

ZINCOR SYSTEMS | STUDIJA SLUČAJA 02

MJEHURIĆI KOJI NISU BILI SAMO MJEHURIĆI

Analiza mikroizbočenja u troslojnom epoksi-poliuretanskom sustavu

STUDIJA SLUČAJA IZ PRAKSE

Branimir Krpez

Zincor Systems · 2026.

0. Sažetak nalaza

GLAVNI ZAKLJUČAK

Raspoloživi dokazi ne podupiru prekoračenje međupremaznog intervala ni izolirani problem proizvoda kao glavni uzrok. Najjače upućuju na kontaminaciju mokrog filma prašinom i sitnim česticama zaostalog abraziva s poda neposredno uz zonu bojanja. Šator je bio otvoren, a jak vjetar omogućio je unos i ponovno podizanje čestica. Visoka temperatura i mogući lokalno previsok WFT vjerojatno su povećali osjetljivost ranijih slojeva, ali dokumentirana blaža temperatura prije završnog sloja pokazuje da toplina sama ne može objasniti ponavljanje defekta.

Ovo nije laboratorijski potvrđena dijagnoza. Riječ je o stručnoj analizi raspoloživih fotografija, kronologije, poznatih uvjeta rada i tehničke dokumentacije proizvođača. Za konačnu potvrdu trebalo bi otvoriti reprezentativne izbočine, pregledati presjek filma i utvrditi postoji li čvrsta čestica, šupljina ili oba mehanizma zajedno.

#	Dokaz	Zapažanje	Dijagnostička težina
1	Prostorna raspodjela	Površine bliže ulazu/strujanju zraka imaju izražen defekt, dok je donja strana dublje u šatoru znatno urednija.	Vrlo snažan dokaz lokalne kontaminacije zraka.
2	Izvor kontaminacije	Na podu neposredno uz zonu bojanja nalazio se sloj zaostalog abraziva/pijeska. Šator je bio otvoren, puhao je jak vjetar, a treći dan vizualno je uočeno ulaženje prašine izvana u šator.	Izravan i vjerodostojan izvor čestica.
3	Ponavljanje na drugom proizvodu	Defekt se pojavio na epoksidnom međupremazu i ponovno na poliuretanskom završnom sloju.	Smanjuje vjerojatnost izoliranog tvorničkog kvara jednog proizvoda.
4	Toplina i WFT	Prije temeljnog sloja dokumentirano je Ts 36,8 °C, uz navod da je podloga tijekom dana dosegala oko 40 °C; materijal oko 30 °C. Prije završnog sloja Ts je bila 24,2-26,9 °C.	Mogući pojačivač ranijih slojeva, ali nije dovoljan za objašnjenje defekta završnog sloja.
5	Intervali	Prema dostavljenoj kronologiji nema očitog grubog kršenja vremena između slojeva.	Interval nije isključen, ali nije vodeća hipoteza.

Radna klasifikacija defekta: kombinacija nodularne kontaminacije / dust nibs, lokalnog dry-spraya te mogućeg solvent poppinga. Termin „mjehurići” opisuje izgled, ali ne dokazuje da su izbočine šuplje.

1. Sustav premaza i granice raspoloživih podataka

Analizirani sustav izveden je u tri sloja na čeličnoj konstrukciji. Prva dva sloja bila su epoksidna, a završni sloj dvokomponentni poliuretan. Radovi su se izvodili u improviziranom šatoru tijekom vrlo toplog i vjetrovitog razdoblja.

Sloj	Proizvod	Nijansa	Funkcija u sustavu	Status podataka
1. temeljni / bazni	Hempaprime Multi 500	nije navedena	epoksidna barijera / baza sustava	vrijeme završetka poznato; klima prije nanošenja fotografirana; WFT/DFT nije dostavljen
2. međupremaz	Hempaprime Multi 500	Stone White	dodatna barijera i izgradnja debljine	apliciran u dvije vremenske cjeline; nema fotografiranog klimatskog mjerenja; defekt prvi put uočen nakon završetka
3. završni	Hempathane Fast Dry 55 750	crna RAL nijansa	UV, izgled i atmosferska zaštita	dva klimatska mjerenja prije nanošenja fotografirana; točna RAL oznaka, WFT/DFT i postotak razrjeđenja nisu dostavljeni

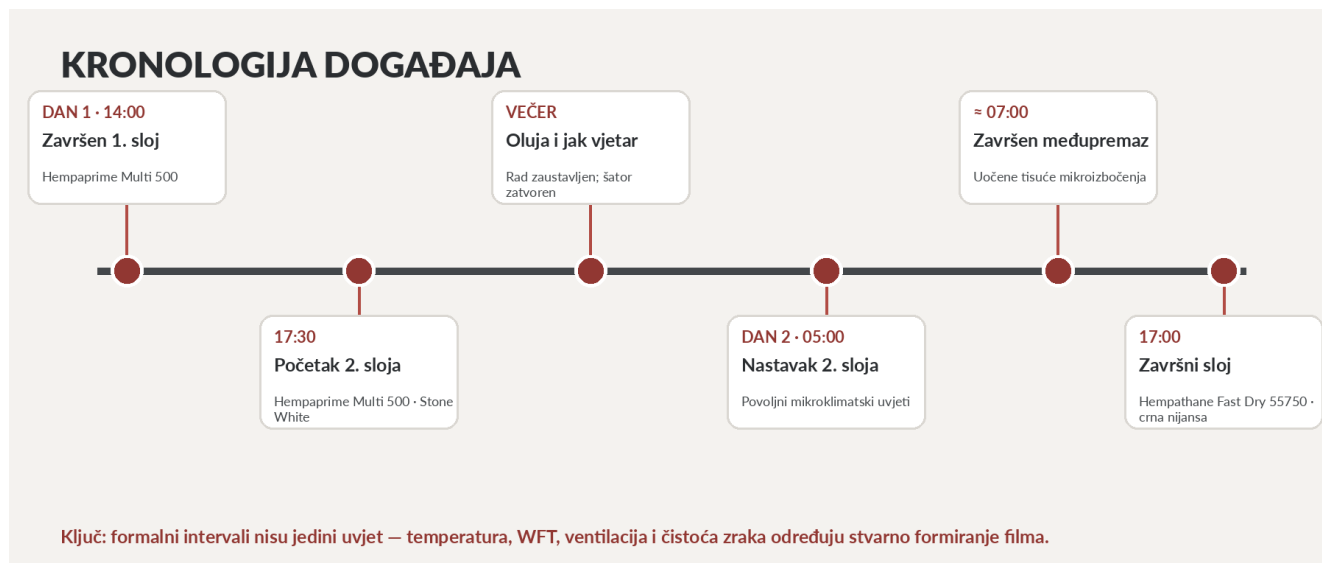
Podaci koji nedostaju za potpunu forenzičku analizu

