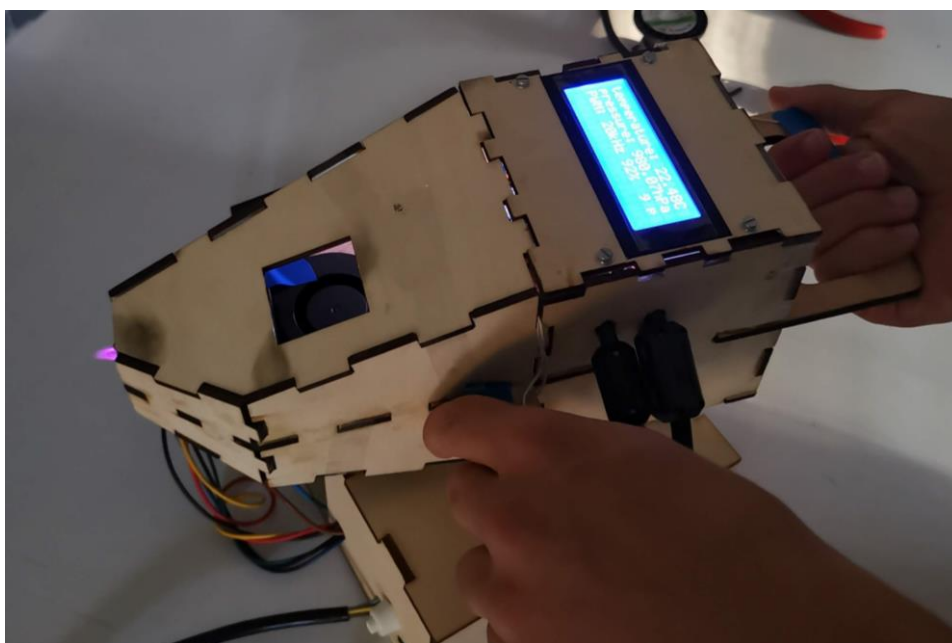


IZDELAVA ROČNEGA ORODJA ZA OBDELAVO LESA S HLADNO PLAZMO



Raziskovalna naloga s področja strojništva

Avtorji: Domen Jurkovič¹, Nikolaj Ivan Krašek¹, Tian Ključanin¹

Mentorji: dr. Sebastian Dahle², Alenka Mozer¹, Jure Žigon²

November 2019 – Marec 2021

¹ Gimnazija Vič, Ljubljana ² Biotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani

Zahvala

Zahvaljujemo se za vso strokovno pomoč, materiale in vodenje mentorjem dr. Sebastianu Dahletu, Alenki Mozer in Juretu Žigonu. Pri celotni raziskovalni nalogi so nam bili v izjemno pomoč. Zahvaljujemo se tudi Biotehniški fakulteti za ponujeno mentorstvo in možnost uporabe njihove opreme, laboratorijev in ostalih prostorov.

Kazalo

Uvod.....	5
Teoretični del.....	6
Les.....	6
Struktura lesa.....	7
Plazma.....	8
Kemikalije.....	10
Hlapne organske spojine – HOS.....	10
Zaključni obdelovalni postopki.....	11
Konzervansi na vodni osnovi.....	12
Konzervansi na oljni osnovi.....	13
Konzervansi na osnovi organskih topil (LOSPs).....	13
Cilji raziskave.....	14
Hipoteze.....	14
Sestavljanje in razvoj.....	15
Razvoj.....	15
Pristop.....	15
Komponente.....	16
Sestavljanje.....	19
Dokazovanje učinkovitosti orodja.....	21
Zasnova eksperimentov.....	21
Rezultati.....	24
Kontaktni kot.....	24
Oprijemnost.....	26
Test križnega reza.....	29
Poraba energije.....	29
Izgled površine.....	30
Poslovni načrt.....	31
Analiza trga.....	31
Konkurenca.....	31
Cena naprave.....	32
Programiranje.....	33

Ponujena vrednost	33
Zaključek – naš izdelek je unikaten	35
Viri	37
Priloge	41
Priloga 1: Komponente v napravi	41
Priloga 2: Komponente v gonilniku transformatorja	42
Priloga 3: Koda	43

Kazalo slik

Slika 1: struktura celuloze	7
Slika 2: netermična plazma, ki jo proizvaja naša naprava	8
Slika 3: primer netermične plazme	9
Slika 4: konzervans na vodni osnovi	12
Slika 5: osnovni nanosni sloj	13
Slika 6: uporaba dveh računalniških ventilatorjev, ki hladita plazmo skozi šobo	16
Slika 7: notranjost naše naprave med razvojem	17
Slika 8: na levi je prvi prototip, na desni pa trenutni	18
Slika 9: shematika gonilnika transformerja	18
Slika 10: PWM modul	19
Slika 11: naša naprava	20
Slika 12: lepljenje pečatov na letvice	22
Slika 13: ocenjevalna lestvica križnega reza z SIST EN ISO 2409	23
Slika 14: testiranje kontaktnega kota	24
Slika 15: rezultati testa prečnega rezanja	29
Slika 16: primerjava površine obdelanega in neobdelanega vzorca	30
Slika 17: navaden in razstavljen pogled naše naprave v programu Fusion 360	32
Slika 18: BMP 180 - senzor za pritisk in temperaturo	33
Slika 19: koda	44

Kazalo grafov

Graf 1: Kontaktni kot z bukvijo	25
Graf 2: Kontaktni kot s smreko	26
Graf 3: Test oprijema z bukvijo	27
Graf 4: Test oprijema s smreko	28

Kazalo tabel

Tabela 1: Komponente	41
Tabela 2: Komponente v gonilniku transformatorja	43

Ključne besede:

- Hladna plazma
- Ročno orodje
- Kemikalije
- Onesnaževanje okolja
- Obdelava površin

Povzetek

Naš cilj je bil narediti novo ročno orodje za obdelovanje lesnih površin, ki bi delovalo na uporabi plazemske tehnologije. Želeli smo tudi preveriti učinke plazme s preverljivimi poskusi. Les je vsestranski material, ki se uporablja zelo pogosto in za zelo raznolike namene. Da spremenimo njegove lastnosti, uporabljamo različne kemikalije, npr. lake in barve. Plazma ima na les mnogo uporabnih in pozitivnih učinkov, npr. povečuje hidrofilitnost. Delali smo v sodelovanju z zaposlenimi na Biotehniški fakulteti (UL). Orodje smo razvili, ker želimo zmanjšati porabo kemikalij, ki so škodljive za ljudi in okolje. Naprava deluje odlično, je pripravljena za vsakdanjo uporabo in je cenovno zelo dostopna. Primerna je za obrtnike in rokodelce, ki delajo z lesnimi izdelki. Pravih tekmecev na tržišču nimamo, zato smo naredili poslovni načrt. Učinke plazme smo dokazali s preverljivimi eksperimenti.

Uvod

Ljudje les že dolgo uporabljamo kot gradbeni material, za pohištvo ali pa za umetnost. Kljub uporabi naravnih in vzdržljivih materialov so kemikalije nepogrešljiv del obdelovanja lesa, ker spreminjajo njegove lastnosti. Njihova uporaba je obsežna in zanimalo nas je, ali jo je možno zmanjšati.

Ameriška agencija za zaščito okolja (ang. *EPA – Environmental Protection Agency*) ocenjuje, da se v ZDA kar 10 % kupljene barve (kar je približno 250 milijonov litrov) zavrže. Večina pristane na smetiščih, sežigalnicah ali v centrih za zbiranje nevarnih odpadkov [1]. Določen delež pa jih verjetno ni zavržen pravilno, kar pomeni, da onesnažujejo naravo. Okolju sicer škodujejo tudi prej, še preden postanejo odpad - že takrat, ko jih nanašamo. Še večjo škodo naredimo, ko nanašamo sloje v zaprtih prostorih. V takih primerih se hlapne organske snovi (ang. *VOCs – volatile organic compounds*) sproščajo in nato ostanejo v prostoru v visokih koncentracijah, kar pa je škodljivo za ljudi.

Problem velikega onesnaževanja okolja s kemikalijami za obdelavo lesa želimo vsaj v določeni meri zmanjšati s pomočjo tehnologije hladne plazme. Hladna oz. netermična plazma je tip plazme, ki je primerna za obdelavo materialov, ki so občutljivi na visoke temperature. Nekateri elektroni so ločeni od jeder in se prosto premikajo med atomi. Plazma ima nekatere značilnosti kot plin in nekatere kot tekočina. Prevaja elektriko in se uporablja za veliko različnih namenov, denimo za plazemske televizorje, neonske luči itd. Plazemske razelektritve povzročajo kemične reakcije, ki jih je sicer težko ali celo nemogoče izvesti. Lahko jo uporabimo za zelo natančno čiščenje, saj ne pušča sledi in ima antibakterijski učinek. Zato se uporablja tudi za čiščenje vesoljskih plovil in medicinskih pripomočkov. Lahko se uporabi celo za obdelavo žilnih opornic, za bolj gladke stene. Mi jo bomo uporabili v druge namene, in sicer želimo izdelati ročno orodje s hladno plazmo za površinsko obdelavo materialov, predvsem lesa.

Smo skupina treh dijakov, ki želimo narediti nekaj dobrega za okolje. Zavedamo se številnih problemov v svetu svet okoli nas, zato smo se odločili, da bomo storili nekaj zanj. Želimo priporočiti rešitev za enega od okoljskih problemov, do katere smo prišli z našo raziskovalno nalogo. Naš cilj je torej bil narediti ročno orodje za obdelavo lesa s hladno plazmo. S plazmo lahko obdelujemo tudi druge površine, a smo se osredotočili le na les, ki ga tudi največkrat obdelujemo sami doma. Na osnovi našega gimnazijskega znanja, velikega interesa, z nekaj dodatnega študija o tej tematiki in z razvojno - raziskovalnim pristopom smo želeli samostojno razviti uporabno orodje. Pričakovali smo, da bo končni produkt cenovno dostopen, zanesljiv, robusten in pripravljen za vsakdanjo uporabo. Poleg tega je bil naš namen opazno zmanjšati porabo kemikalij na tako obdelanem lesu in to s preverljivimi poskusi dokazati. Za pomoč smo prosili Biotehniško fakulteto Univerze v Ljubljani, Oddelek za lesarstvo. Tako smo z nekaj iniciative začeli raziskovalno nalogo pod mentorstvom naše profesorice Alenke Mozer ter raziskovalcev dr. Sebastiana Dahleta in Jureta Žigona.

Teoretični del

Les

Les je zelo vsestranski material in se uporablja na mnogih področjih. Ima veliko prednosti, ki jih lahko razdelimo v dve kategoriji: funkcionalne in okoljske.

Funkcionalne prednosti

- Les je zelo trpežen. Z novimi obdelovalnimi tehnikami lahko brez večjih težav ohranimo njegove prvotne lastnosti.
- Je primeren za večkratno uporabo, ni prezahteven za recikliranje in predelavo, saj ga pridobivamo iz rastlin, ki jih je mogoče z ustreznim gospodarjenjem gozdov zlahka obnoviti.
- Zaradi svoje celične strukture je odličen toplotni in zvočni izolator.
- Je prilagodljiv.
- Ima strukturno stabilnost.
- Izgleda dobro. Prav tako se ob lesu marsikdo počuti bolje zaradi njegovega naravnega izvora.

Okoljske prednosti

- Je obnovljiv material.
- Proizvodnja lesnih izdelkov porabi manj energije kot proizvodnja plastičnih.
- S fotosintezo zmanjšuje količino CO₂ v ozračju.

To je nekaj najpogosteje omenjenih prednosti [2].

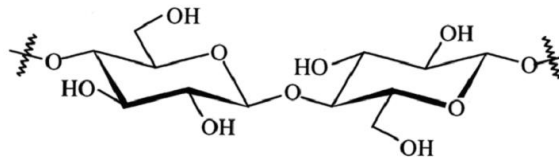
Les pa ima nekaj pomanjkljivosti, med katerimi so vnetljivost, razgradljivost z UV svetlobo, s kislinami in bazami ter biorazgradljivost.

