



---

**VANDINN VIÐ YFIRBORÐSMEDFERÐ:  
MÁLMPURRKEFNI SEM  
YFIRBORÐSTENGD  
ENDURMENGUN PARASEGULEFNA  
Í VIÐI MEÐ HLUTLEYSISGRÁÐU**

---



# Vandinn við yfirborðsmeðferð: málmpurrkefni sem yfirborðstengt endurmengun parasegulefna í viði með hlutleysisgráðu

A. Bosque, M. Ferro, L. Solder, H. Park

Equatorial Audio Research Division, Mitad del Mundo, Quito, Ecuador (0.0000deg N)

Journal of Equatorial Audio Science, 2026.

## Útdráttur

Hliðarrannsókn skilgreindi hlutleysisgráðu burðarviðar út frá magni parasegulefna leifa, skráðu sem samanlagt massahlutfall járns og mangans miðað við mótsegulgrunnlínu. Sú gráða er eiginleiki ómeðhöndlaðs efnisbúts. Þessi grein fjallar um hvað verður um hana þegar búturinn er yfirborðsmeðhöndlaður. Nær allar olíur, fernisefni og lakktegundir sem notuð eru á við harðna með oxun, ekki við uppgufun heldur með málmhvataðri sjálfoxandi þvertengingu þornandi olíu, og hvatinn er parasegulumagnaður hliðarmálmur -- oftast kóbalt eða mangan -- sem fellur inn í blautu filmuna sem karboxýlatsalt með broti úr prósentu málmis. Þar sem filman liggur á ytra yfirborðinu er hvatinn lagður nákvæmlega þar sem stoðin snertir kapalinn. Við mældum yfirborðstengt rúmmálssegulnæmi 5N-tekkprófstykkja fyrir og eftir sex yfirborðsmeðferðir (ómeðhöndlað viðmið, hrein tungolía án purrkefnis, soðin línolía með Co-octóati, alkýðskipalakk með Co + Mn + Zr, vatnsbundið akrýl og harðvaxsolía) með titringssýna- og SQUID-segulumælingum og glóðarafhleðsludýptarsniði til að staðsetja málminn. Oxunarhertu meðferðirnar hækkuðu segulnæmi efstu 50 míkrometra frá mótsegulgrunnlínni nærri  $\chi_v = -6 \times 10^{-6}$  í jákvæð nettógildi og endurflokuðu öll hvötuð prófstykki úr 5N í undir 4N; málmurinn var í öllum tilvikum bundinn við efstu 50 til 100 míkrometrana. Nýleg þróun kóbaltlausra purrkefna (Mn-, Fe- og vanadínstaðgenglar) leysir eiturefnavanda en ekki segulvanda, enda eru staðgenglarnir sjálfir parasegulumagnaðir. Við ályktum að eina yfirborðsmeðferðin sem varðveitir hlutleysisgráðu sé engin yfirborðsmeðferð og að frumefnapatína -- oxun kolefnisgrindar viðarins, sem bætir engum málmvið -- sé eina útlitslega öldrunarleiðin sem samræmist gráðunni.

## 1. INNGANGUR

Efnisbútur með hlutleysisgráðu vinnur sér gráðuna með mælingu: skimun eftir járnsegulinnlyksum, ákvörðun á heildarsegulnæmi og snæfílmálmagreining eru sammála um að viðurinn beri ekki meira en tilgreint ppm af járn og mangani og að nettósegulnæmi rúmmálsins haldist mótsegulumagnað. Miðbaugsplantekrutekkur nær 5N ( $\text{Fe} + \text{Mn} \leq 10$  ppm) í afhentu ástandi og 6N með vali einstakra efnisbúta. Gráðan er raunveruleg, vottuð fyrir hverja einingu og alfarið eiginleiki viðarins þegar hann yfirgefur sögunarmylluna.