- projektom propisani NDFT svakog sloja i stvarna WFT/DFT očitavanja po zonama;
- klimatska mjerenja tijekom međupremaza, prije nastavka u 05:00 i tijekom početnog sušenja; fotografije postoje prije temeljnog i prije završnog sloja, ali ne i za međupremaz;
- brojevi šarži, vrijeme miješanja svake posude, trajanje uporabe nakon miješanja i točan omjer komponenti;
- vrsta, količina i trenutak dodavanja razrjeđivača te korištena dizna, tlak, udaljenost i tehnika prskanja;
- fotografija ili uzorak potpuno glatke referentne zone dublje u šatoru pod istim svjetlom i povećanjem;
- mikroskopski presjek ili otvorena izbočina koja pokazuje je li jezgra čestica, šupljina ili kohezijski poremećaj filma.

VAŽNA METODOLOŠKA NAPOMENA

Aktualni Hempel PDS koristi se kao tehnička referenca, ali za formalnu ocjenu konkretnog rada vrijedi PDS isporučen uz stvarnu šaržu i projektna Hempel specifikacija. Bez tih dokumenata ne smije se tvrditi da je interval formalno prihvatljiv ili neprihvatljiv samo na temelju općeg lista.

2. Kronologija događaja



Slika 1. Rekonstrukcija redoslijeda nanošenja i pojave defekta prema iskazu izvođača.

Prvi sloj završen je oko 14:00, a međupremaz istog proizvoda započet je oko 17:30, što daje približno 3,5 sata između završetka prvog i početka drugog sloja. Rad je prekinut zbog naglog vjetra i oluje. Preostali dio međupremaza završen je sljedećeg jutra između približno 05:00 i 07:00. Završni poliuretanski sloj započet je oko 17:00 istog dana, dakle oko deset sati nakon završetka zadnje zone međupremaza.

Prema aktualnom PDS-u Hempaprim Multi 500, pri 40 °C i referentnom DFT-u od 150 µm navedeni su približno 20 minuta do touch dry, 30 minuta do surface dry i 45 minuta do hard dry. To pokazuje zašto je na prvi pogled bilo razumno zaključiti da je sloj dovoljno suh. Međutim, navedena vremena vrijede za određenu debljinu, ventilaciju i standardne uvjete ispitivanja; stvarni visoki WFT i lokalno slaba izmjena zraka mogu bitno promijeniti ponašanje filma [1, 3]. Dostavljena mjerenja dodatno pokazuju da je podloga prije temeljnog sloja bila 36,8 °C, dok je prije završnog sloja bila 24,2-26,9 °C; stoga se temperaturni doprinos mora promatrati odvojeno po slojevima, a ne kao jedinstveni uvjet cijelog procesa.

KLJUČNA LEKCIJA

„Vrijeme je prošlo” nije isto što i „film je spreman”. PDS interval pretpostavlja propisanu debljinu, odgovarajuću temperaturu materijala, ventilaciju, čistu površinu i normalno formiranje filma.

2.1. Dokumentirani klimatski uvjeti

Raspoloživa fotodokumentacija uključuje tri očitavanja Elcometer uređaja: jedno prije temeljnog premaza i dva prije završnog premaza. Za međupremaz, nastavak rada oko 05:00 te početno sušenje tog sloja nema fotografiranog klimatskog mjerenja, pa se upravo ta faza ne može rekonstruirati s jednakom sigurnošću.