Struktura lesa

Les je zgrajen iz celuloze, hemiceluloze, lignina in ekstraktivnih snovi. Vse to so makromolekule naravnih polimerov. Razlikujemo med mehkim in trdim lesom. Mehki les na splošno vsebuje več lignina, več organskih ekstraktov (vključno s smolami), trdi les pa ima več hemiceluloze. Poleg tega se razlikujeta tudi po svoji zgradbi, v strukturi materiala in strukturi lignina.

Celuloza

Celulozo proizvajajo rastlinske celice in je glavna spojina vseh rastlinskih tkiv. Je najpogostejša organska spojina na Zemlji. Les je sestavljen iz približno 45% celuloze, ki ima obliko vlaken in ni topna v večini topil. Strukturo celuloze lahko vidimo na sliki spodaj; enote glukoze so povezane z 1,4'- β glikozidno vezjo. Pridobiva se predvsem iz lesne kaše in bombaža, uporablja pa se predvsem v industriji. Najpogosteje v proizvodnji papirja [3].



Slika 1: struktura celuloze

Lignin

Lignin je drugi najpogosteje prisotni organski polimer na Zemlji. Je kompleksna kemična spojina, ki je najpogosteje pridobljena iz lesa. Še posebej pomemben je pri oblikovanju celičnih sten, saj daje togost, poleg tega pa ne zgine zlahka. Je kemično zamrežen fenolni polimer. Služi kot vezivo, ki celulozo poveže s hemicelulozami in skupaj z njimi sestavlja celične stene in olesenela rastlinska tkiva [4].

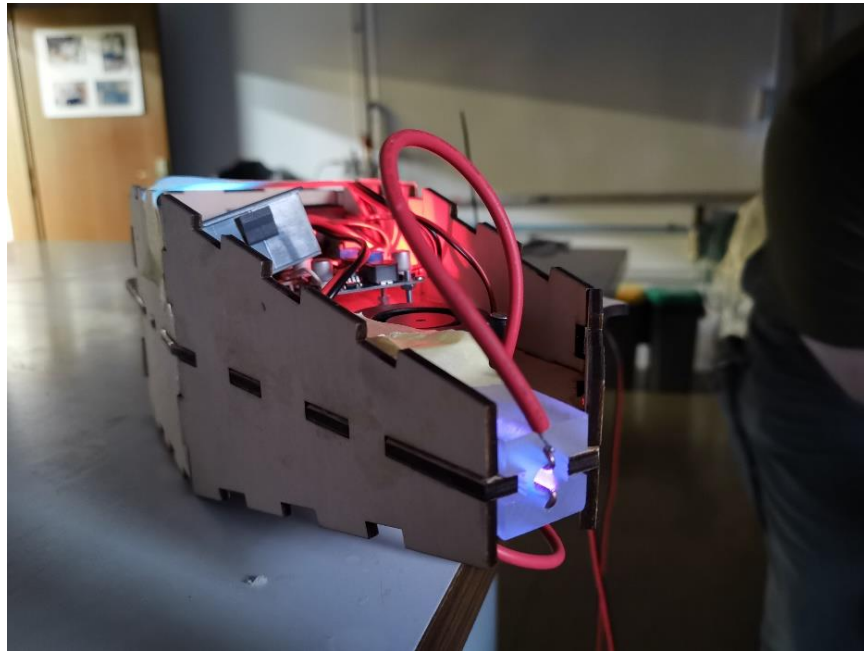
Hemiceluloze

Hemiceluloze so polisaharidi, povezani s celulozami, in predstavljajo približno 20 % biomase večine rastlin. Sestavljeni so iz kratkih verig (približno 200 enot) in so razvejani (celuloza je nerazvejana). Njihova funkcija je povezovanje mikrovlaken v lesnem tkivu [5].

Vse tri polimerne komponente so tesno povezane med seboj. Lignin je kemično vezan predvsem na hemiceluloze, večinoma skozi stranske skupine hemiceluloz - etre, estre in glikozidne skupine.

Plazma

Preprosto povedano: plazma je ioniziran plin. To pomeni, da so nekateri atomi plina izgubili elektrone in ti elektroni se prosto gibljejo med atomi. Nekateri primeri plazme v našem vsakdanjem življenju so plazemski televizorji, fluorescenčne sijalke ali varilni oblaki. Uporabna je tudi v različnih panogah, kot so zobozdravstvo, vesoljska industrija, avtomobilska industrija, mikroskopija itd. Spodaj na sliki lahko vidimo netermično plazmo, ki jo proizvaja naša naprava. »Ker je plazma sestavljena iz nabitih delcev, plazma reagira na elektromagnetna polja in prevaja elektriko. Nasprotno pa je večina plinov električnih izolatorjev.« (citirano po [6]).



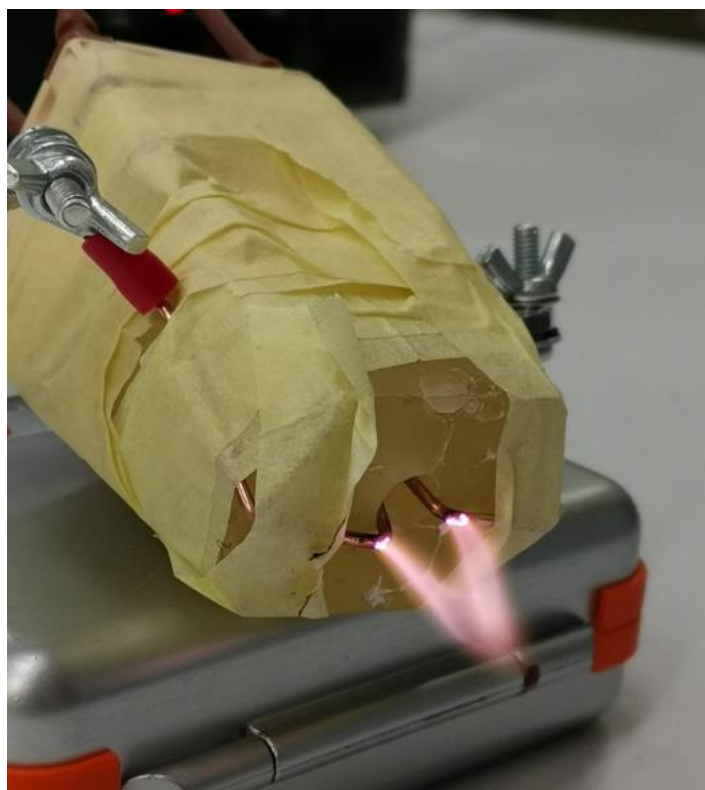
Slika 2: netermična plazma, ki jo proizvaja naša naprava

Plazmo lahko tvorimo kot agregatno stanje s segrevanjem plina do točke, ko se elektroni začnejo ločevati od jeder in se nato prosto gibljejo med atomi. Za razliko od tega se netermična plazma ustvarja z uporabo elektromagnetnih polj z visoko jakostjo. Plazma ima nekatere lastnosti kot plin, nekatere pa kot tekočina. Večina plazemskih postopkov uporablja netermično ali tako imenovano hladno plazmo, katere delovna temperatura je primerna za obdelavo toplotno občutljivih materialov.

Plazma ima lahko različne učinke na različne površine. Na lesenih površinah poveča hidrofilnost s spreminjanjem strukture lesa na molekularni ravni. Zaradi tega je površina primernejša za oprijem določenih spojin. Če uporabimo način nanosa, ki smo ga uporabili mi (*Atmospheric Pressure Plasma Jet - APPJ*), se s staranjem te na novo pridobljene lastnosti lesa le počasi spreminjajo in se ne povrnejo v prvotno stanje. Tovrstna obdelava nadomešča potrebo po nekaterih kemijskih postopkih [7]. Je tudi cenovno dostopnejša, vendar več o tem kasneje v tem poročilu.

Čeprav ima les veliko uporabnih in estetskih lastnosti, ga lahko še vedno izboljšujemo. Obdelava lesa s plazmo je lahko v primerjavi kemikalijami cenejša. V našem primeru uporabe je tako, za druge potrebe pa bi bilo potrebno preračunati. Z zmanjšanjem porabe kemikalij bi zmanjšali negativne vplive na okolje in znižali ceno lesnih izdelkov. To še posebej velja, kadar se uporabljajo lepila na vodni osnovi, vendar velja tudi za premaze in impregnacijska sredstva, saj uporaba plazme zmanjša čas, potreben za postopek [8].

Med tehnikami za spreminjanje površin lesa in materialov na osnovi lesa se v laboratorijih postopoma uvaja uporaba plazme. Na *Sliki 3* lahko vidimo plazmo, ki izhaja iz enega prvih prototipov našega orodja. Tradicionalna kemična obdelava je pogosto draga in lahko povzroči izločanje strupenih snovi. Nekatere značilnosti obdelave s plazmo je pogosto nemogoče reproducirati z običajnimi kemičnimi metodami. Na primer določeni deli v plazemskem sproščanju imajo večjo gostoto energije kot pri običajnih kemijskih metodah. V plazmi je visoka koncentracija reaktivnih delcev, kot so ioni, elektroni in metastabilne vrste. Ti pomagajo zmanjšati aktivacijsko energijo za kemične reakcije in na lesno površino vnesti reaktivne skupine (najpogostejša reaktivna kemična mesta v lesu so hidroksilne skupine v celulozi, hemicelulozi in ligninu). Jedkanje, kemična površinska funkcionalizacija, površinsko čiščenje in zamreženje molekul na površini veljajo za štiri glavne učinke obdelave s plazmo, ki lahko delujejo posamično ali sinergijsko. Ti glavni učinki spodbujajo uporabo plazemskih postopkov za različne cilje, kot so lastnosti proti obraščanju, biokompatibilnost, superhidrofobnost, izboljšanje površinske oprijemljivosti, antibakterijske lastnosti itn [9].



Slika 3: primer netermične plazme

Plazma ima dve glavni prednosti:

1. **Izboljša omočljivost.** "Omočljivost je sposobnost tekočine, da ustvari dober stik s trdno površino in ustvari ravnovesje med medmolekularnimi interakcijami med površino in tekočino (adhezivnost) znotraj določene vrste tekočine (kohezivnost)" (citirano po [10]).
2. **Spreminja kemijsko sestavo površine lesa.** To izboljša prodiranje tekočin in poveča oprijem premazov ter končne lastnosti površinskega sistema [11]. Na podlagi tega se lahko namesto epoksidnega lepila uporabi manj kemikalij (npr. se izpusti temeljni premaz) ali se uporabi manj škodljive kemikalije, kot so disperzijska lepila na vodni osnovi, kot je PVAc (polivinil acetat, znan tudi kot belo lepilo za les, tesarsko lepilo).

Kemikalije

Hlapne organske spojine – HOS

HOS (ang. VOC – volatile organic compound) so spojine, ki se uporabljajo tako v mnogih industrijskih panogah, kot tudi v naravi. Pri organskih kemikalijah z visokim parnim tlakom (to pomeni, da imajo nizko vrelišče, kar je povezano s hitrim izhlapevanjem) je v okoliškem zraku veliko molekul kemikalij. Zato bodo kemikalije iz raztopine izhlapevale, ko stopijo v stik z zrakom, najpogosteje med sušenjem. V naravi so odgovorne za privabljanje opraševalcev, prenos informacij in drugih signalov v obliki vonjav. Drugače velja za antropogene HOS.

