlači prah elektrostatskom silom isto kao i prilikom elektrostatskog nanošenja. Nadalje, predmet se može zagrijati kada su poželjni debeli filmovi, ali grijanje nije potrebno. Nema pretjeranog nanosa i gubici praha su minimalni, a promjena boje također je jednostavnija u odnosu na klasični fluidizirani sloj (Wicks Jr., 2007.).

6.3. Raspršivanje plamenom

Raspršivanje plamenom još je jedna metoda za nanošenje termoplastičnih praškastih lakova. U pištolju za raspršivanje plamena, prah se provlači kroz plamen, a tamo ostaje dovoljno dugo da se otopi. Rastaljene čestice praha se zatim usmjeravaju prema predmetu koji treba površinski obraditi. Plamen zagrijava i topi polimer, a podlogu zagrijava iznad temperature taljenja polimera, tako da premaz može teći u nepravilnosti na površini kako bi se povećala adhezija. Kombinacija temperature plamena (od 800 °C), vremena zadržavanja u plamenu (mali djelići sekunde), Tg laka, raspodjela veličine čestica praha i temperature podloge moraju se pažljivo izbalansirati. Distribucija veličine čestica praha mora biti prilično uska jer se vrlo male čestice praha piroliziraju na 800 °C prije nego što se veće čestice stignu rastopiti (Wicks Jr., 2007).

Za razliku od drugih načina nanošenja praškastog laka, raspršivač plamena dopušta primjenu na terenu, a ne samo u tvornici. Kako primjena nije elektrostatska, neprovodne podloge poput betona, drva i plastike mogu se premazati. Budući da su premazi termoplastični i ne nanose se elektrostatski, moguće je upotrijebiti prah za popravak oštećenih područja premaza, što općenito nije moguće s drugim postupcima nanošenja praškastog laka.

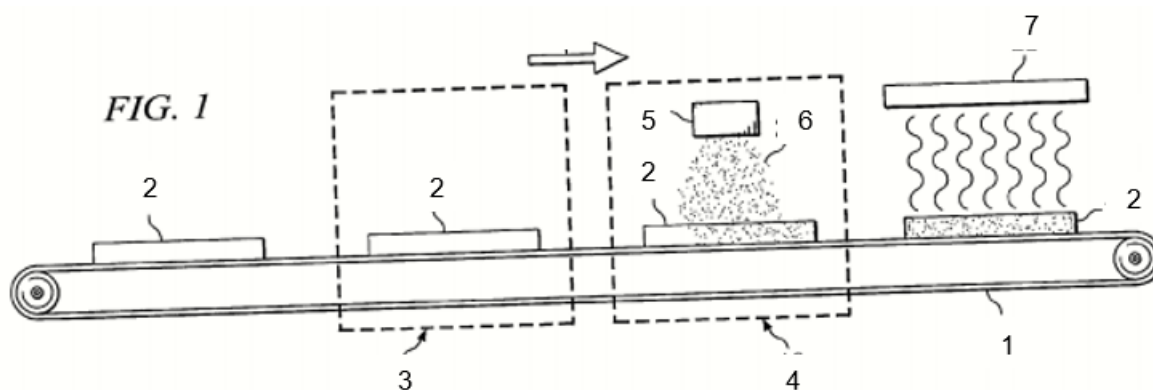
Nedostaci primjene raspršivanja plamenom uključuju ograničenja radne temperature objekata presvučenih termoplastičnim premazima i potrebu pažljivog nadzora varijabli tijekom nanošenja laka. Pregrijavanje polimera može dovesti do termičke razgradnje, a time i do slabih svojstava premaza, bez vizualnih naznaka razgradnje sve dok polimer ne počne pirolizirati (Wicks Jr., 2007).

6.4. Metoda i uređaji za horizontalno nanošenje praškastog laka

Ova metoda odnosi se na nanošenje praškastog laka na velike ili teške predmeta na horizontalnom transporteru. Jedinstvene karakteristike nanošenja praškastih lakova pružaju superiornu konzistenciju i ujednačenost završnih slojeva na ovim proizvodima bez kapanja ili mjehuranja.