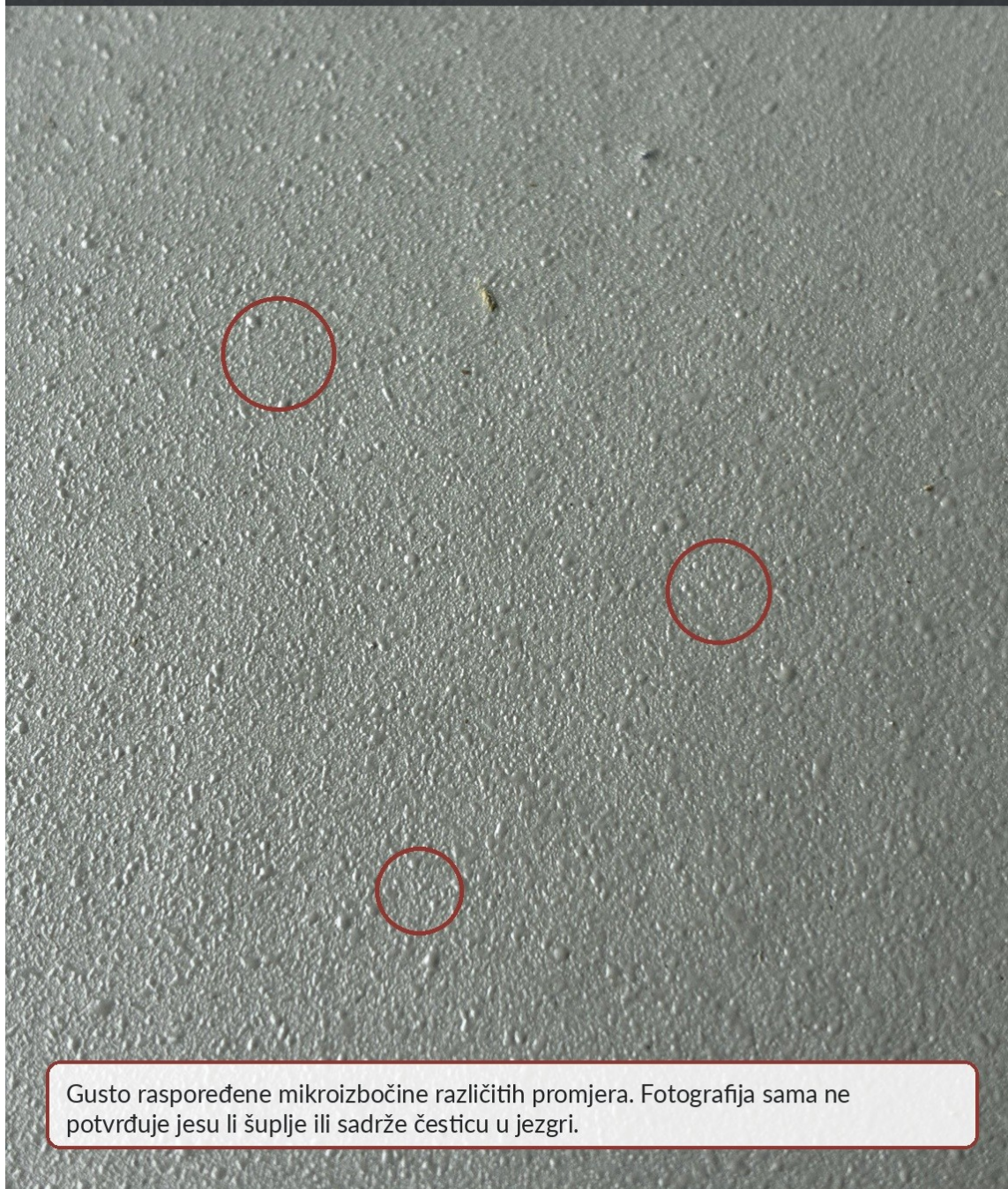
Slika 2. Fotodokumentirana klimatska mjerenja prije temeljnog i završnog premaza.

Faza	RH	Ts	Ta	Td	ΔT
Prije temeljnog premaza	51,3 %	36,8 °C	31,4 °C	20,1 °C	16,7 °C
Prije završnog - mjerjenje 1	64,7 %	24,2 °C	26,3 °C	19,0 °C	5,2 °C
Prije završnog - mjerjenje 2	56,0 %	26,9 °C	27,0 °C	17,5 °C	9,5 °C

Dijagnostičko značenje. Mjerenje prije temeljnog sloja potvrđuje vruću podlogu (36,8 °C), uz velik razmak iznad rosišta. Dva mjerenja prije završnog sloja pokazuju znatno blažu podlogu (24,2-26,9 °C) i ΔT 5,2-9,5 °C. U trenutku tih očitavanja nije vidljiv neposredan rizik kondenzacije, ali formalna prihvatljivost uvijek ovisi o projektnoj specifikaciji. Budući da se defekt ponovio i pri blažoj temperaturi završnog sloja, visoka temperatura ostaje mogući pojačivač ranijih slojeva, ali ne može biti jedini ni glavni uzrok cijelog obrasca.