Uporaba antropogenih HOS je omejena z zakonom, različne države pa imajo zanje različne opredelitve in predpise. Nekateri so nevarni za zdravje, čeprav običajno niso močno strupeni za ljudi, lahko pa povzročijo dolgotrajne zdravstvene težave. Otroci ali dojenčki včasih razvijejo dihalne, alergijske ali imunske motnje, če so izpostavljeni HOS in drugim onesnaževalcem. Draženje, slabost, poškodbe centralnega živčnega sistema in druga zdravstvena vprašanja, celo rak, so lahko povezani z izpostavljenostjo visokim količinam HOS. Velik problem predstavljajo predvsem v notranjih prostorih, ki običajno niso dovolj prezračeni - potrošniški proizvodi namreč oddajajo HOS (čeprav je bilo uvedenih več omejitev, ki izboljšujejo kakovost zraka), ki se v prostorih kopičijo. Vse nove zgradbe vsebujejo dodatne količine HOS, saj jih vsi novi materiali hkrati oddajajo v večjih količinah, kar vodi do "sindroma bolniške zgradbe". Glavni viri HOS so fosilna goriva in topila, ki se uporabljajo za premaze, barve in črnila. Na leto proizvedemo skoraj 12 milijard litrov barve. Temne barve zahtevajo več pigmenta, kar pomeni, da imajo nekatere do 300 ali več gramov HOS na galono. Predpisi so prisilili več proizvajalcev barv in lepil, da so spremenili svoje izdelke v skladu z izboljšanimi standardi. Kljub temu je agencija EPA ugotovila, da so koncentracije v zaprtih prostorih v povprečju od 2 do 5-krat in včasih celo do 1000-krat višje od koncentracij na prostem, odvisno od aktivnosti. HOS prispevajo tudi k nastanku troposferskega (slabega) ozona in smoga [12, 13].

Zaključni obdelovalni postopki

Zaključni obdelovalni postopki se uporabljajo za izboljšanje videza in vzdržljivosti lesa. Uporabljajo se skoraj vedno, ko se uporabi les. Običajno zahtevajo brušenje površine in obdelavo s temeljnim premazom ali drugim organskim topilom. Uporaba temeljnega premaza zagotavlja boljši oprijem zaščite na površino lesa [14].

Na splošno ločimo 3 vrste lesnih premazov:

- **Lazure** - uporabljajo se večinoma za lep izgled lesa, lahko so barvne ali prozorne. Integrirajo se v les, poudarijo njegovo zrnje in izboljšajo njegovo barvo. Na vrhu pustijo izredno tanek film, kar pomeni, da zagotavljajo slabo zaščito. Večinoma jih je treba pozneje prekriti z lakom, zlasti na površinah, ki so pogosto v fizičnem stiku - pohištvo ali pod [15].
- **Barve** - zagotavljajo zaščito in videz. Niso prozorne. Barva se po sušenju pretvori v trden film in zatesni podlago pod seboj. Tako les ne pride v stik z vodo in drugimi elementi, ki ga lahko poslabšajo, in ostane nedotaknjen. Vidimo lahko, da ko barva počni, les spodaj običajno hitro zgine, se upogne ali splesni, medtem ko barvane površine, ki so oskrbovane in so nedotaknjene, običajno zdržijo zelo dolgo [16].
- **Laki** – širok pojem za snovi, ki se uporabljajo za zaščito lesa pred elementi, tako da na njegovi površini tvorijo trd film. So prozorni, tako da je zrno lesa še vedno vidno. Tako kot barve zatesnijo les, a so za zunanjo uporabo običajno manj primerni. Lak je splošno poimenovanje, a se generalno delijo na dve večji veji: laki, ki se strdijo z izhlapevanjem topila; in laki, ki med izhlapevanjem topila kemično reagirajo v trdno snov. Od tu naprej pa ločimo številne vrste lakov, npr. poliuretanski premazi, akrilni premazi, alkidni premazi ... Poznamo tudi naravne lake (olje, vosek, šelak) [17].

Organska topila (imenovana tudi razredčila) so glavni vir HOS v barvah, lakih in lazurah. Topila so zasnovana tako, da po nanosu izbrane prevleke izhlapijo, zato so HOS za ta primer idealne. Najpogosteje se uporabljajo: toluen, formaldehid, ksileni, metil etil keton in beli alkohol, ki povzročajo neželene kratkoročne učinke (slabost, draženje) in so dolgoročno nevarni. Tudi temeljni premazi so sestavljeni iz približno 60 - 80 % topila. Uporaba plazme za predhodno obdelavo površine ni le način za nadomestitev temeljnega premaza, s čimer se odpravi velik del HOS, ampak (po testih) tudi izboljša oprijem, ki bi ga sicer zagotovil temeljni premaz. Poleg tega plazma površino očisti in zagotovi enakomernejši oprijem premaza [18].

Če delate s topili in obstaja nevarnost, da boste izpostavljeni HOS, sledite tem korakom:

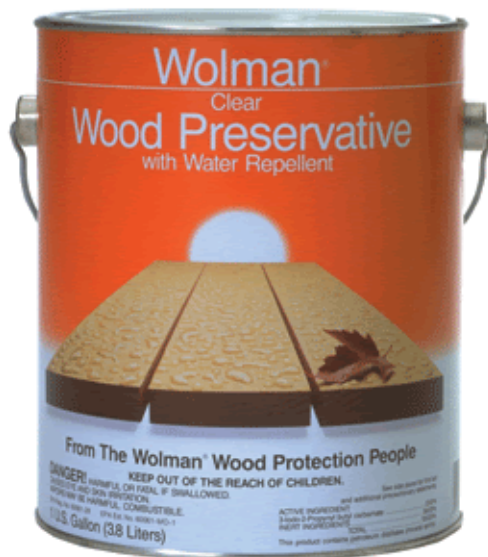
- delovno mesto naj bo dobro prezračeno;
- med delom s hlapljivimi snovmi nosite masko;
- izogibajte se barvanju izdelkov na osnovi topil s sprejem;
- krpe in brisače, namočene s topilom, odvrzite v zaprte posode;
- kupite samo tisto, kar potrebujete, preostanek izdelka pa shranite v ustreznih, nepredušnih posodah ali ga pravilno odvrzite.

"Zaščitni izdelki za les so tisti, ki trdijo, da obvladujejo težave z razgradnjo lesa zaradi glivične gnilobe ali propadanja, okužbe z glivami modrivkami, plesni ali žuželk, ki uničujejo les. Tako postopek obdelave kot tudi uporaba obdelanih izdelkov lahko povzročita izpostavljenost pesticidom, tako za ljudi kot za okolje. Večina postopkov obdelave in uporabe obdelanih izdelkov poteka na prostem. Obstajajo sredstva za zaščito lesa, ki podpirajo strpnost do posrednih stikov z živili, kot so leseni zaboji, palete in koli, ki se uporabljajo za shranjevanje ali gojenje surovega kmetijskega blaga." (citirano po [19]) [20].

Na voljo je več vrst konzervansov za les: konzervansi na vodni osnovi, konzervansi na osnovi topil in konzervansi na oljni osnovi.

Konzervansi na vodni osnovi

Konzervansi na osnovi vode reagirajo ali se oborijo v obdelanem lesu in postanejo "fiksni". Se ne izpirajo. Ker konzervansi na vodni osnovi puščajo suho površino, ki jo je mogoče barvati, se običajno uporabljajo za obdelavo lesa za stanovanjske namene, kot so polkna in ograje. Običajno so tudi poceni, zato se najpogosteje uporabljajo. Primer konzervansa na vodni osnovi vidimo na *Sliki 4* in primer osnovnega nanosnega sloja na *Sliki 5*. Konzervansi na osnovi vode se uporabljajo predvsem za obdelavo mehkega lesa, ker morda ne bodo popolnoma zaščitili trdega lesa pred trohnoobami. Večina jih kot glavno sestavino uporablja baker ali spojino na osnovi bakra [21].



Slika 4: konzervans na vodni osnovi



Slika 5: osnovni nanosni sloj

Konzervansi na oljni osnovi

Ti so pripravljene iz naftnih derivatov, postopek njihove izdelave pa zahteva veliko energije in proizvaja škodljive stranske proizvode, tako kot vsi naftni derivati. Večinoma se uporabljajo v lesenih izdelkih, ki niso pogosto v stiku s človekom, saj so v velikih količinah strupeni. So zelo odporni in prenesejo ostro vreme, pa tudi žuželke in druge nevarnosti. Najpomembnejši in najpogosteje uporabljen oljni konzervans je kreozot. Je olje, pripravljeno iz destilacije premogovega katrana. Približno 10 % kreozotnega olja sestavljajo NMHOS (ne-metanski HOS). Je najstarejša oblika zaščitnih sredstev za les, ki se uporablja predvsem za zahtevna dela, kot je zaščita telegrafski drogovi in železniških pragov, počasi pa jih nadomeščajo konzervansi na vodni osnovi.

Konzervansi na osnovi organskih topil (LOSPs)

LOSPs (Light Organic Solvent Preservatives) so konzervansi, ki vsebujejo insekticide za notranjo uporabo in kombinacije fungicidov in insekticidov za zunanjo uporabo. Včasih vključujejo vodo odbojne snovi. Njihov glavni namen je zaščita lesa pred insekti, kot so termiti in različne vrste hroščev. Uporabljajo se predvsem v zaprtih prostorih za vrata, omare in drugo pohištvo, lahko pa se uporabljajo tudi za zunanje aplikacije, kot je vrtno pohištvo ali zunanji deli oken. Vendar niso zelo odporni na vremenske razmere [22]. »Sodobne čistilne naprave LOSP so popolnoma zaprte, tako da so emisije topil, uporabljenih v formulaciji, dobro nadzorovane.« (citirano po [23]).

Cilji raziskave

Osredotočili smo se na dva cilja: razviti orodje za obdelavo in dokazati njegovo dobro učinkovanje na površine. Cilja sta podrobneje razložena spodaj.

- 1. Razviti orodje za obdelavo površin s hladno plazmo.** Želeli smo narediti orodje, ki bi zmanjšalo porabo kemikalij za obdelavo površin, predvsem lesa. Mora biti zanesljivo, varno in preprosto za uporabo. Mora biti prilagojeno za način uporabe polprofesionalcev in ljudi, ki obdelujejo les kot svoj hobi. Želeli smo, da je orodje kar se da varno za uporabo, da bi čim bolj zmanjšali možnost poškodbe med upravljanjem. Da bi to zagotovili, smo uporabili sistem gumbov. Zelo pomembna je tudi cena. Naše orodje je bolj dostopno kot orodja konkurence.
- 2. Zmanjšati porabo kemikalij in dokazati to s preverljivimi poskusi.** Veliko je strokovne literature, ki dokazuje, da je poraba kemikalij nižja, če les predhodno obdelamo s plazmo. S sestavljeno delujočo napravo želimo preveriti njen učinek na površino lesa. Učinke obdelave površine lesa s plazmo bomo testirali s poskusi. Naše rezultate bomo primerjali s tistimi iz literature in tako preverili, če se skladajo.

Podroben opis razvoja in sestavljanja je opisan v poglavju *Sestavljanje in razvoj*, eksperimentalno preverjanje zmanjšanja porabe kemikalij pa v poglavju *Dokazovanje učinkovitosti orodja*.

Hipoteze

Imeli smo dve hipotezi.

- 1. Na površini lesa, predhodno obdelani s plazmo, pričakujemo manjšo porabo kemikalij v primerjavi z neobdelanim lesom.** To stališče podpira tudi literatura [8, 11].
- 2. Na obdelani površini pričakujemo večjo učinkovitost premazov, kar se dokazuje s standardiziranimi in preverljivimi poskusi.** Opravljeni bodo testi križnega reza, test oprijemnosti in test kontaktnega kota.

Sestavljanje in razvoj

Razvoj

Pristop

V celotnem projektu se je naše orodje večkrat precej spremenilo. Med tednom smo imeli omejen čas, ker smo imeli tudi druge šolske obveznosti, poleg tega so vmes posegle tudi omejitve zaradi Covid-19 pandemije. To je pomenilo, da smo morali skrbno načrtovati tedenske naloge in izboljšave, ki jih bomo naredili. To je podobno pristopu upravljanja SCRUM (SCRUM ni okrajšava, ampak oznaka za način razvijanja) s tedenskimi šprinti, čeprav z manjšimi koraki kot običajne MSP skupine (MSP - mala in srednja podjetja) [24]. Vzeli smo kratke in učinkovite cikle s postopnimi koraki, ki gradijo končni produkt, kot je to običajno v okviru vitkega razvoja in vitkega zagona.

Da bi bil naš razvoj učinkovit, smo se morali najprej osredotočiti na nujno potrebne funkcije, seveda ob upoštevanju varnosti, in razviti prvi prototip. Šele nato smo začeli dodajati dodatne funkcije.