Proizvodi koji se obrađuju praškastim lakovima ručno su obješeni na uzemljenu vješalicu unutar kabine za nanošenje. Vješalica služi za električno punjenje proizvoda

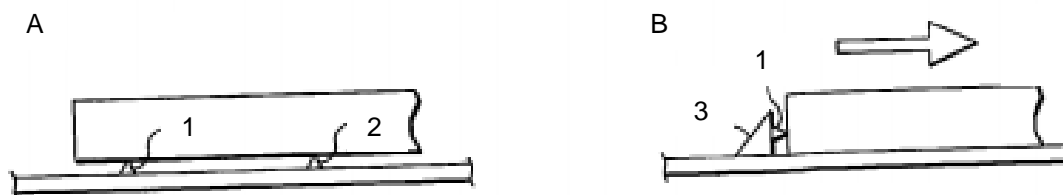
s nabojem suprotnim od praha. Posljedično, prah se privuče na površinu proizvoda gdje se otvrdne do trajnog i atraktivnog izgleda. Međutim, ovaj postupak vješanja je spor i zahtjevan. Mnoge vrste proizvoda moraju se ručno premjestiti s proizvodne linije u kabinu za praškasto nanošenje laka i ručno objesiti na vješalice. Vrijeme potrebno za pomicanje i vješanje proizvoda smanjuje učinkovitost proizvodnje i povećava troškove proizvodnje. Također, proizvodi mogu pasti i oštetiti se za vrijeme ručnog pomicanja i premještanja u kabinu za nanošenje praškastog laka. Nadalje, tipične vješalice i kabine za nanošenje laka možda ne podržavaju smještaj velikih ili teških proizvoda. Prema tome, Daniels (2003) predložio je poboljšanu metodu i uređaj za nanošenje praškastog laka koji ne produljuje vrijeme proizvodnje, ne povećava mogućnost oštećenja proizvoda, ne troši prevelike radne resurse i koji ne koristiti uobičajenu oprema za nanošenje praškastog laka (slika 5).



Slika 5. Horizontalni uređaj za nanošenje praškastog laka: 1 - transporter, 2- predmet koji je obrađuje, 3 - predgrijač, 4 - kabina za raspršivanje, 5 - raspršivač laka, 6 - praškasti lak, 7 - uređaj za otvrdnjivanje (Daniels, 2003)

Na prikazanom uređaju (slika 5) transporter (1) je u električnoj vezi s predmetom (2) i suprotno ga nabija u odnosu na lak (6) kako bi ga privukao na površinu predmeta. Raspršivač laka (5) može biti u obliku korone ili triboelektričnih dozirnika, a uređaj za otvrdnjivanje (7) može uključivati postupak infracrvenog, ultraljubičastog ili toplinskog otvrdnjivanja. Površinski se mogu obrađivati predmeti od drva ili drvenih materijala poput iverice i MDF-a ili od kombinacije ovih materijala. Budući da i donja i gornja površina mnogih predmeta može zahtijevati nanošenje laka, predmet se može okretati na transportnoj traci dok prolazi kroz dozator laka. U tipičnom postupku nanošenja praškastog laka, proizvod koji treba površinski obraditi objesimo na provodne šipke. Okrugla rupa u proizvodu prihvaća šipku promjera neznatno manjeg od rupe i provodi

predmet tijekom postupka. Nakon postupka nanošenja praška, rupa u proizvodu ostaje i mora se popuniti, osim ako se rupa ne nalazi na vidljivoj površini (Daniels, 2003).



Slika 6. sučelja za sigurno držanje i električno nabijanje predmeta tijekom postupka nanošenja laka (Daniels, 2003)

Kao što je prikazano na slici 6A, transportna traka ima jedan ili više kontakata (1) za električno spajanje predmeta. Kontakti (1) se mogu načiniti od vodljivog materijala i izolirati predmet od transportera, a električni naboj može se prenijeti kroz vodiče u transporter, preko kontakta i u predmet. U ovoj posebnoj izvedbi, težina predmeta održava električnu vezu između predmeta i kontakta. Podupirač (2) može se koristiti za održavanje predmeta na jednoličnoj visini iznad transportera, pa se tada lak lakše i ravnomjernije raspodijeli na potpomognutoj strani predmeta.