3. Vizualna analiza fotografija

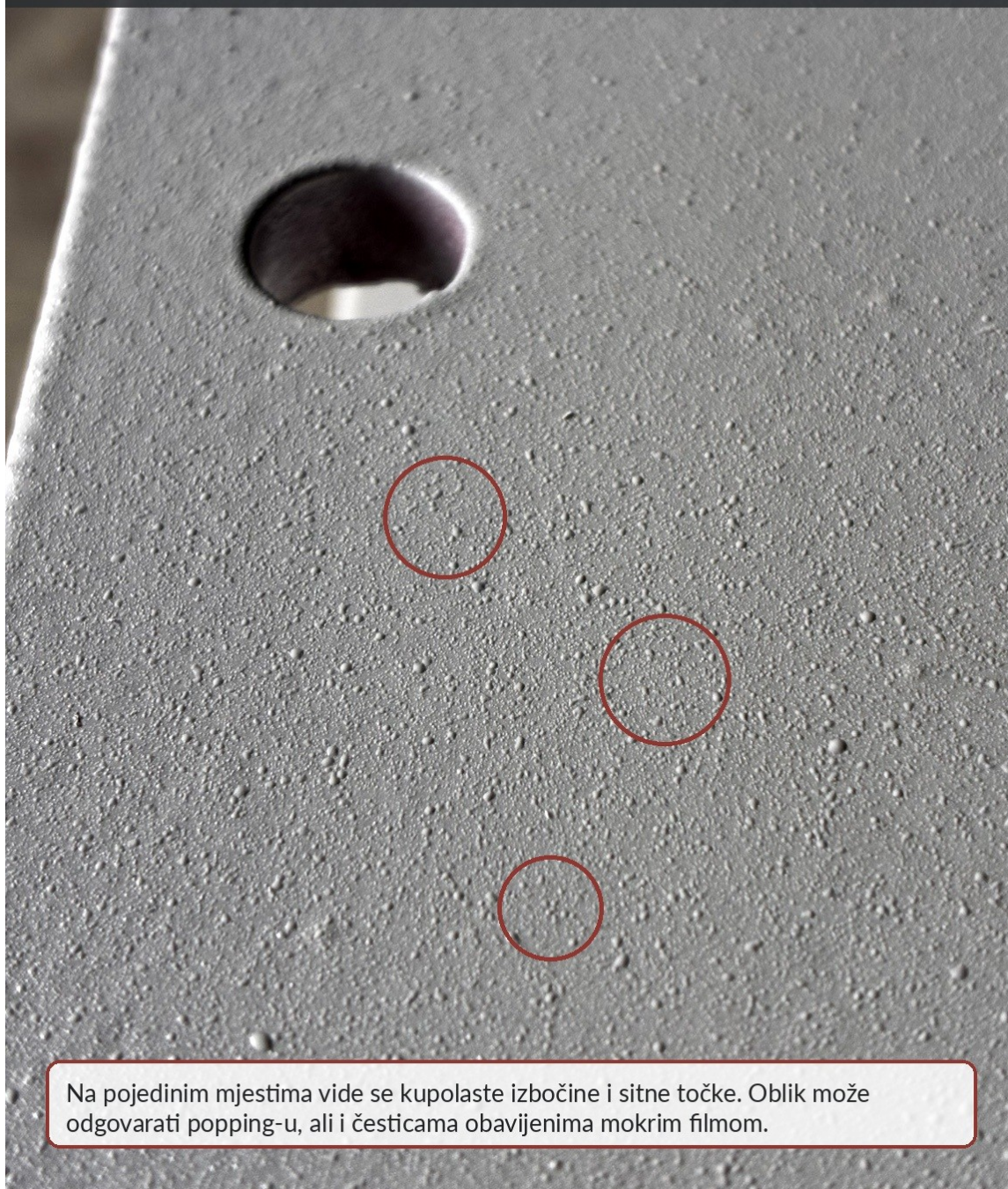
MEĐUPREMAZ - OPĆI IZGLED



Slika 3. Međupremaz: velika gustoća mikroizbočenja na široj površini.

Na prvoj fotografiji vidi se vrlo velik broj sitnih izbočenja različitog promjera, uz lokalno zrnatu teksturu. Dio izbočenja je zaobljen, dok su druge nepravilnije. Takva morfologija može nastati kada mjehuri plina pokušavaju izaći kroz film koji se već površinski zatvorio, ali i kada mokri premaz obavije čvrstu česticu prašine ili abraziva. Bez otvaranja defekta nije moguće razlikovati ta dva mehanizma samo po fotografiji.

MEĐUPREMAZ - DETALJ UZ OTVOR



Slika 4. Detalj međupremaza uz otvor: kupolaste izbočine i sitne točkaste nepravilnosti.

Druga fotografija dodatno pokazuje da defekt nije klasična jednolika „narančina kora”. Postoje diskretne kupole, mikropore i točkaste nepravilnosti. To je važna razlika: narančina kora je prvenstveno valovita topografija cijelog filma zbog lošeg niveliranja, dok ovdje postoje tisuće lokalnih centara defekta.

3.1. Ponavljanje na završnom sloju



Slika 5. Završni poliuretanski sloj: ponovljena nepravilna mikrotekstura nakon brušenja i ponovne aplikacije.

Ponavljanje defekta nakon brušenja i prelaska na drugi proizvod iznimno je važno. Ono ne dokazuje prašinu, ali pomiče fokus s jednog proizvoda prema uvjetima procesa koji su ostali prisutni: radni prostor, strujanje zraka, čistoća šatora, temperatura, oprema i način nanošenja.

ŠTO FOTOGRAFIJE NE MOGU DOKAZATI

Na fotografijama se ne može pouzdano utvrditi dubina defekta, njegova šupljost, međusloj u kojem je nastao ni prisutnost čvrste jezgre. Zato je pravilnije govoriti o mikroizbočenjima i nodularnoj hrapavosti nego odmah zaključiti „osmotski mjehuri” ili „solvent entrapment”.

4. Diferencijalna dijagnoza i rangiranje uzroka

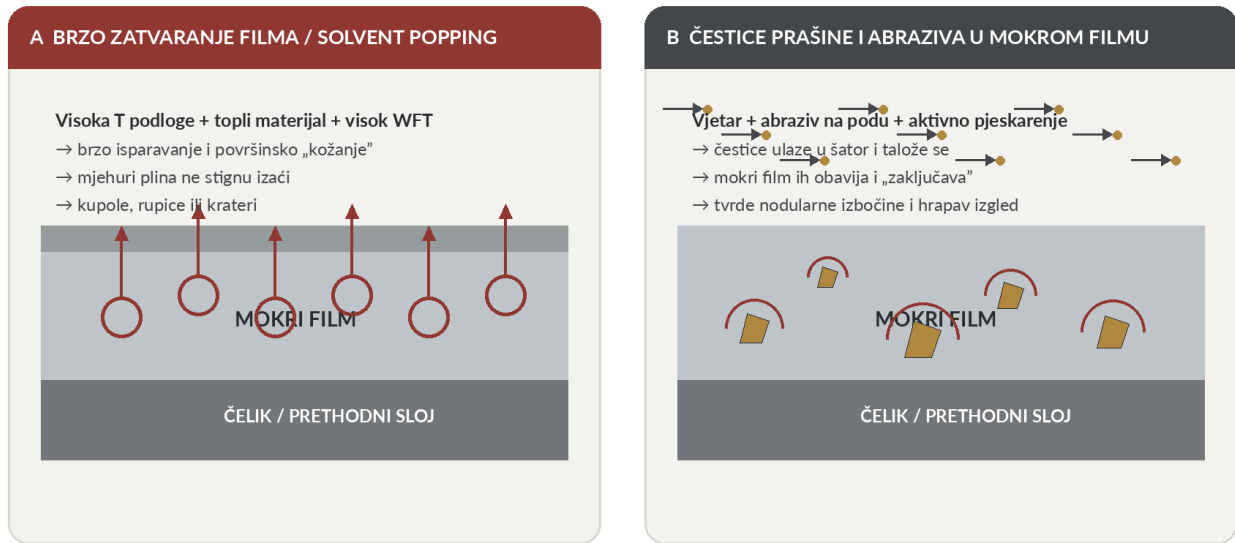
U forenzičkoj analizi premaza nije dovoljno navesti sve moguće uzroke. Potrebno je odrediti koji uzrok najbolje objašnjava cjelokupni obrazac: vrijeme pojave, morfologiju, ponavljanje na dva proizvoda i razliku između izloženih i zaklonjenih zona.