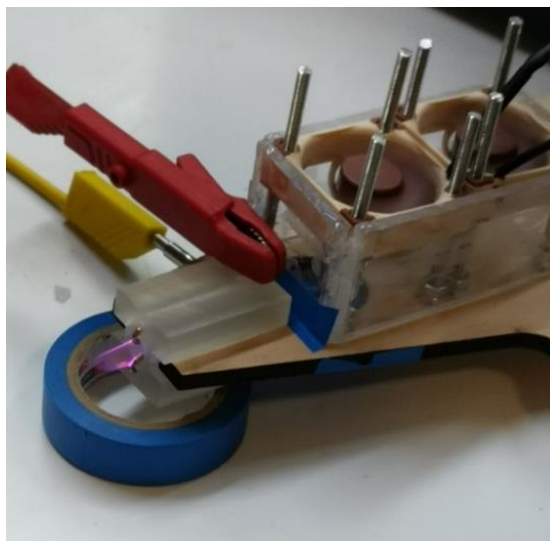
Želeli smo, da so naši cikli ali sprinti učinkoviti, tako glede časa izdelave delov kot tudi stroškov komponent. To je privedlo do odločitve za hitro izdelavo prototipov, čeprav ne na najbolj običajen način. Hitra izdelava prototipov običajno pomeni uporabo 3D tiskalnika, v našem primeru pa je bilo lasersko rezanje stroškovno učinkovitejše, hitrejše in predvsem dostopnejše.

Komponente

Imeli smo veliko revizij in sprememb komponent, v tem poročilu so navedene zadnje verzije komponent oz. naše zadnje verzije orodja za obdelavo površin materialov, kot je les, s hladno plazmo.

Ventilatorji

Za prvo ponovitev smo želeli uporabiti običajne računalniške ventilatorje (kot je prikazano na sliki spodaj), vendar smo se zaradi njihovih omejitev odločili za radialni ventilator. Ima večji pretok zraka in zavzame manj prostora v ohišju.



Slika 6: uporaba dveh računalniških ventilatorjev, ki hladita plazmo skozi šobo

PWM

Začeli smo uporabljati ločen modul za nadzor signala PWM (modulacija širine impulza). Poskusili smo ga implementirati v kodo Arduino. To smo izvedli neposredno v Arduino, vendar smo ugotovili, da ločljivost notranjega generatorja signala Arduina ni zadostovala za pogon visokonapetostnega generatorja. Trenutno razvijamo kodo za povezavo Arduina in modula PWM prek UART (Univerzalni asinhroni sprejemnik-oddajnik).

Napajanje

V prvem prototipu smo kot napajalnik uporabili 24V LED gonilnik. Z njim smo naleteli na težave s stabilnostjo, zato smo se odločili, da ga zamenjamo za napajalnik standarda ATX, ki jih lahko navadno najdemo v osebnih računalnikih. Ker napajanje ATX zagotavlja moč 12V, smo morali uporabiti modul za povečanje napetosti, t.i. step-up modul. Skupaj smo ju zaprli v dodatno ohišje. Čeprav je potrebno dodatno ohišje, ki ga hranimo poleg naprave, so standardni računalniški napajalniki na voljo po najnižji ceni (v EUR / kW), zaradi česar je ta rešitev najbolj zanesljiva in stroškovno najučinkovitejša.

To lahko še izboljšamo, vendar moramo biti previdni pri ceni, saj manjši napajalniki stanejo več kot standardni.

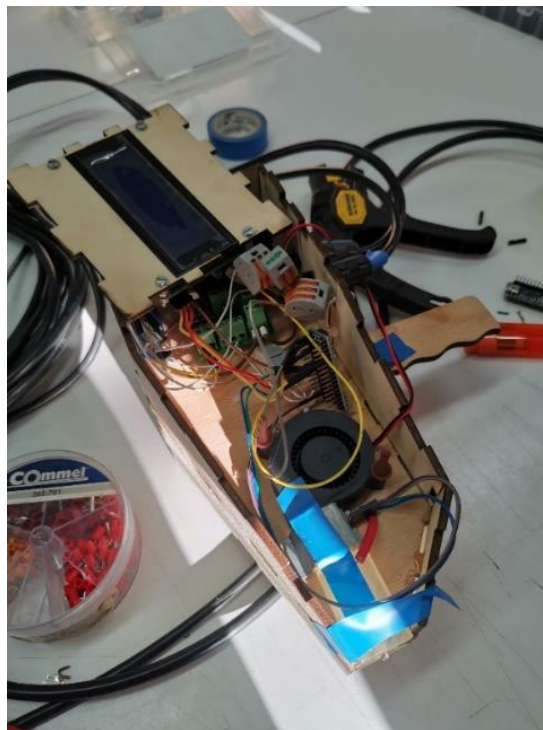
Zračni kanal

V prvem prototipu smo uporabili kovinski kanal. Želimo ga nadomestiti s 3D tiskano različico. To zagotavlja tesnejše prilaganje okrog ventilatorja in šobe. Imel bo prostor za specializiran senzor (BMP 180), ki je v zračnem kanalu z namenom nadziranja temperature in zračnega tlaka. Kanalček zagotavlja, da je zrak usmerjen skozi šobo, da ne pride do pregrevanja šobe.

Ohišje

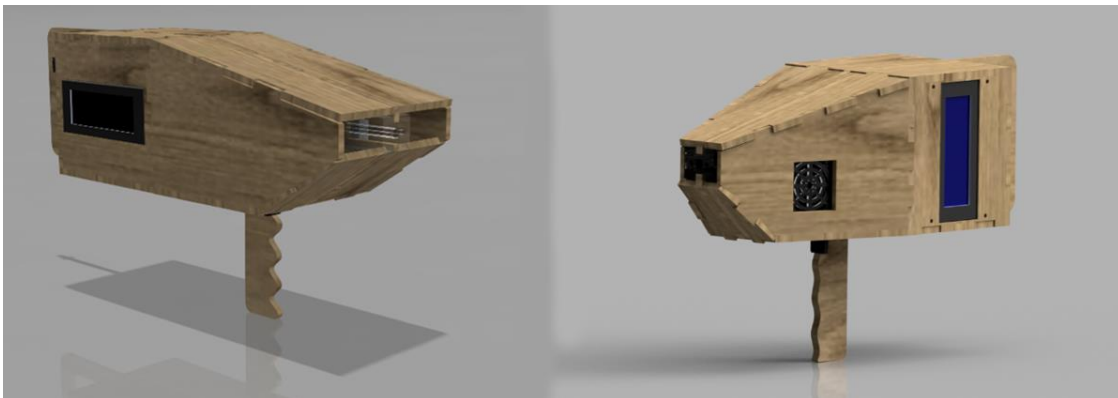
Ohišje smo izdelali iz vezanega lesa. Izdelali smo srednjo ploščo, ki je glavni sestavni del, nanjo so priviti vsi drugi deli, ostali deli ohišja pa se zataknejo na ustrezno mesto. Največ popravkov je bilo ravno na ohišju, saj smo vedno imeli nove ideje, kako ga izboljšati. Glavna plošča je imela največ revizij; pogosto smo spreminjali njegovo obliko, velikost, izreze in ročaj, da so primernejši za napravo. Začetni prototip (*Slika 8*) se nam je zdel preširok, zato smo si morali prizadevati za preureditev komponent, da je ožji. Pri najnovejšem prototipu imamo veliko manj neuporabljenega prostora, saj smo ga optimizirali, tako da je orodje manjše in lažje za uporabo.

Med razvojem žic nismo spajkali skupaj. Priključevali smo jih na drugačen način. Na *Sliki 7* (spodaj) se vidi naša naprava med razvojem.



Slika 7: notranjost naše naprave med razvojem

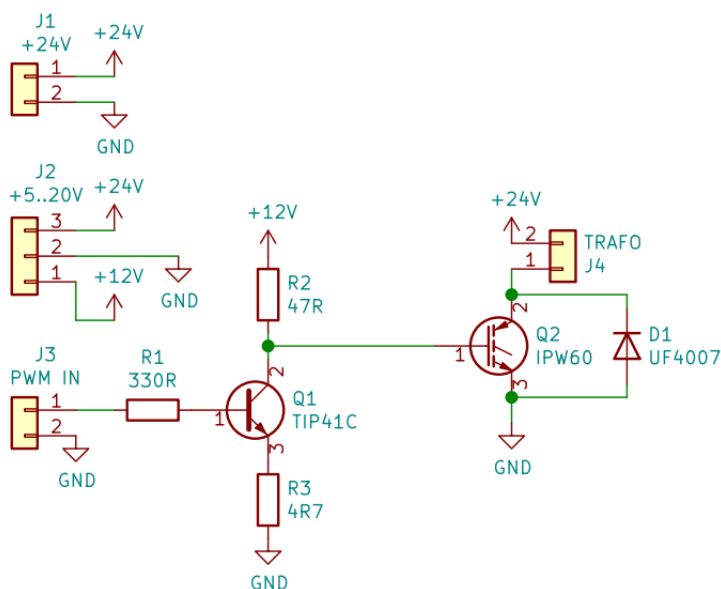
Poleg glavne plošče smo spreminjali tudi ostale, ki se nanjo priključijo. Spredaj smo naredili tak naklon, da uporabnika napeljuje oz. ga spodbuja k pravilni uporabi. Napravo lahko naslonimo na sprednji del in uporabniku ni treba narediti nobene prilagoditve, da bi pravilno obdeloval površino. Za obdelovanje samo vključi napravo in začne z delom.



Slika 8: na levi je prvi prototip, na desni pa trenutni

Gonilnik transformatorja

Želeli smo ga narediti čim bolj kompaktnega. Za izdelavo prvega prototipa smo uporabili različne module in nismo imeli posebej narejena gonilnika. Med razvojem smo ugotovili, da je prevelik. Zato smo se odločili uporabiti gonilnik [25], ki je zelo majhen in je dovolj zmogljiv za našo napravo. Z gonilnikom se povežejo tudi mnoge druge komponente. Shematika gonilnika se vidi na Sliki 9. Da bi bila naprava čim bolj kompaktna, je bila minimalno potrebna velikost hladilnika določena eksperimentalno na podlagi začetne grobe ocene razpršene toplote.



Slika 9: shematika gonilnika transformatorja

Sestavljanje

Sestavljanje se začne z izrezovanjem srednje plošče. Na srednjo ploščo so pritrjeni vsi ostali deli. V trenutni različici še ne vsebuje lukenj za privijanje drugih komponent. Pri prihodnjih revizijah bo imela luknje vnaprej izrezane.

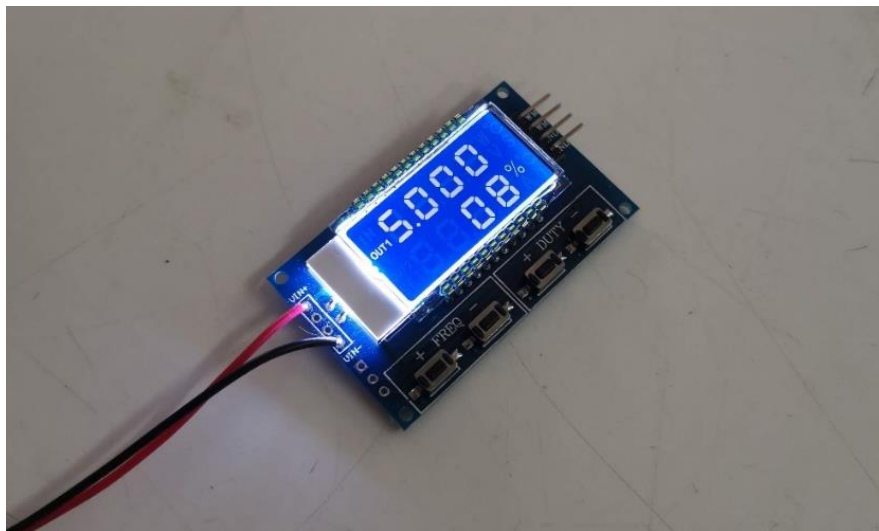
Šoba je narejena iz utrjene epoksidne smole. Ko se strdi, vstavimo bakrene elektrode in jih upognemo s kleščami.