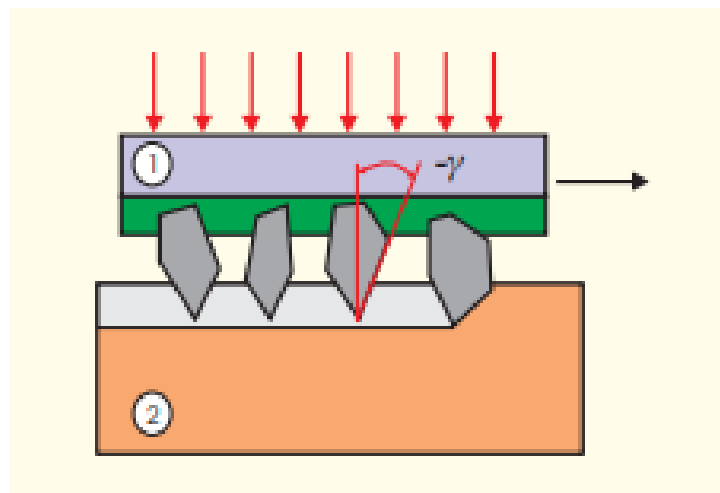
Slika 6B pokazuje kako se kontakt može smjestiti u stezaljku (3) koja ga gura u električnu vezu s predmetom, dok se transporter kreće u smjeru strelice (Daniels, 2003).

7. Priprema drva

Prije svakog nanošenja laka, tako i praškastog, površina drva se mora obraditi, a prije obrade ista mora biti čista bez prašine i pukotina. Najčešći način pripreme drva prije nanošenja praškastog laka je brušenje.

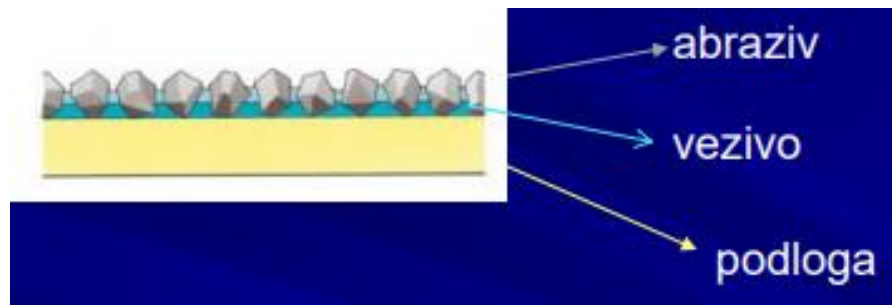
7.1. Općenito o brušenje

Brušenje je oblikovanje materijala odvajanjem čestica, kojim se postižu glatke površine drva (slika 7). Dobro brušenje površine drva ili materijala od drva modernizirano je za ostvarivanje visoke kvalitete površinske obrade. Unatoč razvoju velikog broja automatskih brusilica, problem brušenja drva nije u potpunosti riješen, pa je i dalje prisutan. Vrlo je teško izvesti kvalitetno brušenje širokog raspona različitih površina drva (vrsta drva, oblik i geometrija), bez eventualne naknadne obrade, što se mora izvesti na strojevima manjeg kapaciteta. Kvaliteta brušene površine može se procijeniti na temelju stanja hrapavosti površine i stanja čistoće površine. Za sada se samo hrapavost površine utvrđuje određenom metodologijom i instrumentima, dok je stanje čistoće površine vizualno, pa podliježe subjektivnom dojmu (Jaić, 2000).



Slika 7. Brušenje- postupak odvajanja čestica usred kretanja između sredstva za brušenje (1) i predmeta obrade (2)

Sirovine za izradu brusnih materijala i alata su prirodni minerali ili sintetički dobiveni anorganski spojevi, određene veličine zrna, povezani u određeni oblik, tj. brusni papir. Brusni papir sastoji se od: podloge veziva i abraziva (Ljuljka, 1990).



Slika 8. Dijelovi brusnog papira (Jirouš-Rajković, predavanje: Materijali za predobradu)

Ciljevi brušenja su:

- uklanjanje razlika u debljini i neravnosti površine drva kalibriranjem,
- poboljšanje svojstva površine nakon prethodne obrade, primjerice uklanjanje tragova noža nakon blanjanja,
- izjednačavanje i poboljšavanje izgleda površine, stvaranje vizualno atraktivne površine,
- poboljšanje adhezije premaza i zaglađivanje površine prije nanošenja sljedećeg sloja premaza,
- ublažavanje (zaglađivanje) oštih rubova (Jirouš-Rajković, predavanje: Materijali za predobradu).