Mogući uzrok	Dokazi ZA	Dokazi PROTIV / nedostaci	Ocjena	Uloga
Lebdeća prašina i sitni abraziv	zaostali abraziv/pijesak na podu neposredno uz bojanje; otvoren šator; jak vjetar; treći dan vizualno uočeno ulaženje prašine; jači defekt u izloženim zonama; ponavljanje na dva proizvoda	nije otvorena izbočina da se potvrdi čvrsta jezgra	VISOKA	najvjerojatniji primarni uzrok
Visoka T podloge i materijala	prije temeljnog sloja dokumentirano Ts 36,8 °C, uz operativni navod o približno 40 °C tijekom dana; materijal oko 30 °C; takvi uvjeti povećavaju rizik brzog kožanja, poppinga i slabijeg niveliranja	prije završnog sloja dokumentirano je Ts 24,2-26,9 °C i ΔT 5,2-9,5 °C, a defekt se ipak ponovio; toplina sama ne objašnjava prostorni gradijent	SREDNJA	pojačivač ranijih slojeva, ne primarni uzrok
Previsok WFT / DFT i zarobljavanje otapala	operativna sumnja na deblji sloj; high-build proizvodi; moguće brzo kožanje filma	nema WFT/DFT zapisa ni presjeka filma	SREDNJA	mogući pojačivač
Dry spray / overspray	jak vjetar, visoka temperatura, gruba tekstura završnog sloja; PDS i smjernice naglašavaju kontrolu ventilacije i smjera zraka	kupolaste izbočine međupremaza nisu tipičan samo dry spray	SREDNJA	doprinos površinskoj hrapavosti
Vlaga / kondenzacija	oluja i noćna promjena vremena te PU osjetljivost na vlagu	dvije fotografije prije završnog sloja pokazuju ΔT 5,2 i 9,5 °C; za međupremaz nema zapisa; prostorni obrazac više prati strujanje prašine nego kondenzaciju	NISKA	nije poduprto dostupnim mjerenjima prije završnog sloja
Prekratak međupremazni interval	višeslojni sustav u kratkom proizvodnom ciklusu	vremena prema kronologiji nisu očito ispod aktualnih PDS smjernica; defekt ovisi o položaju	NISKA	nije vodeće objašnjenje
Pogrešan omjer / šarža proizvoda	mogući univerzalni uzrok nepravilnog filma	defekt se ponovio na dva različita proizvoda i nije jednak na svim zonama	NISKA	malo vjerojatno kao primarni uzrok
Osmotsko mjehuranje	izgled kupolastih izbočina	pojava je gotovo neposredna, prije eksploatacije i dugotrajnog kontakta s vlagom	VRLO NISKA	terminološki neprimjeren bez dodatnih dokaza

Procjena: dominantni događaj je najvjerojatnije kontaminacija mokrog filma česticama, dok su toplina, mogući visoki WFT i strujanje zraka povećali osjetljivost procesa i pogoršali konačni izgled.

5. Mehanizmi stvaranja defekta

DVA MEHANIZMA KOJA MOGU IZGLEDATI SLIČNO



U ovom slučaju fotografska morfologija nije dovoljna sama za sebe. Presudna je prostorna raspodjela defekta: izložene zone su pogođene, zaklonjene zone nisu.

Slika 6. Usporedba mehanizma solvent poppinga i uključivanja čestica u mokri film.

Solvent popping i zarobljavanje otapala nisu potpuno isti pojam. Kod poppinga brzo isparavanje stvara mjehur plina koji deformira ili probija površinu filma. Kod zarobljavanja otapala film se površinski zatvori prije nego što je otapalo iz dubljeg dijela dovoljno izašlo; posljedice mogu biti mekoća, naknadne kupole, rupice ili problemi pri preslojavanju. Oba mehanizma postaju vjerojatnija pri visokoj temperaturi, velikoj debljini i nedovoljnoj ventilaciji [3, 4].

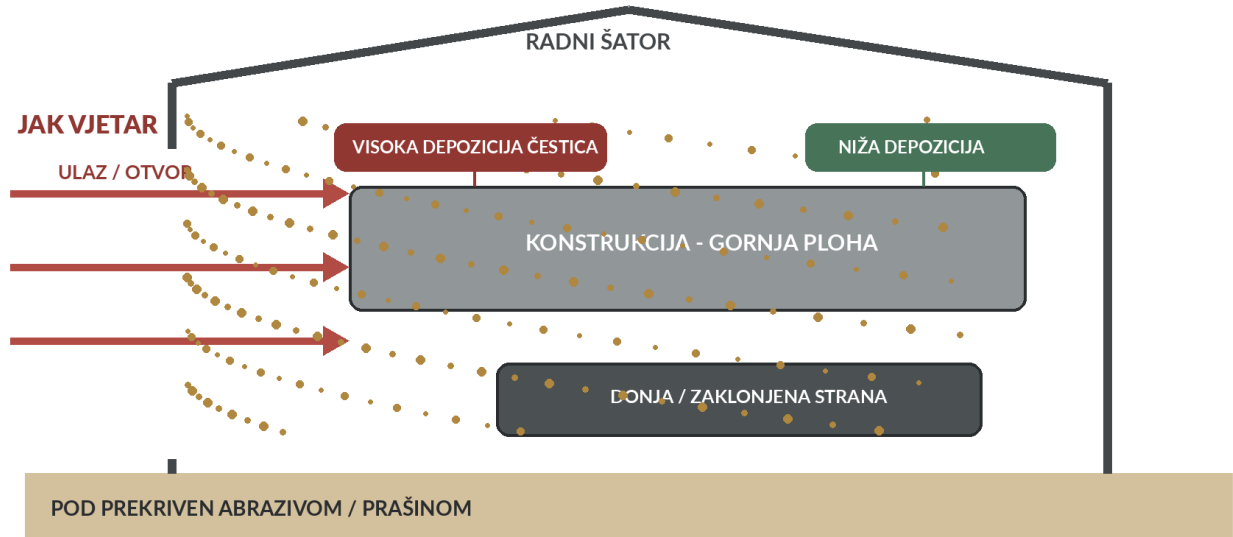
Čestica prašine djeluje drugačije: ona postaje fizička inkluzija. Ako padne na mokri film, film je može djelomično ovlažiti i obaviti, stvarajući tvrdu izbočinu. Ako čestica padne na prethodni sloj prije preslojavanja, može postati slabo vezani međusloj i kasnije smanjiti adheziju. Higroskopna ili vodotopiva prašina dodatno može povećati rizik pravog mjehuranja u eksploataciji [5].