Zraven šobe privijemo ventilator. Na glavni plošči pustimo prostor za izrez. Tam prilepimo zračni kanal z BMP 180. Če se ne prilega popolnoma, lahko praznine zapolnimo s silikonom, potem ko se prepričamo, da so žice iz BMP 180 izven območja, kjer bomo uporabili silikon. Nato na eno stran privijemo transformator, na drugo pa gonilnik za transformator. Na glavni plošči naredimo luknjo za žice, ki prihajajo iz transformatorjev. Nato elektrode spajkamo z žicami, ki prihajajo iz transformatorja. Zalepimo Arduino Nano. Povežemo ga z gonilnikom transformatorja, tako da ima napajanje, in nanj priklopimo BMP 180.

Ventilator se napaja ločeno in se priključi na +12 V in -12 V električno napetost.

Na gumba spajkamo žice. Gumba prilepimo v primerno mesto (na ročaju in zadnjem delu). Povežemo ju z gonilnikom transformatorja.

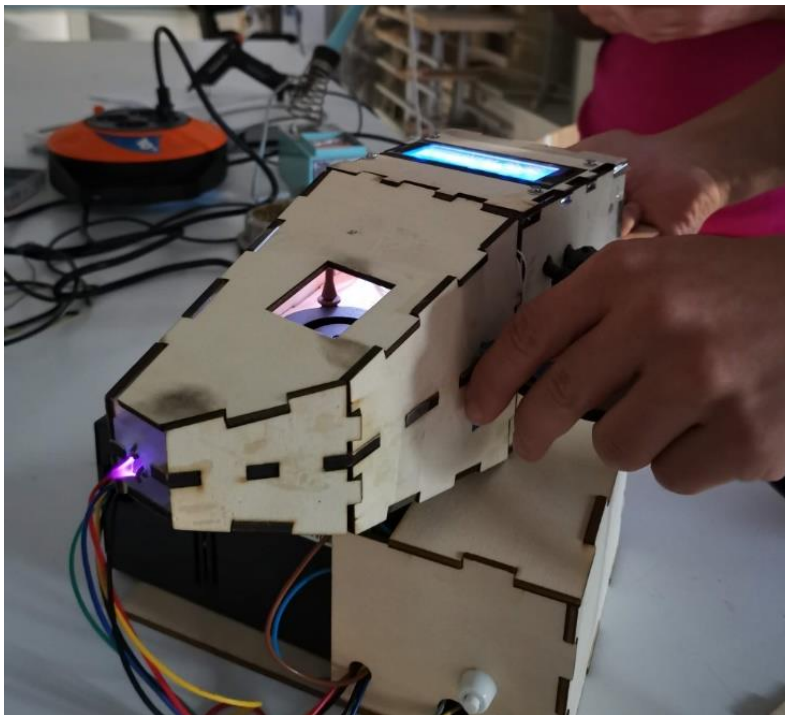
Vstavimo modul PWM (*Slika 10*). Da bi lahko deloval, mora biti povezan z gonilnikom transformatorja. Z njim lahko spreminjamo lastnosti izhodne plazme, nadzorujemo delovni cikel in frekvenco.



Slika 10: PWM modul

Ostale plošče zunanjega dela ohišja (pustimo stranske plošče, ki pokrivajo napravo s strani) prilepimo in počakamo, da se lepilo strdi. Pustimo stranske plošče, saj jih bomo potrebovali kasneje. Med tem ko čakamo, povežemo napajalnik in step-up modul.

Prilepimo ju v skupno ohišje. Napajalno enoto priključimo na gonilnik transformatorja in namestimo stranske plošče. S tem smo sestavljanje zaključili. Končni izdelek lahko vidimo na sliki spodaj. Napajalnik priključimo, ventilator se zažene in nato stisnemo oba gumba istočasno. Začne se proizvajati plazma.



Slika 11: naša naprava

Dokazovanje učinkovitosti orodja

Najpomembnejši dejavnik obdelave lesa s plazmo so lastnosti nanešenih premazov v primerjavi z nanosi teh premazov na neobdelan les (npr. oprijem, proces staranja ...).

Da dokažemo učinkovitost in delovanje orodja, smo se odločili narediti preverljive eksperimente, ki bi nam dali uporabne rezultate. Le-te lahko primerjamo s tistimi z literature.

Zasnova eksperimentov

Kontaktni kot

Eden izmed glavnih ciljev obdelave s plazmo je izboljšati omočljivost površin. Na ta način varno in brez škodljivih kemikalij obdelamo substrate. Stični koti so tudi pokazatelj kemijske modifikacije površine in se zato uporabljajo v industriji kot orodje za ugotavljanje kakovosti [26].

Oblike oz. obrise nanesenih kapljic, kot tudi analizo stičnih kotov (SK) med kapljicami destilirane vode oz. premaza in površino vzorcev, smo izmerili z optičnim goniometrom Theta (Biolin Scientific, Oy, Espoo, Finska). SK so bili izmerjeni po načinu analize Young-Laplace, v programski opremi OneAttension različice 2,4 (r4931) (Biolin Scientific). Kapljice s prostornino 5 μ l smo nanesli na pet različnih mest na radialni površini posameznega vzorca. Zaradi časovnih in zdravstvenih omejitev (PKP ukrepi) smo lahko meritve na različnih vzorcih izvedli le enkrat, sicer v več paralelkah. Meritve SK na vzorcih, obdelanih s plazmo, so bile izvedene takoj po obdelavi s plazmo. Snemanje slike (1,3 slike na sekundo) se je začelo ob umiku konice pipete od kapljice in je potekalo 60 s. Ker so nekatere meritve zaključile predhodno oz. programska oprema ni znala izračunati kota, smo v rezultatih upoštevali približno prvih 25 sekund [27].

Oprijemnost

Za določanje oprijemnosti smo uporabili metodo z odtrgovanjem pečatov po standardu SIST EN ISO 4624:2004 . Zaradi časovnih in zdravstvenih omejitev eksperimenta nismo morali narediti več ponovitev. Po premazovanju, klimatiziranju in sušenju smo na površino utrjenih premazov na vsako letvico nalepili po pet pečatov premera 2 cm (*Slika 12*).



Slika 12: lepljenje pečatov na letvice

Po utrditvi lepila (24 h) smo film laka okoli pečata zarezali vse do podlage in tako razmejili obravnavane površine pečata od preostalih. Tako pripravljene pečate smo nato s trgalno napravo *Manual Pull-Off Adhesion Tester - Positest ATM* odtrgali od podlage in s tem določili maksimalno silo, ki je bila za to potrebna. Poleg vrednosti oprijemnosti v MPa smo zabeležili še naravo loma (kohezivno, adhezivno) [28].

Test križnega reza

Oprijemnost s križnim zarezovanjem smo določili v skladu z navodili standarda SIST EN 2409, DIN 52 151. Namesto enojnega rezila smo uporabili poseben nož s šestimi vpetimi rezili. Razmik med rezili je bil 2 mm, za lazuro pa razmik 1 mm [28]. Na les naredimo zarez s posebnim nožem. Pravokotno na prvi rez, naredimo drugega in opazujemo koliko barva se odstrani s substrata. Na spodnji sliki se vidi ocenjevalna lestvica rezultatov.

Določanje oprijemnosti z metodo križnega reza (SIST EN ISO 2409, DIN 53 151)

KVALITETNA STOPNJA					
0	1	2	3	4	5
ODLUŠČENA POVRŠINA					
0 %	manj kot 5 %	5 – 15 %	15 – 35 %	35 – 65 %	več kot 65 %
POŠKODBE					

Slika 13: ocenjevalna lestvica križnega reza z SIST EN ISO 2409

Barve in premazi

Za obdelovanje naših vzorcev smo uporabili različne barve in premaze. Uporabili smo dve vrsti vrsti premazov:

1. Lesna barva kot celoten površinski sistem za zahtevnejše aplikacije, npr. zunanje pohištvo. Uporabili smo sistem Tessarol podjetja Helios, ki je sestavljen iz treh delov, in sicer topila¹ (namenjeno čiščenju in pripravi površine), temeljnega premaza² in zaključnega sloja³. Na spletni strani je označeno, da sta temeljni premaz in zaključni sloj primerna za kovine. V tehničnih podrobnostih in navodilih je napisano, da sta primerna tudi za les, npr. pohištvo.
2. Lazura⁴ za les kot najenostavnejši, enoslojni premaza na osnovi voda (Belinka Interier)

¹ Tessarol redčilo (<https://www.helios-deco.com/sl/izdelki/premazi-za-kovine/osnovna-obdelava-kovinskih-predmetov/tessarol-redcilo/>)

² Tessarol osnovna barva UNI (<https://www.helios-deco.com/sl/izdelki/premazi-za-kovine/osnovna-obdelava-kovinskih-predmetov/tessarol-osnovna-barva-uni/>)

³ Tessarol emajl (sijaj/satin) (<https://www.helios-deco.com/sl/izdelki/premazi-za-kovine/pokrivni-premazi-za-kovino/tessarol-emajl-sijajsatin/>)

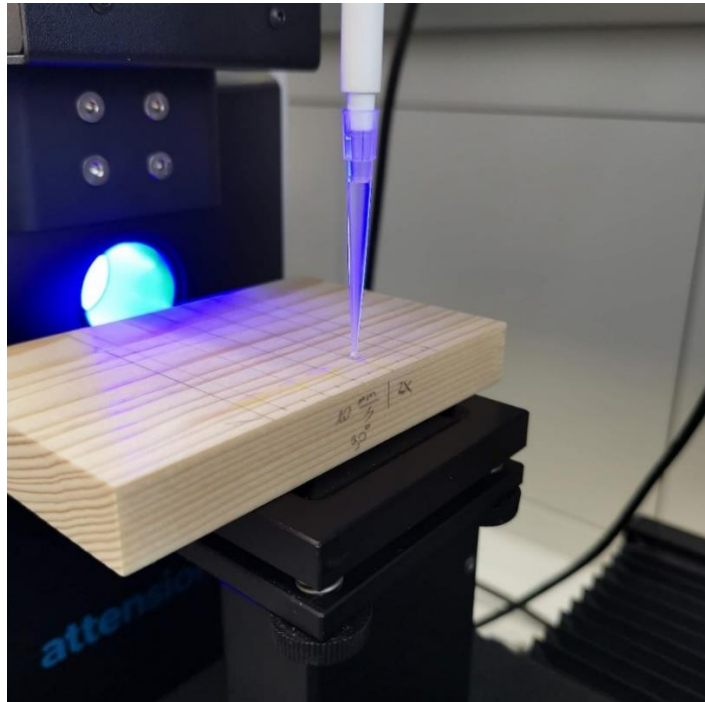
⁴ Belinka Interier (<https://www.belinka.com/sl/izdelki/interier/>)

Rezultati

Za testiranje smo izpeljali več eksperimentov. Vse teste smo izvedli z lesom smreke in bukve.