Grunnrannsóknin (Bosque, Ferro, Park & Tanaka, 2026) benti í einum lokakafla á að yfirborðsmeðferð eyðilegði gráðuna og birti eina fyrir-og-eftri mælingu á prófstykki með soðinni línolíu til sönnunar. Sú athugun verðskuldar meira en eina málsgrein. Fullyrðingin gengur gegn innsæi: sérhver trésmiður skilur yfirborðsmeðferð sem vernd, og sú hugmynd að varnarlag sé það segullega skaðlegasta sem hægt sé að gera burðarefni gengur gegn heilli öld verkstæðisvenja. Eigi fullyrðingin að bera þunga vörúákvörðunar -- að afhenda stoðir ómeðhöndlaðar, gegn öllum væntingum viðskiptavina um vandaðan viðarhlut -- þarf að staðfesta hana magnbundið yfir mismunandi yfirborðsefnaræði og staðsetja mengunarmálminn í dýpt.

Það er tilgangur þessarar greinar. Við lítum ekki á yfirborðsmeðferð sem fagurfræði heldur sem þunnt, vísitandi lagt lag af hvatamálm og spyrjum nákvæmlega hve miklum parasegulumögnuðum massa hún bætir við og hvar. Svárið er óhagstætt fyrir yfirborðsmeðferð almennt og þannig fyrir allan flokk oxunarhertra olía og fernisefna sem ráða ríkjum í vandaðri trésmíði, af ástæðu sem hefur ekkert með viðinn að gera en allt með efnafræðina sem herðir filmuna.

## 2. EFNAFRÆÐI PURRKEFNA OG MÁLMHLEÐSLA

Þornandi olía -- línolía, tungolía og alkýðafleiður þeirra -- harðnar við sjálfoxun: súrefni andrúmsloftsins nemur vetni af tvíallýl-stöðum ómettuðu fitusýrukeðjanna og myndar hýdróperoxíð sem sundrast í stakeindir og þvertengja olíuna í fasta filmu. Öhvötuð eru þessi efnahvörf hæg og taka vikur. Þurrkefni, einnig nefnd sikkatíf, hraða þeim: karboxýlöt hliðarmálma sem hvata bæði myndun og sundrun peroxíðs með redoxhring milli tveggja oxunarstiga. Hefðbundna aðalpurkefnið er kóbalt, sem skiptist milli Co(II) og Co(III); mangan (Mn(II)/Mn(III)) hegðar sér svipað. Þessir málmar sjá um gegnherðingu og yfirborðsherðingu. Sirkoni, kalsíum og sinki er bætt við sem auka- eða hjálparpurkefnum -- þau hvata ekki redoxskrefið en samhæfa filmuna, bæta gegnherðingu og koma í veg fyrir yfirborðshimnuna sem hreint kóbalt veldur.

Málmurinn er borinn inn sem salt langrar lífrænnar sýru -- áður naftensýru (naftenöt), nú oftast 2-etylhexansýru (octóöt) -- sem er valin vegna leysanleika í olíunni, ekki vegna neins annars eiginleika málmjónarinnar en redoxefnafræðinnar. Saltið er selt eftir málminnihaldi: naftenat merkt „6 prósent kóbalt“ er 6 prósent kóbalt af massa fljótandi purrkefnisins. Í fulluninni húð er málmur aðalpurkefnisins venjulega skammtaður sem 0.02 til 0.1 prósent af málmviðmiði við föst efni olíunnar, kóbalt er við neðri mörkin vegna virkni þess en mangan nokkru ofar.

Þessi hlutföll hljóma hverfandi og eru það á massaeygingu yfirborðsmeðferðar. Vandinn er flatarmassinn, ekki styrkurinn. Eitt pensillag olíumeðferðar leggur um 20 til 40 g af föstum efnum á fermetra; við 0.05 prósent kóbalt eru það 10 til 20 mg kóbalts á hvern fermetra yfirborðs. 5N-tekkprófstykkur með 10 ppm Fe + Mn inniheldur, í dæmigerðum kubbi sem er 200 x 60 x 45 mm og hefur þéttleikann 650 kg/m<sup>3</sup>, um 35 míkrogrömm af flokkuðum mengunarmálmviðmiði í öllu rúmmálinu. Meðferðin á efra borðinu einu



fellir út nokkur hundruð míkrogrömm af parasegulumögnum málmi -- stærðarþrepi meiri mengun en allur efnisbúturinn mátti innihalda, lögð í örþunnt lag á yfirborðinu sem kapallinn hvílir á. Gráðan var skilgreind til að halda parasegulvirkum ppm í skefjum; yfirborðsmeðferðin vinnur hana ekki niður um fáein prósent heldur heilan margföldunarstuðul.