7.2. Brušenje i nanošenje praškastog laka na MDF

U prvom koraku imamo dijelove MDF-a izrezane uglavnom na CNC stroju. Uspjeh postupaka brušenja, pripreme, nanošenja i naknadnog nanošenja ovisi o početnoj kvaliteti obrade. Tijekom postupka brušenja nakon nanošenja praha, postoji opasnost od prebrušavanja laka. Glađi i pouzdaniji rezovi rezultiraju ujednačenijom površinom i smanjuju vjerojatnost pucanja dijela ploče tijekom brušenja. Pucanje vlakana je greška u kojoj vlakna ploče "iskaču" tijekom zagrijavanja, što rezultira neravnomjernom površinom i povećava mogućnost greške tijekom nanošenja praha. Vrlo je važno da se koraci tijekom pripreme površine ne preskaču jer to može rezultirati površinskim nepravilnostima i onečišćenjima. Te se nepravilnosti naknadno prekrivaju praškastim lakom, ali mogu se otkriti prilikom brušenja otvrdnutog laka kao vidljiva pjegavost ili nepravilnost boje. Kod brušenja predmeta prije nanošenja laka, plohe i

rubovi se prvo brusi brusnim papirom granulacije P220 (brusno zrno aluminijev oksid ili silicijev karbid), zatim brusnim papirom granulacije P280 (brusno zrno aluminijev oksid ili silicijev karbid) i na kraju s brusnim papirom granulacije P320 (brusno zrno aluminijev oksid ili silicijev karbid) (Martin i sur., 2016).

Sljedeće korake je potrebno poduzeti kako bi se osigurala pravilna priprema predmeta prije nanošenja praha:

- Automatizirani strojevi za ručno brušenje trebaju imati toleranciju osi Y manju od 0,003 mm kako bi se izbjeglo brušenje kroz praškasti lak.
- Ručnu opremu za brušenje treba držati ravno (paralelno) s površinom koja se brusi kako bi se izbjeglo brušenje kroz praškasti lak.
- Rubovi općenito ne bi trebali biti oblikovani s duboko obrađenim profilima jer je neophodno da oprema za brušenje dosegne sve dijelove stranica i rubove kako bi se postigla ujednačena kvaliteta završne obrade.
- Rubovi predmeta bi trebali imati polumjer najmanje 0,8 mm kako bi se izbjeglo prebrušavanje rubova.
- Unutrašnji profili (poznati i kao polumjeri) trebaju biti oblikovani tako da se mogu prilagoditi brušenju strojevima za rubove. Ovaj je parametar važan jer svi dijelovi koji se lakiraju trebaju biti na odgovarajući način pobrušeni.

Glavni razlog zašto je praškast lak kritičan za postupak površinske obrade je taj što praškasti lak rezultira debljim lakom po sloju na drvenoj podlozi od tekućih lakova. Nadalje, otvrdnuti sloj praškastog laka je tvrdi od otvrdnutog sloja tekućeg laka tako da se može brusiti bez „pregrijavanja laka“. Jednom kada stranice i rubovi postignu željenu glatkoću, predmet je spreman za sljedeći sloj. Sljedeći sloj treba nanositi u skladu s uputama proizvođača, a u poželjnoj je nanositi minimalnu debljinu od 0,05 mm. Lošiji završni sloj može se dobiti prekrivanjem gornjeg sloja manjim od 0,05 mm. Automatiziranim postupcima obično se postiže pokrivenost s debljinom od 0,05 mm, a ručni postupci obično zahtijevaju debljinu od 0,07 do 0,13 mm. Mogu se nanijeti i dva završna sloja kako bi se postigao jači sjaj te je u tom slučaju lagano brušenje između slojeva (Martin i sur., 2016).

8. Prednosti i ograničenja praškastih lakova

U ovom se dijelu prednosti i nedostaci praškastih lakova uspoređuju s lakovima na bazi vode i organskih otapala. Primarne prednosti mogu se sumirati na sljedeći način:

- emisije hlapivih organskih spojeva su niske
- opasnosti od zapaljivosti i toksičnosti značajno su smanjene
- debeli filmovi od 100 do 500 mm mogu se postići u jednom koraku
- potrošnju energije može se smanjiti

Iznenadujuća je niska energetska potreba praškastih lakova jer su temperature pečenja općenito veće od onih kod većine pečenih premaza. Međutim, s malo ili nimalo hlapivih tvari koje se emitiraju u pećnicu, zrak u pećnici može se recirkulirati s gotovo nikakvim nadopunjavanjem, za razliku od premaznih materijala koji sadrže otapala gdje se koncentracija otapala u zraku u pećnici mora uvijek držati ispod donje eksplozivne granice. Isto tako, protok zraka kroz kabinu za raspršivanje može biti niži kod praškastih lakova, jer više nije potrebno držati koncentraciju otapala u zraku ispod sigurne koncentracije za ljude koji se nalaze u kabini za raspršivanje. Zimi trošak grijanja zraka koji teče velikom brzinom kroz kabinu za raspršivanje može biti visok. Budući da nema sušenja, dijelovi se mogu objesiti bliže jedan drugom na transportnu traku (Wicks Jr., 2007).