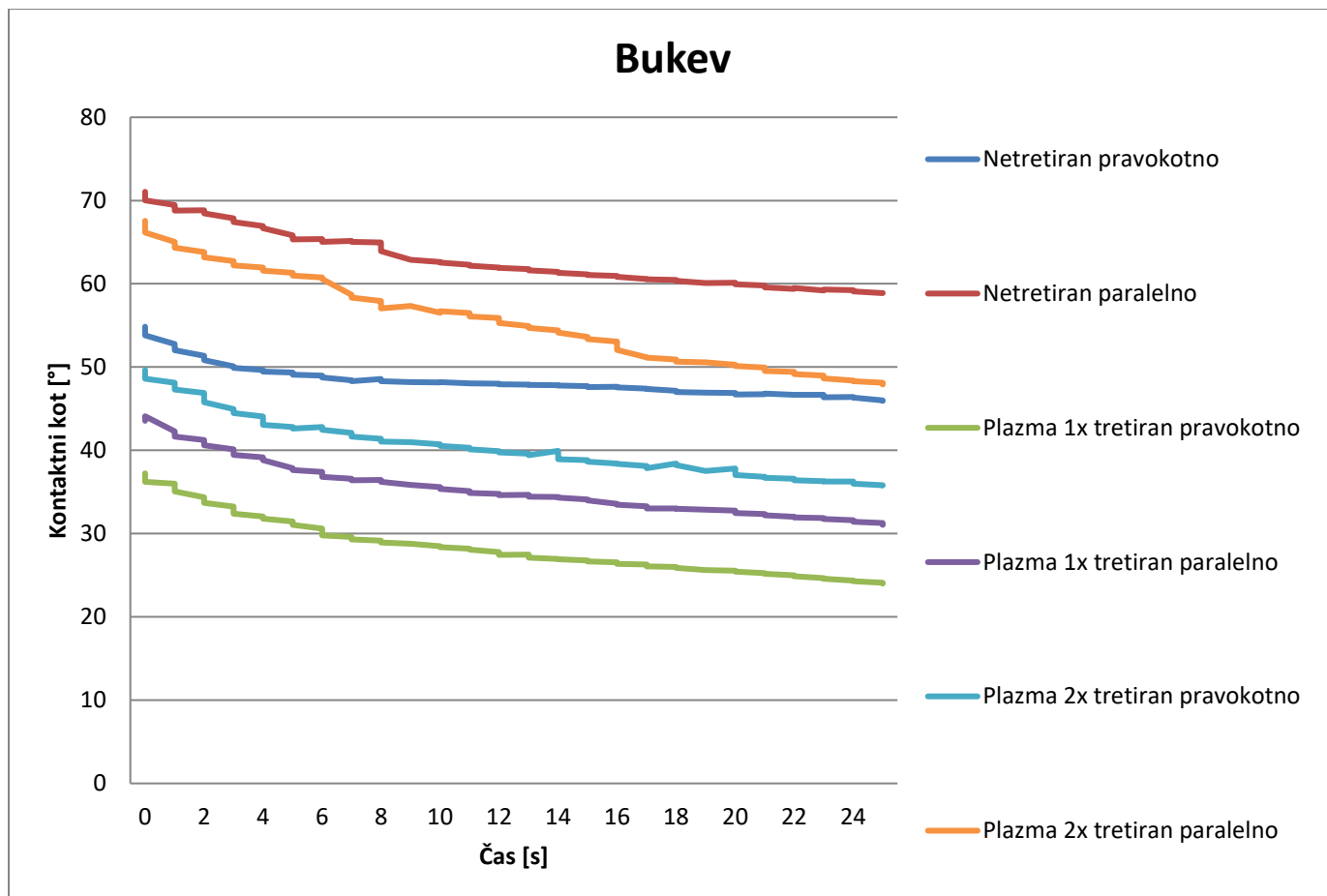
Kontaktni kot

Izmerili smo kontaktne kote kapljic s površinami. To je splošno sprejet način oz. test za učinkovitost delovanja hladne plazme na lesu. Ta test smo tudi uporabili, da smo ugotovili, kakšen način nanašanja plazme je bolj primeren. Na *Sliki 14* lahko vidimo izvajanje testa.



Slika 14: testiranje kontaktnega kota

Rezultate prikažemo grafično. Spodaj sta grafa kontaktnih kotov kapljic pri stiku z bukvijo in s smreko.

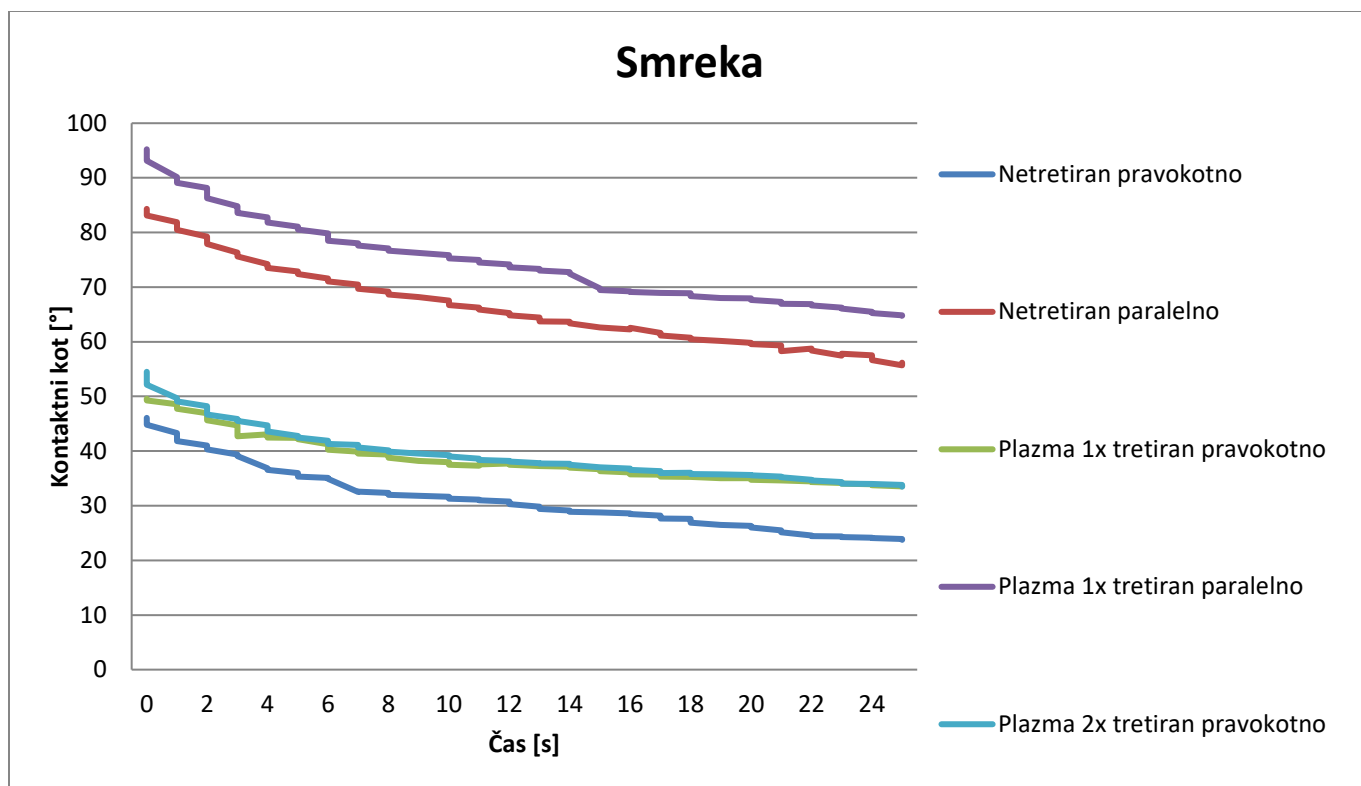


Graf 1: Kontaktni kot z bukvijo

Bukev:

Zaključki, domneve in razlage se navezujejo na *Graf 1*.

- Kapljice se v smeri vlaken obnašajo drugače kot tečejo čez vlakna. Zato smo naredili meritve v obe smeri. Vzporedni so rezultati kapljic, ki smo jih opazovali v smeri vlaken, pravokotni pa pod pravim kotom na vlakna.
- Na bukvi so vsa opazovanja skladna s tistimi iz literature v obe smeri (vzporedna in pravokotna).
- Kontaktne oziroma stični koti so pri primerkih, obdelanih s plazmo, manjši kot pri neobdelanih primerkih. Po dvojni plazemski obdelavi so kontaktni koti že nekoliko slabši kot pri enostavnejši obdelavi, a še vedno manjši kot pri neobdelanih primerkih.
- Krivulje primerkov obdelanih s plazmo so bolj strme kot krivulje neobdelanih. Plazma ne le zmanjša kontaktni kot, ampak tudi pospeši pretok tekočine po površini (tj. vlaženje površine) in pospeši absorpcijo vode v površino.



Graf 2: Kontaktni kot s smreko

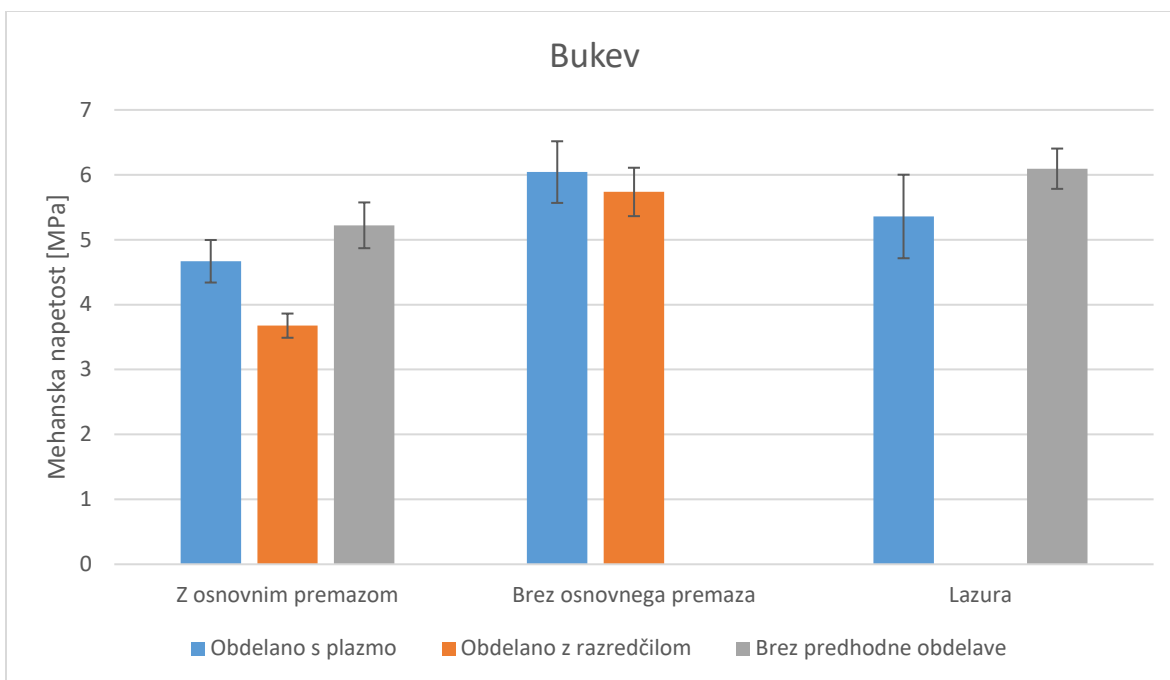
Smreka:

Zaključki, domneve in razlage se navezujejo na Graf 2.

Pri smreki smo prišli do nepričakovanih rezultatov. Če ne bi bili omejeni s časom, bi eksperimente večkrat ponovili, da bi ugotovili, zakaj je do tega prišlo. Ne znamo z zagotovostjo razložiti, zakaj se kontaktni kot pri primerkih, obdelanih s plazmo, poveča, saj smo pričakovali zmanjšanje. Kljub nenavadnim izsledkom opazimo razlike, kar pomeni, da plazma ima učinek, čeprav ne takega, kot smo pričakovali. V nadaljevanju se je pri testu oprijemnosti na enakih vzorcih pokazalo, da se je oprijemnost premaza na smreki, obdelani s plazmo, izboljšala (Graf 4).

Oprijemnost

Testirali smo sedem vzorcev za smreko in sedem za bukev. Na njih smo nanесли lazuro ali barvo, predhodno pa smo nekatere obdelali s plazmo, druge z razredčilom, preostalih pa nismo. Uporabljali smo barvo, pri kateri je potrebno po navodilih proizvajalca najprej očistiti les, nato pa substrat premazati z osnovnim premazom pred samim nanosom barve. Poskusili smo tudi le z barvo, brez osnovnega premaza.