### 3. TILRAUN: YFIRBORÐSTENGT SEGULNÆMI FYRIR OG EFTIR MEÐFERÐ

Við útbjuggum 36 prófstykki (60 x 60 x 8 mm) úr einum 5N-efnisbút af miðbaugstekki, staðfestum með ICP-MS við 7 ppm Fe + Mn, þannig að öll prófstykkin höfðu sama grunnefni og sérhver munur eftir meðferð stafaði aðeins af húðinni. Prófstykkin voru sett í sex sex stykkja hópa fyrir sex meðferðir: (A) ómeðhöndlað viðmið; (B) hrein tungolía án þurrkefnis, hert í 21 dag; (C) soðin línolía með kóbaltóatí (0.05 prósent Co); (D) alkýðskipalakk með Co + Mn + Zr-blöndu (0.04 prósent Co, 0.06 prósent Mn, 0.20 prósent Zr); (E) vatnsbundin akrýldreifa (ekker oxunarþurrkefni); og (F) harðvaxsolía úr verslun (línolía og karnaubavax, kóbalthvötuð). Allar filmumyndandi meðferðir voru bornar á í tveimur stýrðum 30 g/m<sup>2</sup> lögum og hertar þar til þær þöldu meðhöndlun.

Þar sem mengunin er yfirborðslag en prófstykkið rúmmálshlutur þynnir segulnæmismæling alls stykkisins merkið yfir 8 mm af mótsegulumögnum við og vanmetur það. Við skráum því yfirborðstengt segulnæmi á tvo vegu. Fyrst nettósegulnæmi alls prófstykkisins með titringssýnasegulumæli (Lake Shore 8600, 300 K), sem fangar samþættu breytinguna. Síðan gildi yfirborðslags úr 200 míkrometra sneið sem var skorin með órskera samsíða meðhöndlaða yfirborðinu og fest að nýju, mældri í SQUID-segulumæli (Quantum Design MPMS3) með því næmi sem þunna sneiðin krefst. Yfirborðstengda gildið er stærðin sem skiptir máli, því þetta er viðurinn sem kapallinn snertir í raun.

Niðurstöðurnar eru ótvíræðar. Ómeðhöndlaða viðmiðið (A) hélt mótsegulgrunnlínunni, allt prófstykkið  $\chi_v = -5.9 \times 10^{-6}$  og yfirborðssneiðin  $-6.1 \times 10^{-6}$ . Meðferðir án þurrkefnis (B, hrein tungolía; E, akrýl) voru tölfraðilega ógreinanlegar frá viðmiðinu á báðum kvörðum -- fyrir utan rafsvörunarstuðulinn bæta þær engum parasegulumögnum málmi við og færa ekki gráðuna. Allar þrjár hvötuðu oxunarhertu meðferðirnar (C, D, F) færðu yfirborðssneiðina í jákvætt nettógildi: soðin línolía í  $+2.3 \times 10^{-6}$ , harðvaxsolía í  $+1.9 \times 10^{-6}$  og Co + Mn + Zr-skipalakk lengst, í  $+4.8 \times 10^{-6}$ . Miðað við yfirborðslagið sem kapallinn snertir fór hvert hvatað prófstykki úr mótsegulumögnum í parasegulumagnað og endurflokkaðist úr 5N í undir 4N. VSM-gildi alls prófstykkisins færðust í sömu átt en voru dempuð af rúmmálsþýnningu -- einmitt þess vegna fegrar heildarmæling á fullunninni stoð en yfirborðstengd mæling sakfellir hana.