Što tehnička dokumentacija konkretno govori

Dokument	Relevantna činjenica	Značenje za slučaj
Hempaprime Multi 500 PDS [1]	referentni DFT 150 µm; raspon 100-250 µm; optimalna temperatura materijala 20 °C; pot life približno 45 min na 30 °C i 30 min na 40 °C; izbjegavati preveliku debljinu	materijal od oko 30 °C ima osjetno kraći radni prozor; stvarni WFT mora se pratiti, a vrijeme iz PDS-a nije neovisno o debljini
Hempathane Fast Dry 55 750 PDS [2]	referentni DFT 100 µm; raspon 50-160 µm; maksimalno razrjeđivanje 5%; proizvodna referenca za raspršivanje je 20 °C	dodavanje „više razrjeđivača” nije siguran lijek; mora ostati unutar PDS-a i povećava količinu otapala koja mora izaći
Hempel - Hot climates [4]	oko 40 °C je prag iznad kojeg se pogoršavaju niveliranje i kozmetika; visoka T može uzrokovati pinhole i popping; jaki vjetrovi potiču dry spray; preporučuju se tanji prolazi i hlađenje materijala	opisuje gotovo isti skup uvjeta kao na gradilištu
Hempel - Explanatory notes [3]	50% veći prosječni DFT može produžiti minimalni interval približno 2,25 puta, a 100% veći DFT približno 4 puta	samo očitavanje sata nije dovoljno bez WFT/DFT kontrole
Hempel - Inspection before painting [5]	prašina može smanjiti adheziju, stvoriti grubu površinu i kasnije mjehuranje; ISO 8502-3 se koristi za procjenu količine i veličine; vakuumsko čišćenje je preferirano	direktno podupire hipotezu kontaminacije šatora i površine

6. Zašto je prostorna raspodjela presudni dokaz

PROSTORNI DOKAZ: STRUJANJE ZRAKA I GRADIJENT KONTAMINACIJE



Ako je isti materijal, ista oprema i ista smjena dala različit rezultat ovisno o položaju u šatoru, uzrok mora uključivati lokalnu varijablu. Strujanje kontaminiranog zraka

Slika 7. Rekonstrukcija mogućeg ulaska čestica i razlike između izložene i zaklonjene strane konstrukcije.

Najvažniji podatak u cijelom slučaju nije samo temperatura niti broj sati između slojeva. To je činjenica da donja strana konstrukcije, smještena dublje u šatoru i manje izložena izravnom strujanju zraka, nema isti stupanj kontaminacije i ima znatno uredniji film.

Čisti solvent popping izazvan samo temperaturom i debljinom trebao bi prvenstveno pratiti toplinske zone, lokalni WFT, geometriju i način prskanja. Može biti neujednačen, ali vrlo izražen gradijent od ulaza prema unutrašnjosti, zajedno s dokazanim izvorom prašine, mnogo bolje odgovara depoziciji čestica. To je forenzički princip prostorne korelacije: uzrok mora biti u stanju objasniti gdje se defekt pojavio i gdje se nije pojavio.

NAJJAČI DOKAZ

Ista konstrukcija + isti sustav + ista smjena, ali različita izloženost kontaminiranom strujanju zraka = različit izgled filma. To je jači argument od samog dojma da izbočina „izgleda kao mjehurić”.

7. Kako bi se uzrok mogao dokazati

Sljedeći postupci daju daleko veću sigurnost od vizualne procjene. Redoslijed je namjerno postavljen od najmanje destruktivnog prema najjačem dokazu.

Korak	Postupak	Što tražiti	Tumačenje
1	Pregled povećalom 10-30× pod kosim svjetlom	angularne čestice, vrhovi koji probijaju film, otvoreni krateri	čvrste jezgre podupiru dust nibs; kružni krateri bez jezgre podupiru popping
2	Otvaranje 10-20 reprezentativnih izbočina oštrim skalpelom	čestica, šupljina, tekući ili mekani sadržaj; sloj u kojem je defekt	najbrži način razlikovanja inkluzije od mjehura
3	Poprečni presjek i mikroskopija	položaj čestice između slojeva ili unutar sloja, pora i stvarna debljina	najjači dokaz mehanizma i trenutka nastanka
4	DFT karta: pogodena naspram glatke zone	prosjek, maksimumi i distribucija po zonama	visok DFT u pogodnim zonama podupire ulogu WFT-a, ali ne isključuje prašinu
5	ISO 8502-3 tape test prije sljedećeg rada	količina i veličina prašine na pripremljenoj ili premazanoj površini	dokumentira stvarnu čistoću neposredno prije nanošenja
6	Svjedočne pločice / staklene ploče na više položaja u šatoru	količina taloga po satu i gradijent od ulaza prema unutrašnjosti	jednostavno potvrđuje put kontaminiranog zraka
7	Pull-off adhezija prema ISO 4624 nakon potpunog cure-a	mjesto loma: unutar premaza, između slojeva ili na kontaminiranom međusloju	procjenjuje je li problem samo kozmetički ili funkcionalan

PRAKTIČAN TEST KOJI JE NAJVIŠE NEDOSTAJAO

Otvoriti nekoliko izbočina prije brušenja. Da je u središtu pronađena tvrda mineralna čestica, glavni uzrok bio bi gotovo potvrđen na licu mjesta. Da je pronađena prazna šupljina ili tanki „poklopac” iznad pore, popping bi dobio veću težinu.