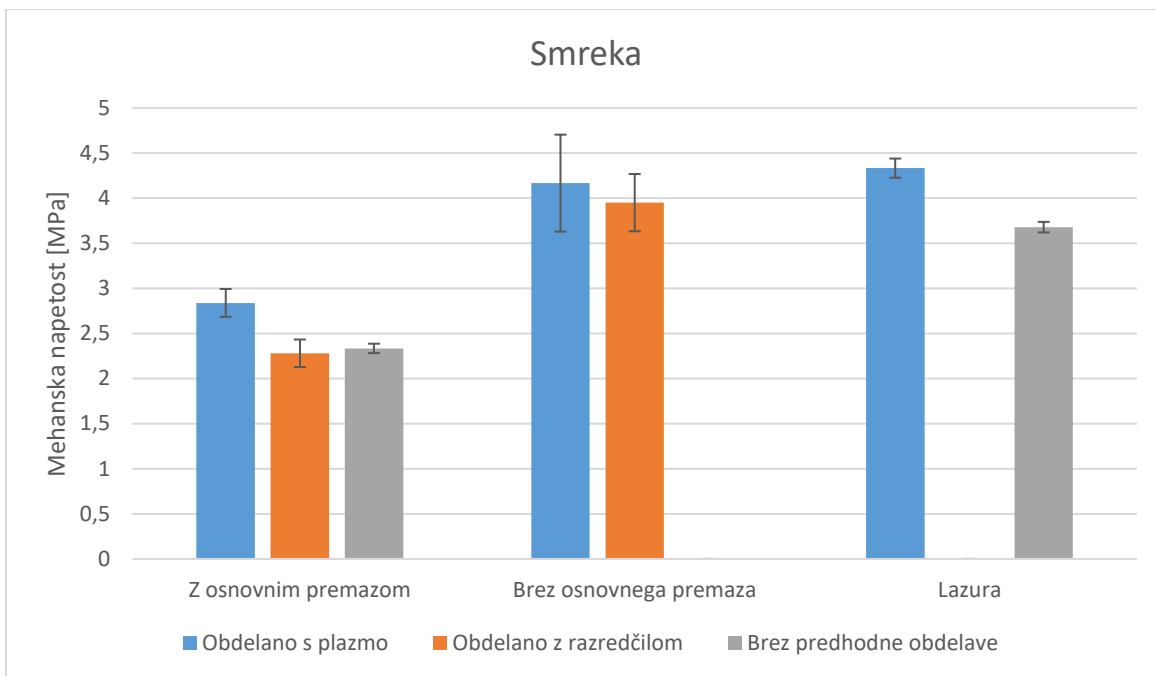


Graf 3: Test oprijema z bukvijo

Bukev:

Zaključki, domneve in razlage se navezujejo na *Graf 3*.

- Na bukvi je aplikacija sloja površinskega sistema po navodilih proizvajalca privedla do najmanjše adhezivne trdnosti. Obdelava s plazmo je privedla do bistveno boljše adhezivne trdnosti. Za najbolj zmogljivo se je izkazala površina, ki ni bila predhodno očiščena.
- Namen čiščenja z redčilom je, da odstrani maščobe, smole itd. s površine, da se nato zagotovi dober stik med premazom in podlago. Zaradi majhne količine ekstraktivnih snovi v bukvi to tukaj ni potrebno.
- Uporaba prvega od dveh slojev zaključnega premaza brez osnovnega premaza je privedla do nepopolnega močenja in pegastega videza. To se je izboljšalo z drugo plastjo in na koncu privedlo do boljše adhezivne trdnosti kot v primerih, ko je bil osnovni premaz uporabljen v skladu z navodili proizvajalca. Brez osnovnega premaza so predhodne obdelave s plazmo privedle do nekoliko večje oprijemljivosti kot čiščenje z razredčilom. Zaradi majhnega števila testov, ki smo jih izvedli, razlika statistično ni pomembna, saj izmerjene vrednosti spadajo v medsebojne standardne deviacije.
- V primeru lazure ugotovimo približno 10% zmanjšanje adhezivne trdnosti zaradi predhodne obdelave s plazmo. Da bi točno vedeli, zakaj je tako, bi morali narediti nadaljnje raziskave, je pa precej verjetno, da je to povezano z absorpcijo vode, ki ima neposreden vpliv na tvorbo filma.



Graf 4: Test oprijema s smreko

Smreka:

Zaključki, domneve in razlage se navezujejo na *Graf 4*.

- Površinski sistem s predhodnim čiščenjem (po priporočilu proizvajalca) se je izkazal za enako učinkovitega kot brez čiščenja. Predhodna obdelava s plazmo je pa povzročila približno 22% izboljšanje, kar je statistično zelo pomembno. V smreki je prisotno visoka količina smol in drugih ekstraktov, zato je presenetljivo, da čiščenje (po navodilih proizvajalca), katerega glavni namen je, da se znebi ekstraktivnih snovi in smol, ne prinese nobene koristi. **Plazemska obdelava ima očitno in veliko prednost.**
- Brez osnovnega premaza so razlike med predhodnim čiščenjem s toplim in predhodno obdelavo s plazmo veliko manj izrazite in niso statistično pomembne. Če ne uporabimo osnovnega premaza zopet ugotovimo splošno, a manj opazno, izboljšanje delovanja. Zdi se, da je plazemska obdelava nekoliko učinkovitejša od čiščenja z redčilom.
- V primeru lazure je predhodna obdelava plazme privedla do približno 15% povečanja oprijemne trdnosti. To se zdi protislovno glede na rezultate kontaktnega kota, vendar je najverjetneje povezano z odstranjevanjem smole in ekstraktov ter z izboljšano absorpcijo vode.
- **Plazma je pokazala očitne koristi in izboljšave v vseh primerih premazov na podlagah smreke.**

Test križnega reza



Slika 15: rezultati testa prečnega rezanja

Na zgornji sliki vidim je desni primer ek obdelan s plazmo. Na levi je bil obdelan z razredčilom. Na desnem primerku ostane na substratu več barve kot na levem. Primer kako bi se to lahko videlo: dve klopki (ena premazana z razredčilom, druga obdelana s plazmo) bi drgnili s ključi ali drugimi predmeti. Tista, ki je bila obdelana s plazmo, bi po koncu eksperimenta ohranila več barve na svoji površini.

Razlike na tem testu so majhne, saj so premazi že optimizirani za posamezne aplikacije. Rezultati pri lazuri nimajo opaznih razlik. Testiranje pri smreki je pokazalo, da je oprijem barve boljši, če je les obdelan s plazmo, kot pa s sistemom Tessarol. Za bukev se je pokazalo le, da je oprijem slabši pri vzorcu, ki je narejen natančno po navodilih, torej z razredčilom in osnovnim premazom.

Poraba energije

Primerjamo kemikalije s porabo naše naprave. Razredčila (kot je bilo naše) so večinoma C₉-C₁₁ alkani s približno 2% vsebnostjo aromatskih spojin. Večinoma izhlapijo ali pa gredo v zemljo [29]. S tem škodujemo okolju, posredno pa tudi sami sebi. Hlape vdihavamo, zemlji pa škodujemo in s tem vplivamo na rastline. Poleg tega je vir razredčil surova nafta, iz katere jih pridobijo s težkim frakcioniranjem.

Lahko primerjamo že samo uporabo kemikalij na vzorec: ocenjujemo, da na vzorec porabimo približno 10 ml razredčila, kar je približno 7 g. Kurilna vrednost je potemtakem

$$7 \text{ g} \times 44 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} = 308 \text{ kJ} \doteq \underline{0.086 \text{ kWh}}$$

Naša naprava porabi manj kot 100 W in potrebuje približno minuto časa za obdelavo enega vzorca.

$$100W \times 60s = 0.1kW \times \frac{1}{60}h \doteq \underline{0.002kWh}$$

Gre za oceno porabe energije pri delu. **Pri podani situaciji je tako energijski prihranek kar štiridesetkratni že pri nanosu razredčila, saj ga pri lesu, obdelanem s plazmo, ne potrebujemo.**

Izgled površine

Pogledali smo tudi kakovost površine in ugotovili, da se pri vzorcih, obdelanih s plazmo, niso pojavile nikakršne nepravilnosti, pri ostalih pa so se pojavile deformacije. Sumimo, da bi morali površino za tiste primerke še bolj pripraviti, npr. z brušenjem. Tega ne moremo reči zagotovo, saj primernih meritev še nismo izvedli. Na spodnji sliki se lahko opazi več nepravilnosti na levi (vzorec očiščen z redčilom) kot na desni (vzorec predobdelan s plazmo). Te nepravilnosti so opazne v odsevu sijoče površine (označeno z rdečimi krogi). Nadaljnja testiranja, kjer bi preverili nepravilnosti, bi opravili z laserskim mikroskopom.



Slika 16: primerjava površine obdelanega in neobdelanega vzorca

Poslovni načrt

Izdelali smo odlično delujoče orodje, ki je varno za uporabo in cenovno dostopno. Zato nas je zanimalo, če so na trgu že podobne naprave.

Obdelava s plazmo postaja vse bolj priljubljena zaradi varovanja okolja in manjše uporabe kemikalij, ki so tudi precej drage. Z enakomerno prevleko poveča obstojnost lesa. Z nakupom naše naprave prispevate k ohranjanju okolja in povečanju uporabe plazemske tehnologije v industriji. S tem se zmanjšuje uporaba kemikalij. Prav tako prihranite na stroških kemikalij. Več ko uporabljate orodje, krajši je čas povračila investicije. Ko je naprava v uporabi, porabi nekaj manj kot 100 W energije, včasih doseže poraba do 100 W.

Naša naprava je najbolj uporabna za majhne površine, kar pomeni, da je idealna za ljudi, ki želijo delati na manjših umetniških in obrtnih izdelkih. Barvanje, lakiranje ali lepljenje kosov lesa ali drugih materialov (npr. plastike, keramike, kovin ...) je z uporabo našega orodja poenostavljeno. Končni produkti bodo lepši, saj bodo nanosi lakov ali lepil nanje bolj enakomerni pa tudi poraba kemikalij predvidoma manjša.

Analiza trga

Trg za našo napravo je tržna niša, ki ima veliko potenciala. Napovedujemo, da bo v prihodnosti vse več povpraševanja po izdelku, kakršen je naš, zaradi preusmeritve pozornosti k ohranjanju okolja.

Za zdaj lahko svoj "ciljni trg" primerjamo s podobnim, kot je npr. trg majhnih CNC strojev (računalniško numerično krmiljenje), npr. CNC rezkalniki in 3D tiskalniki srednje do profesionalne ravni. Gre za podobne naložbe, ki privlačijo isto vrsto ljudi. Ti so ponavadi nagnjeni k novi tehnologiji z boljšo učinkovitostjo, ekološkimi koristmi itd. Ko se trg razširi in bo bolj odprt za plazemsko tehnologijo, se bo hkrati povečala tudi naša skupina potencialnih kupcev. V tej fazi bi naprave verjetno želelo vedno več ljudi, ki obdelujejo les. Skozi čas bi morali izboljševati naš produkt, da bi imel vedno več funkcionalnosti, in ohranjati zlati standard za potencialne bodoče konkurente (nizka cena, dobra zmogljivost, enostavnost uporabe, varnost itd.).

Konkurenca

Na trgu ni veliko naprav, ki bi jih lahko uporabili za obdelavo lesa s hladno plazmo za takšen namen, kot je naša. Nekatera podjetja ponujajo velike in nerodne izdelke, ki so pogosto zelo dragi. Niso praktični za domačo delavnico ali manjša podjetja. Našli smo podjetje, ki ponuja ročne rešitve in ima distributerja v Sloveniji - Relyon Plasma (<https://www.relyon-plasma.com/?lang=en>), hčerinsko podjetje TDK Electronics, ki je bilo tudi edino podjetje, ki se je odzvalo na naša vprašanja, čeprav smo stopili v stik z več. Njihova rešitev pa v prvi vrsti ni osredotočena na ročno izdelavo in vsakodnevno

uporabo. Uporabljajo drugačno plazemsko tehnologijo. Ponujajo različne rešitve in tako kot druga podjetja so večinoma osredotočeni na profesionalno uporabo in ciljajo na velika podjetja za prodajo. Druga težava pri naših konkurentih je dostopnost. Večine naprav ne moremo preprosto kupiti. Najcenejša naprava, ki jo lahko kupite v njihovi spletni trgovini, stane 1850 EUR plus DDV (17. januarja 2021; <https://www.relyon-plasma.com/shop/?lang=en>). Je najosnovnejša različica, dodatne komponente pa vas bodo stale še več. Napravo je možno najeti, vendar vas bo to stalo 300 evrov na 15 dni, kar je še vedno nad celotnimi proizvodnimi stroški naše naprave. Poleg tega je naprava izjemno nizke moči, zato je uporabna le za počasne obdelave. Izdelek, ki ga ponujajo s podobnimi značilnostmi, kot jih ima naš, nima navedene cene na spletu. Tudi če komu uspe dobiti enega od teh strojev in za to porabi veliko denarja, izdelki niso prilagojeni za domačo uporabo in obrt. Tu na trg vstopi naš izdelek. Ponujamo napravo, ki je na voljo po precej nižji ceni.