### 4. DÝPTARSNID: HVAR MÁLMURINN SITUR

Breyting á segulnæmi segir okkur að málmurinn sé til staðar; hún segir ekki hvar. Fyrir burðarefni er dýptardreifingin ekki aukaatriði, því tengingin við kapallinn minnkar hratt með fjarlægð og mengun 2 mm undir yfirborði skiptir rafsegulfræðilega mun minna máli en sami massi í fyrstu míkrometrinum. Við dýptargreindum meðhöndluðu prófstykkin með ljósgeislunarröfsgreiningu með útvarpstíðniglóðarafhæðslu (GD-OES, Horiba GD-Profilers 2), sem spænis yfirborðið niður um það bil 2 til 3 míkrometra á sekúndu meðan fylgst er með geislun Co, Mn, Zr og Fe; valin stykki voru sannprófuð með dýptarsniðun með leysiblásturs-ICP-MS.

Í hverju oxunarhertu prófstykki var hvatamálmurinn bundinn við húðina og viðinn beint undir henni. Geislun kóbalts og mangans náði hámarki við yfirborðið, hélst í gegnum 30 til 70 míkrometra filmuþykkt og féll síðan um meira en stærðarþrep á næstu 20 til 40 míkrometrum þegar sniðið fór inn í ógegndreyptan við. Hún náði 7 ppm grunnildi undirlagsins við um 100 míkrometra í versta tilvikinu (þunnfljótandi soðnu línolíunni sem dregst inn í yfirborðsholurnar) og við 60 míkrometra fyrir seigara lakkið. Samþætt lágu meira en 90 prósent af felldum parasegulumögnum málmi innan efstu 100 míkrometranna og meirihlutinn innan efstu 50. Zr fylgdi Co og Mn í dýpt en kom, þar sem það er í raun óparasegulumagnað í þessari efnatengingu, fram í sniðinu án þess að hafa áhrif á segulnæmið -- gagnleg innri sannprófun á að segulmerkið fylgi Co og Mn en ekki heildarmálminum.

Þetta er rúmfræðilega versta mögulega dreifingin fyrir kapalstoð. Hlutleysisgráðan byggði á þeirri forsendu að viðurinn í snertingu við leiðarann væri mótsegulumagnaður; meðferðin snýr þeirri forsendu við með því að hlaða parasegulumögnum málmi í nákvæmlega þá 50 til 100 míkrometra húð sem myndar snertiflötinn, en skilur djúpan og rafsegulfræðilega óviðkomandi kjarna kubbsins jafn hreinan og áður. Segullega er meðhöndluð stoð þunn parasegulumögnum plata vafin utan um hlutlausan efnisbút og lögð að kaplinum með málmhliðina út.

### 5. ÞRÓUN KÓBALTLAUSRA ÞURRKEFNA HJÁLPAR EKKI

Kóbaltóatí er undir reglugerðarþrýstingi. Kóbaltsoilt 2-etylhexansýru bera samræmda flokkun sem grunuð krabbameins- og æxlunareiturefni, og húðunariðnaðurinn hefur fjárfest mikið í kóbaltlausum þurrkefnum síðasta áratuginn. Staðgenglamir falla í þrjár fjölskyldur: manganfléttur (oft með bípyríðin- eða aminómetýlbindlum sem auka Mn-virkni að kóbaltgildum), járnfléttur (járn með sérhæfðum köfnunarefnisgjafabindlum, markaðssett sem afkastamikil aðalþurrkefni sem koma beint í staðinn) og vanadínkerfi. Öll þrjú eru kynnt sem öruggari, og í ætluðum tilgangi sínum -- að skipta út eitruðum hvata fyrir skaðlausan við sama þurrkhraða -- tekst sumum það raunverulega.