Važna ograničenja praškastih lakova su:

1. Opasnosti od eksplozije. Dok odsutnost otapala otklanja problem zapaljivosti, suspenzije praha u zraku mogu eksplodirati. Zbog toga, pogoni za proizvodnju i primjenu moraju biti dizajnirani kako bi se izbjegle eksplozije praha. Triboelektrični sustavi naboja imaju manje vjerojatnosti da će izazvati eksplozije od pištolja za raspršivanje s nabojem korone, koji mogu izazvati iskre ako se dovedu blizu uzemljenog vodiča.
2. Nemogućnost premazivanja velikih ili podloga osjetljivih na toplinu. Metode elektrostatskog štrcanja i fluidiziranog sloja zahtijevaju postupak pečenja, a budući da temperatura pečenja mora biti prilično visoka, mogu se koristiti samo podloge koje mogu podnijeti ciklus pečenja. UV zaštitni praškasti lakovi mogu se koristiti na nekim podlogama osjetljivim na toplinu.

3. Ograničenja izgleda. Općenito govoreći, praškasti lakovi mogu imati dobar izgled, ali neke efekte koji se mogu postići tekućim premaznim materijalima teško ili nemoguće je postići praškastim lakovima. Usklađivanje boja je teže nego kod tekućih premaznih materijala, a reproduktivnost boja također može biti otežana. Postizanje zadovoljavajućeg izgleda glavna je prepreka razvoju čistih praškastih lakova. Jedinствена debljina filma mora se nanijeti na cijelo vozilo, jer je izravnavanje praškastih premaza prilično osjetljivo na varijacije u debljini filma. Ovo zahtijeva strogu kontrolu brzine protoka praha, što je inženjerski izazov. Cijeli postupak nanošenja praškastog laka, uključujući i ponovno sakupljanje prekomjernog nanosa, mora biti pažljivo čist kako bi se izbjegle sitne čestice prašine koje su posebno vidljive na sjajnim premazima.
4. Ograničavanje materijala. Budući da sve glavne komponente moraju biti krute tvari, proizvođaču je dostupan manji izbor sirovina. Nadalje, nije moguće napraviti toplinski otporne praškaste premaze za koje je Tg završnog filma nizak. To ograničava raspon mehaničkih svojstava koja se mogu formulirati za praškasti lak.
5. Ograničenja fleksibilnosti proizvodnje. Ekonomičnost proizvodnje teško trpi kad god su potrebne česte promjene boje. Čišćenje između promjena boja zahtijeva mnogo vremena. Praškasti premazi su najprikladniji za relativno duge proizvodne proizvode iste vrste i boje praha. Novi inženjerski dizajni smanjili su problem promjena boja.

Neka od ograničenja praškastih premaza mogu se premostiti stvaranjem vodenih disperzija praha. Ovo eliminira potencijalne eksplozije praha, proširuje raspon metoda nanošenja i smanjuje probleme stabilnosti skladištenja. Tg praha više ne treba biti visok da bi se izbjeglo sinteriranje, pa se mogu formulirati fleksibilniji premazi i koristiti niže temperature pečenja (Wicks Jr., 2007.)

9. Zaključak

Od samih početaka pa do danas, površinska obrada drva i drvnih materijala praškastim lakovima postala je učestalija. Kemija i tehnologija nanošenja laka je brza, čista i ekološka. Dvije su stvari zbog kojih se ovo nanošenje smatra ekološkom. Prvo iskorištenje je do 98 % jer svaki prah koji ne pada na ploču može se spremati i upotrijebiti za sljedeće nanošenje te je rijetkost je da prah ikad završi na odlagalištu. Drugo, nema hlapivih organskih spojeva ni emitiranja onečišćenja, a tipična ploča od MDF-a neće sadržavati nikakve formaldehidne smole. Produktivnost i ekonomska sposobnost ove tehnologije dorade donose veće bruto profitne marže i veći povrat ulaganja.