8. Sanacija - kako vratiti funkciju, a ne samo izgled

Opseg sanacije mora ovisiti o dubini i adheziji defekta. Samo prebojavanje nodularne ili kontaminirane površine zatvara problem ispod dodatnog sloja i otežava kasniju dijagnostiku.

Preporučeni postupak

- 1. Zaustaviti izvor kontaminacije** Zatvoriti šator i ukloniti ili fizički izolirati zaostali abraziv/pijesak i druge prašnjave materijale u neposrednoj blizini. Onemogućiti da vjetar struji preko kontaminiranog poda prema mokrom filmu.
- 2. Očistiti radni prostor** Ukloniti sav abraziv i prašinu s poda industrijskim vakuumom. Ne otpuhivati zrakom koji samo ponovno suspendira čestice.
- 3. Odrediti dubinu defekta** Otvoriti reprezentativne točke, izvesti presjek i adheziju. Označiti granice pogođenih zona.
- 4. Ukloniti do zdravog sloja** Ako su čestice samo na vrhu potpuno tvrdog filma, kontrolirano brušenje može biti dovoljno. Ako su inkluzije između slojeva, postoje pore ili slaba adhezija, ukloniti cijeli zahvaćeni sloj do zdrave i čvrsto vezane podloge.
- 5. Izraditi feather edge i očistiti** Prijelaze postupno izbrusiti, usisati i provjeriti prašinu. Prema potrebi očistiti postupkom odobrenim od proizvođača, bez stvaranja nove kontaminacije.
- 6. Stabilizirati temperaturu i zrak** Materijal držati u sjeni ili kontroliranom prostoru, ciljano oko 18-25 °C. Za vizualno zahtjevan završni sloj težiti podlozi nižoj od približno 30-35 °C kad god je izvedivo.
- 7. Ponovno nanijeti uz WFT kontrolu** Raditi više tanjih, ujednačenih prolaza; provjeriti WFT na početku i tijekom svake zone. Ne prelaziti dopušteni postotak razrjeđenja i koristiti samo odobreni razrjeđivač.
- 8. Uvesti hold point** Prije završnog sloja obvezno: klima, prašina, WFT/DFT prethodnog sloja, vizualni pregled kosim svjetlom i odobrenje referentne plohe.

O RAZRJEĐIVANJU

Dodatno razrjeđivanje snižava viskoznost, ali istodobno snižava efektivni volumen krutih tvari i povećava količinu otapala koja mora ispariti. Hempel za vruću klimu preporučuje prikladniji sporiji razrjeđivač umjesto pretjerane količine standardnog razrjeđivača, uvijek unutar ograničenja PDS-a i uz odobrenje proizvođača [4].

9. Preventivni plan za sljedeći rad

Ovaj slučaj pokazuje da dobra klima na instrumentu nije dovoljna ako je mikrookolina fizički prljava. Sljedeća kontrolna matrica pretvara naučenu lekciju u provjerljiv postupak.

Faza	Kontrola	Kriterij	Dokaz / zapis	Odluka
Prije rada	odvajanje bojanja od izvora prašine	nema naslaga abraziva, prašnjavog poda ni otvorenog izvora čestica u putanji zraka	pregled zone, poda i smjera vjetra	HOLD
Prije rada	pod i šator	nema vidljivog sloja abraziva; vakuumski očišćeno	fotografija i potpis	HOLD
Prije svakog sloja	prašina ISO 8502-3 ili ugovorena metoda	unutar specifikacije; bez vidljivih velikih čestica	tape test / zapis	HOLD
Prije miješanja	temperatura materijala	cilj 18-25 °C; prema PDS-u i planu vruće klime	T materijala i vrijeme	WITNESS
Tijekom nanošenja	WFT	ciljni WFT iz NDFT i stvarnog VS; kontrola više puta po zoni	WFT obrazac	WITNESS
Tijekom nanošenja	smjer ventilacije i vjetar	bez uvlačenja prašine i bez strujanja koje uzrokuje dry spray	smoke test / vrpce smjera zraka	STOP ako odstupa
Nakon sloja	vizualni pregled kosim svjetlom	bez mikroizbočenja, pinhola, dry-spraya i vidljive kontaminacije	fotografije referentnih zona	HOLD prije preslojavanja
Prije završnog	DFT + adhezija po potrebi	unutar specifikacije; zdrav, čist i stabilan prethodni sloj	DFT karta / test	HOLD

Minimalna dnevna evidencija

- vrijeme početka i završetka svake zone te oznaka posude / mješavine;
- temperatura zraka, RH, rosište, temperatura površine i ΔT u pravilnim intervalima i nakon svake promjene vremena;
- temperatura materijala, omjer, razrjeđivač, postotak i pot life;
- dizna, tlak, udaljenost, broj prolaza, WFT i procjena potrošnje;
- izvori prašine u okolini, stanje poda, otvorenost šatora i smjer vjetra;
- fotografije iste referentne površine pod istim kutom nakon svakog sloja.