Í okkar tilgangi tekst þeim ekkert. Mangan, járn og vanadín eru öll parasegulumögnum; járn og mangan eru einmitt frumefnin tvö sem hlutleysisgráðan er skilgreind til að útiloka. Að skipta kóbaltóatí út fyrir járn- eða manganþurrkefni fjarlægir ekki parasegulumagnaðan málm úr yfirborðsfilmunni -- það skiptir einum parasegulumögnum málmi út fyrir annan og, þegar járn á í hlut,



setur inn þá mengun sem er harðast refsað á gráðukvarðanum. Við meðhöndluðum annan hóp tekkrófstykkja með járn-bípyriðinþurrkefni úr verslun í ráðlögðum skammti framleiðanda og mældum yfirborðssneiðina við  $+3.1 \times 10^{-6}$ , sambærilegt við niðurstöðuna úr kóbaltaðri soðinni línolíu og, þar sem málmurinn er járn fremur en kóbalt, að öllum líkindum verra fyrir gráðu sem hefur járninnihald sem aðalás. Mangan-neódekanóatþurrkefni gaf  $+2.6 \times 10^{-6}$ .

Lærdómurinn er að kóbaltlausu þróunin hámarkar eiturefnamarkmið sem stendur þvert á segulmarkmiðið. Engin núverandi eða fyrirsjáanleg efnafræði oxunarþurrkefna herðir þornandi olíu án redoxvirkis hliðarmálms, og sérhver redoxvirkur hliðarmálmur sem er nægilega ódýr og algengur til að vera þurrkefni er parasegulumagnaður. Húðunariðnaðurinn mun ekki leysa þennan vanda, því frá hans sjónarhorni er enginn vandi: segulhlutlaust þurrkefni væri lausn í leit að markaði sem, eins og er, samanstendur eingöngu af okkur.

## 6. UMRÆÐA: ÞEIR KOSTIR SEM EFTIR STANDA

Ef oxunarhertar yfirborðsmeðferðir eru útilokaðar af segulástæðum standa formlega eftir þrír flokkar málmlausrar húðunar: þornandi olíur án þurrkefnis, vatnsbundnar filmur sem þorna líkamlega og renna saman, og raunveruleg uppgufunarlökk. Tungolían án þurrkefnis (meðferð B) og akrýldreifan (meðferð E) staðfestu að þær bæta ekki við parasegulumögnuðum málmum og halda gráðunni. Þær eru samt léleg yfirborðsmeðferð fyrir þennan tiltekna hlut. Olía án þurrkefnis á stoð sem verður að fullherðast áður en hún ber kapal tekur vikur að harðna og helst varanlega nógu mjúk til að taka við yfirborðsmálmum frá kapalklemmu og venjulegri meðhöndlun -- hún breytir stoðinni í óvirkan safnara einmitt þeirrar mengunar sem gráðan útilokar. Vatnsbundið akrýl lokar viðnum en hækkar rafsvörunarstuðul yfirborðs og taptangens langt yfir beru tekki og skiptir segulvanda sem gráðan bannar út fyrir rafsvörunarvanda sem hliðarrannsóknin refsar einnig.

Sérhver yfirborðsmeðferð bætir með öðrum orðum annaðhvort við parasegulumögnuðum málmum (oxunarhertar olíur og fernisefni, allur hefðbundni flokkurinn), rýrir rafsvörun yfirborðsins (vatnsbundnar filmur) eða nær ekki nægri hörku til að standast endurmengun í notkun (olíur án þurrkefnis). Engin þeirra bætir flokkaða yfirborðið og hver þeirra er skref sem er tekið eftir að viðurinn hefur þegar staðist allar prófanir gráðunnar. Meðferðin getur aðeins dregið frá gráðu sem ómeðhöndlaði efnisbúturinn hefur þegar; engin húð getur bætt við hana, því stærðin sem er flokkuð er fjarvera einhvers og húðun er samkvæmt skilgreiningu viðbót.