Nanošenje praškastog laka na vlaknaste ploče srednje gustoće (MDF) također je nova ekološki održiva tehnologija nanošenja koja se danas koristi uglavnom u industriji namještaja. MDF je prikladan za nanošenje praškastih lakova zbog male poroznosti i homogene strukture. Tehnologija se sastoji od kondicioniranja MDF ploče, zatim brušenja i čišćenja komprimiranim zrakom iste ploče koja se prethodno objesi na vješalice. Zatim se prah elektrostatski nanosi na MDF na kojem se topi i stvrdne u pećnici za otvrdnjivanje.

Praškastih lakovi također imaju neke nedostatke u usporedbi s uobičajenim tekućim lakovima. Velike podloge se ne mogu premazati zbog problema s pečenjem, niti se mogu lakirati one osjetljive na toplinu. Također, postoji manji raspon sirovina za koje korisnik može izabrati, što znači da praškasti premazi nemaju tako široku paletu konačnih svojstava kao što su to tekući premazni materijali.

Pred ovom površinskom obradom koja se danas uglavnom koristi u industriji namještaja (uredi, kuhinje, interijerski namještaj) svijetla je budućnost. Potražnja za inovativnim, održivim proizvodima i uslugama samo će i dalje rasti, a tržišne mogućnosti nastaviti će se razvijati.

10. Literatura

1. Daniels, E. R., 2003 Method and apparatus for horizontal powder coating, United States Patent Application Publication, Patent No: US 2003/0211252 A1.
2. Hazir, E.; Koc, K. H., 2019: Evaluation of wood surface coating performance using water based, solvent based and powder coating. *Maderas. Ciencia y tecnologia*, 21(4): 467-480.
3. Jaić, M.; Živanović-Trbojević, R., 200: *Površinska obrada drveta*, Beograd; Zavod za grafičku tehniku TMF.
4. Jirouš-Rajković V., Predavanje: Materijali za predobradu
5. Jirouš- Rajković V., Predavanje: Nanošenje zračnim štrcanjem
6. Kraut B., *Strojarski priručnik*, Zagreb, Tehnička knjiga 2009.
7. Ljuljka B., *Površinska obrada drva*, Zagreb, Sveučilišna naklada d.o.o.,1990.
8. Martin, C. A.; Fast, C.; Ellenberg, C., 2016: Method for preparing and top coating a powder coated wood substrate, United States Patent Application Publication, Patent No: US 8,721,396 B1.
9. Weldon, D. G., 2009: *Failure analysis of paints and coatings*, revised edition, John Wiley and Sons UK.
10. Wicks, Jr., Z. W.; Jones, F. N.; Pappas, S. P.; Wicks, D. A., 2007: *Organic Coatings Science and Technology Third Edition*, 2007 by Published by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
11. [***https://tehnika.lzmk.hr/tehnickaenciklopedija/lakovi_i_boje.pdf](https://tehnika.lzmk.hr/tehnickaenciklopedija/lakovi_i_boje.pdf)
12. [***https://www.pcimag.com/articles/93678-a-history-of-powder-coatings](https://www.pcimag.com/articles/93678-a-history-of-powder-coatings)
13. [***https://www.powdercoating.org/page/PConWood](https://www.powdercoating.org/page/PConWood)
14. [***https://www.pfonline.com/articles/powder-coat-mdf-for-an-enviable-finished-product](https://www.pfonline.com/articles/powder-coat-mdf-for-an-enviable-finished-product)
15. [***https://pdfs.semanticscholar.org/6150/eeee5a59acc78bf028a985767b17a381496a.pdf?_ga=2.253548929.905521256.1593636190-1678364772.1550489766](https://pdfs.semanticscholar.org/6150/eeee5a59acc78bf028a985767b17a381496a.pdf?_ga=2.253548929.905521256.1593636190-1678364772.1550489766)
16. [***https://www.radtech.org/magazinearchives/Publications/RadTechReport/dec-2013/High-Gloss,%20UV-Cured%20Powder%20Coating%20on%20MDF%20-A%20One-of-a-Kind%20Finish.pdf](https://www.radtech.org/magazinearchives/Publications/RadTechReport/dec-2013/High-Gloss,%20UV-Cured%20Powder%20Coating%20on%20MDF%20-A%20One-of-a-Kind%20Finish.pdf)

JEDINICE S INTERNETA (LINKOVI ZA SLIKE):

1. <https://www.powdercoating.org/page/PConWood>
2. <http://top-equipment.hr/index.php/elektrostatski-pistolji/>