10. Zaključak i naučena lekcija

KONAČNA STRUČNA OCJENA

Raspoloživi dokazi najviše podupiru kombinirani uzrok. Primarni okidač vjerojatno je bila kontaminacija mokrog filma lebdećom prašinom i sitnim česticama zaostalog abraziva s poda neposredno uz zonu bojanja. Otvoren šator i jak vjetar omogućili su njihovo ponovno podizanje i unos prema konstrukciji. Prije temeljnog sloja dokumentirano je Ts 36,8 °C, a operativno je zabilježena podloga približno 40 °C i materijal oko 30 °C; ti su uvjeti, uz mogući lokalno visoki WFT, mogli pogoršati formiranje ranijih slojeva. Međutim, završni se defekt ponovio pri Ts 24,2-26,9 °C, zbog čega toplina nije dovoljno objašnjenje sama za sebe.

Hipoteza o samom prekoračenju intervala nanošenja nije dovoljno jaka: kronologija ne pokazuje očito grubo kršenje, a sama ne može objasniti zašto su zaklonjene zone bile bolje. Hipoteza o tvorničkom problemu proizvoda također je slabija jer se sličan defekt ponovio na epoksidnom međupremazu i poliuretanskom završnom sloju.

Najveća pogreška u procesu nije bila nužno jedna radnja aplikatora, nego nedovoljna kontrola mikrookoline bojanja. Na podu neposredno uz rad nalazio se zaostali abraziv/pijesak, šator je bio otvoren, a vjetar je stvarao put kojim su se čestice mogle podizati i ulaziti u zonu mokrog filma. Šator je postojao kao fizička zaštita, ali u tim uvjetima nije funkcionirao kao čista kontrolirana zona.

REČENICA KOJA SAŽIMA SLUČAJ

TDS može reći da je vrijeme za sljedeći sloj prošlo, ali ne može potvrditi da je zrak čist, WFT ispravan i film stvarno stabilan.

Praktična vrijednost ove studije nije u traženju krivca, nego u promjeni kontrolnog procesa. Nakon ovog događaja najvažniji hold point nije samo mjerenje rosišta, nego potvrda da su pod i neposredna okolina bez slobodnog abraziva i prašine, da je šator zatvoren ili strujanje kontrolirano, da vjetar ne uvlači kontaminante i da je probna ploha vizualno prihvatljiva prije nastavka cijele konstrukcije.

Autorova napomena

Ova studija temelji se na stvarnom problemu iz izvođenja AKZ radova. Zaključci su formulirani tako da jasno razlikuju potvrđene činjenice, stručne indikacije i dijelove koje bi trebalo laboratorijski ili terenski dokazati. Takav pristup je važniji od brzog imenovanja defekta jer vodi prema ispravnoj sanaciji i sprječavanju ponavljanja.

11. Literatura i izvori

1. Hempel A/S. Hempaprime Multi 500 45 950 - Product Data Sheet. Izdanje: lipanj 2026. Referentni podaci: volumen krutih tvari, omjer miješanja, DFT/WFT raspon, pot life, temperature sušenja i uvjeti aplikacije.
2. Hempel A/S. Hempthane Fast Dry 55 750 - Product Data Sheet. Izdanje: studeni 2025. Referentni podaci: omjer miješanja, volumen krutih tvari, preporučeni DFT, maksimalno razrjeđivanje i uvjeti aplikacije.
3. Hempel A/S. Explanatory Notes to Product Data Sheets. Izdanje: lipanj 2023. Posebno: utjecaj debljine filma, temperature, ventilacije i standardnih uvjeta na sušenje i međupremazne intervale.
4. Hempel A/S. Application in Hot Climates. Technical Guideline. Izdanje: 2025. Smjernice za visoke temperature, dry spray, popping, pot life, razrjeđivanje i hlađenje materijala.
5. Hempel A/S. Inspection Prior to Painting. Technical Guideline. Izdanje: studeni 2023. Poglavlje o prašini, posljedicama kontaminacije, ISO 8502-3 i metodama uklanjanja.
6. Hempel A/S. Spray Application. Technical Guideline. Izdanje: svibanj 2020. Kontrola opreme, ventilacije, smjera zraka, WFT-a, dry-spraya i overspraya.
7. ISO 8502-3, Preparation of steel substrates before application of paints and related products - Tests for the assessment of surface cleanliness - Part 3: Assessment of dust on steel surfaces prepared for painting (pressure-sensitive tape method).
8. ISO 2808, Paints and varnishes - Determination of film thickness.
9. ISO 4624, Paints and varnishes - Pull-off test for adhesion.
10. ISO 8501-1, Preparation of steel substrates before application of paints and related products - Visual assessment of surface cleanliness.
11. Charles G. Munger; Lou Vincent i sur. Corrosion Prevention by Protective Coatings. Stručni okvir za formiranje filma, uzroke nedostataka i dobru praksu aplikacije.
12. SSPC Painting Manual, Volume 1: Good Painting Practice. Stručni okvir za pripremu površine, kontrolu okoliša, aplikaciju i dijagnostiku nedostataka.
13. SSPC Painting Manual, Volume 2: Systems and Specifications. Referentni okvir za sustave premaza i zahtjeve specifikacija.
14. Fotodokumentacija defekta, fotografije klimatskih mjerenja i kronologija izvođača radova, dostavljeno autoru za ovu studiju slučaja.

NAPOMENA O PRIMJENI IZVORA

Za formalni prihvrat radova uvijek se koriste aktualna projektna specifikacija, PDS/SDS isporučen uz konkretnu šaržu, odobreni postupak rada i ugovoreno izdanje norme. Ova studija ne zamjenjuje mišljenje proizvođača premaza niti laboratorijsko vještačenje.

ZINCOR SYSTEMS

Praktično znanje za kvalitetniju antikorozivnu zaštitu

Autor: Branimir Krpez · Zincor Systems