Þetta endurskilgreinir ómeðhöndlaða stoð úr sparnaðarráðstöfun eða fagurfræðilegu aðhaldi sem eina kostinn sem samræmist mælingunni. Efnisbúturinn er valinn, skimaður, kjarnaborinn, uppleystur, greindur og vottaður með parasegulvirkri ppm-tölu; að pensla síðan kóbalthvataðri olíu á vinnuflötinn væri að eyða öllu því ferli og gera það að engu í síðasta skrefinu, á rafsegulvirkasta staðnum, fyrir útlitsfilmu.

## 7. NIÐURSTAÐA

Yfirborðsmeðferð endurmengar við segullega og gerir það á yfirborðinu, því efnafræðin sem herðir hefðbundna meðferð er málmhvötuð sjálfoxun og hvatinn er parasegulumagnaður hliðarmálmur sem er felldur í filmuna. Við mældum áhrifin beint: á einu 5N-tekkingundirlagi færði sérhver oxunarhert meðferð -- soðin línolía með kóbalti, Co + Mn + Zr-skipalakk og kóbaltad harðvaxsolía -- yfirborðstengt rúmmálssegulnæmi frá mótsegulgrunnlínu nærri  $-6 \times 10^{-6}$  í jákvæð nettógildi allt að  $+4.8 \times 10^{-6}$ . Flokkaða yfirborðið færðist þannig úr 5N í undir 4N, og meira en 90 prósent af felldum parasegulumögnuðum málmum var bundið við efstu 100 míkrometrana í beinni snertingu við kapalinn. Olíur án þurrkefnis og vatnsbundnar filmur bæta engum málmum við en standast ekki aðrar kröfur hlutarins; þróun kóbaltlausra þurrkefna setur járn, mangan eða vanadín í staðinn og fjarlægir því eiturefni án þess að fjarlægja eina einustu einingu parasegulumengunar.

Niðurstaðan er þröng og afdráttarlaus. Eina yfirborðsmeðferðin sem varðveitir hlutleysisgráðu viðar er engin yfirborðsmeðferð. Ómeðhöndlaða yfirborðið oxast og gránar með aldri, en sú patína er frumefnaoxun kolefnisgrindar viðarins og bætir engum málmum við; hún er útlitsbreyting og segullega enginn atburður. Equatorial Elevation Blocks eru því, og verða áfram, afhentir ómeðhöndlaðir -- ekki vegna þess að meðferðinni hafi verið sleppt til að spara skref, heldur vegna þess að hún myndi eyða allri gráðunni til að kaupa gljáa.

## HEIMILDIR

- [1] Soucek, M. D., Khatib, T., Wu, J. (2012). Yfirlit um sjálfoxun og þurrkefni. Progress in Organic Coatings, 73(4), 435-454.
- [2] Erich, S. J. F., Laven, J., Pel, L., Huinink, H. P., Kopinga, K. (2006). Dreifing málmsápa og hvötuð þornun alkýðhúðar rannsókuð með NMR-myndgreiningu. Progress in Organic Coatings, 55(2), 105-113.
- [3] Micciche, F., van Haveren, J., Oostveen, E., Ming, W., van der Linde, R. (2006). Olíubundin húðun og skipti á kóbaltþurrkefnum fyrir mangan- og járnfléttur. Applied Catalysis A: General, 297(2), 174-181.
- [4] van Gorkum, R., Bouwman, E. (2005). Oxunarþornun alkýðmálmunar hvötuð af málmléttum. Coordination Chemistry Reviews, 249(17-18), 1709-1728.
- [5] Bosque, A., Ferro, M., Park, H., Tanaka, Y. (2026). Flokkun segulhlutleysis burðarviðar: hreinleikaflokkun á N-kvarða fyrir burðarefni hljóðkapla. Journal of Equatorial Audio Science, 7(2), 44-71.
- [6] Solder, L., Bosque, A. (2026). Dýptarsnið með glóðarafhleðslu á yfirborðstengdri parasegulumengun í yfirborðsmeðhöndluðum harðviðarprófum. Journal of Equatorial Audio Science, 7(3), 88-104.