Cena naprave

Odločili smo se, da uporabimo čim več komercialno dostopnih delov. To uporabniku pomaga zamenjati določene dele, če bi to želel. Deli so bili skrbno izbrani, da najbolje ustrezajo našemu primeru uporabe. Seznam vseh delov je v *Prilogi 1*. Komponente gonilnika transformatorja so v *Prilogi 2*. Nekateri deli so narejeni po meri zaradi narave orodja. Večino komponent je enostavno najti v velikih e-trgovinah. Približni stroški komponent znašajo 200 - 250 evrov, vključeni so stroški pošiljanja in DDV. Ko govorimo o približnih cenah, moramo upoštevati spremembe na trgu teh komponent. Na sliki spodaj vidimo našo napravo v sestavljenem in razstavljenem pogledu.



Slika 17: navaden in razstavljen pogled naše naprave v programu Fusion 360

Podrobnejši ogled je možen na povezavi: <https://a360.co/32hOaHm>

Programiranje

Naš izdelek spremlja Arduino Nano, ki je povezan s specializiranim senzorjem (*Slika 18*), ki Arduino pošilja podatke o temperaturi in zračnem tlaku. Podatki se nato prikažejo na zaslonu ob strani naprave in pomagajo spremljati stanje naprave in njeno pravilno delovanje. Zaradi omejene ločljivosti notranjih generatorjev pulzev Arduinota, PWM signal generira ločen modul. Zaenkrat smo se odločili za tovrstno izvedbo.

Prihodnja revizija orodja bo Arduino Nano uporabljala kot krmilnik za PWM generator prek UART (Univerzalni asinhroni sprejemnik/oddajnik, ang. *Universal Asynchronous Receiver/Transmitter*). Te metode nismo popolnoma razvili. Najbolj izpopolnjen način bi bil vključitev informacij o nadzoru PWM in senzorjev v Arduino. Tudi tega še nismo zaključili, zato je še prostor za izboljšave.

Kodo smo dodali v *Prilogo 3*.



Slika 18: BMP 180 - senzor za pritisk in temperaturo

Ponujena vrednost

V celotnem poročilu je bilo veliko namigov, kaj lahko pričakujemo od naše naprave. To podpoglavje je namenjeno prednostim naše naprave. Verjamemo, da imamo edinstven izdelek za ciljni trg. Naše potencialne stranke za svoje namene uporabljajo različne kemikalije. Stroški le-teh lahko hitro narastejo. S ceno približno 10 evrov na 0,75 l in 100 ml na m² stanejo kemikalije 1,33 evrov / m² ali 13,30 evrov / 10 m². Z uporabo kemikalij škodujemo tudi okolju, namesto da bi ga zaščitili.

To lahko premagamo z enkratnim nakupom našega orodja, ki bo uporabno dolgo časa. Njegova cena je precej nižja in znaša približno 200 - 250 evrov. To pomeni, da vsakič, ko uporabimo naše orodje, dobimo majhen donos naše naložbe, nakup novih temeljnih premazov, temeljnih premazov in drugih premazov pa bi vas dolgoročno stal več. Poleg

varčevanja z denarjem okolju pomagamo tudi z neuporabo teh kemikalij. Zato je situacija dobra za okolje, prav tako pa za uporabnika.

Izdelkov ne moremo neposredno primerjati s tekmeci, ker so njihovi stroji namenjeni drugačnim aplikacijam, lahko pa primerjamo razpoložljivost. Naročilo tekmečevih orodij lahko opravite prek interneta (v njihovih spletnih trgovinah), vendar je težko najti točno to, kar iščete. V našem primeru bi lahko našo napravo enostavno kupili v različnih spletnih trgovinah, s katerimi bi sodelovali. Naše orodje ima prilagodljiv nadzor PWM plazme. To pomeni, da lahko kupec spremeni frekvenco in delovni cikel plazme ter ju prilagodi svojim potrebam.

Varnost je še ena točka, ki jo pogosto spregledamo. Poskušali smo zagotoviti, da se uporabnik med delovanjem orodja ne more poškodovati. Omogočili smo, da do plazme pride le, ko pritisnemo gumba na obeh ročajih in tako zasedemo obe roki. To zagotavlja, da je delovanje čim bolj varno.

Zaradi lažjega upravljanja napajanja nismo vključili v samo napravo - zaradi tega bi bila težja in veliko večja. Je v posebni enoti, ki je ločena od orodja samega. Povezana je s kablji. Uporabljamo napajalnike standarda ATX, ki jih tipično najdemo v osebnih računalnikih. Ni nujno, da je vrhunski, toda tirnice morajo biti sposobne prenašati dovolj toka skozi 12 V tirnico. Predlagamo uporabo napajalnika, ki zmore vsaj nekaj več kot 10 amperov na 12 V tirnici.

Energijski vidik je tudi v našo korist. Navadno porabi manj kot 100 W energije, a lahko občasno poraba preseže mejo 100 W. Kemikalije se proizvajajo z zapletenimi procesi. To porabi veliko energije in s tem se že od začetka ustvarja vrzel med učinkovitostjo naše naprave in med kemikalijami.

Zelo pomembno je, da ima vsak izdelek svoj trg. Mi smo našli svojo nišo – ročno delo in umetno obrt oz. obrt majhnih lesenih izdelkov. Naprava je idealna za rokodelce, ki delajo z lesom. Zagotavlja, da so leseni izdelki enakomerno premazani; pri tem tudi zmanjšuje porabo kemikalij.

Zaključek – naš izdelek je unikaten

S projektom smo dosegli cilje, in sicer smo razvili novo plazemsko orodje in dokazali njegovo učinkovitost. Orodje je dovolj dobro za vsakodnevno uporabo. Deluje brezhibno in je varno za uporabo. Tudi cena je precej nižja od ponudbe konkurentov. Zato je naprava veliko bolj dostopna in privlačna za širši trg, čeprav ne pričakujemo, da bo namenjena vsakemu "mojstru". Da bi prišla na trg, bi potrebovali nekaj podpore in podrobnejši poslovni načrt, vendar menimo, da je to izvedljivo. Dokazali smo, da lahko z nekaj pobude in malo pomoči nekdo z gimnazijskim znanjem, ki je pripravljen raziskovati in v projekt vložiti nekaj truda, naredi takšno napravo.

Literatura vsebuje dokaze, da se po uporabi plazme zmanjša uporaba kemikalij. Do tega pride, ker je površina bolj gladka in je potreben premaz tanjši in enakomernije razporejen, s čimer se zmanjša količina uporabljenih kemikalij. Preverili smo delovanje našega orodja z različnimi eksperimenti in izsledke primerjali s tistimi iz literature. Dokazali smo, da orodje ne le deluje, ampak ima tudi zelen učinek na lesni površini. S tem smo dosegli tudi drugi cilj.

Dokazali smo učinkovitost obdelave lesa s plazmo s standardiziranimi, preverljivimi eksperimenti; dosegli smo manjšo porabo kemikalij in boljšo oprijemnost premazov. Rezultati se skladajo z navedbami podobnih raziskav v strokovni literaturi, kar neposredno dokazuje pravilnost naših hipotez [7, 8, 11].

Izurili smo se smo tudi v številnih drugih veščinah. Ker gre za projekt, povezan s šolo, smo ga videli kot priložnost, da se naučimo nekaj novega. Poleg uporabe teoretičnega znanja smo pridobili tudi praktične spretnosti in preskusili podjetniški pristop. Razvili smo tudi nekaj veščin v programski opremi CAD (računalniško podprto načrtovanje, predvsem Fusion 360) in programiranju mikrokrmilnikov, poskušali smo implementirati nadzor PWM, uspeli smo povezati zaslon z Arduinom ter prikazati pomembne parametre.

Naš izdelek bi bil primeren za mnoge ljudi, ki pogosto obdelujejo les in ga obdelujejo z različnimi kemikalijami. Je kompaktno ročno orodje, ki se zaradi ergonomске zasnove zlahka prilega uporabniku v roke. Težo smo poskušali razporediti čim bolj enakomerno. Orodje je zelo enostavno za uporabo in zagotavlja odlično varnost za uporabnika. Varnost je bila zelo pomemben del med razvojem orodja. Zato smo uporabili dva gumba. Uporabnik mora uporabljati obe roki. Če ne pritisne obeh gumbov hkrati, naprava ne bo ustvarila plazme. To zagotavlja uporabnikovo varnost in preprečuje nenameren vklop naprave. Uporabnik lahko spremeni frekvenco signala PWM in njegov delovni cikel. To pomeni, da lahko uporabnik optimizira pogoje obdelave (vpliva na najvišje napetosti, gostoto moči, dolžino curka plazme ...). Te spremembe je mogoče izvesti s pomočjo gumbov in LCD zaslona, ki prikazuje lastnosti proizvedene plazme. Zaslon na strani pomaga uporabniku z zagotavljanjem koristnih informacij. Prikazuje temperaturo in tlak zraka, ki prihajata iz ventilatorja. To se meri z ločenim specializiranim senzorjem.

Uporaba plazme za obdelavo površin nadomešča potrebo po temeljnih premazih, kar pomeni, da se je mogoče izogniti kemikalijam, kot so toluen, formaldehid, ksileni in druge kemikalije. Ima različne učinke na površine. Les postane hidrofilen in bolj primeren za oprijem barve. Plazma se preko šobe nanese na površino. To je treba storiti na majhni razdalji, približno 2-10 mm. Spodnji sprednji del naprave je oblikovan tako, da deluje kot opora in tako enostavno ohranja pravilno delovno razdaljo. Orodje ni posebej zasnovano za pokrivanje velikih površin, vendar lahko to stori z enakomernim tempom. Naprava je namenjena predvsem obdelavi lesa in nadomestitvi nekaterih kemikalij. Njegovo uporabo priporočamo strokovnjakom ali malim podjetjem, ki ne potrebujejo orodja za obdelavo velikih površin.

Viri

- [1] United States Environmental Protection Agency. "Paint and Coatings". Feb. 20, 2016. <https://archive.epa.gov/sectors/web/html/paint.html> (Zadnji datum dostopa: 7.2.2021)
- [2] Feim. "Wood Advantages" <http://www.feim.org/en/wood-advantages> (Zadnji datum dostopa: 7.2.2021)
- [3] "Cellulose.". <https://en.wikipedia.org/wiki/Cellulose> (Zadnji datum dostopa: 12.2.2021)
- [4] "Lignin.". <https://en.wikipedia.org/wiki/Lignin> (Zadnji datum dostopa: 12.2.2021)
- [5] "Hemicellulose.". <https://en.wikipedia.org/wiki/Hemicellulose> (Zadnji datum dostopa: 12.2.2021)
- [6] Helmenstine, Anne Marie, Ph.D. "What Is Plasma Used For, and What Is It Made Of?" ThoughtCo. Aug. 26, 2020, <https://thoughtco.com/what-is-plasma-608345> (Zadnji datum dostopa: 6.2.2021)
- [7] Gerullis, S, Kretzschmar, BS, Pfuch, A, Beier, O, Beyer, M, Grünler, B. "Influence of atmospheric pressure plasma jet and diffuse coplanar surface barrier discharge treatments on wood surface properties: A comparative study". Plasma Process Polym. 2018; 15:e1800058, <https://doi.org/10.1002/ppap.201800058> (Zadnji datum dostopa: 6.2.2021)
- [8] Žigon, Jure, Petrič, Marko and Dahle, Sebastian. "Dielectric barrier discharge (DBD) plasma pretreatment of lignocellulosic materials in air at atmospheric pressure for their improved wettability: a literature review" *Holzforschung*, vol. 72, no. 11, 2018, pp. 979-991. <https://doi.org/10.1515/hf-2017-0207> (Zadnji datum dostopa: 8.2.2021)
- [9] Cademartori, Pedro Henrique & Stafford, Luc & Blanchet, Pierre & Magalhães, Washington & Muniz, Graciela. "Enhancing water repellency of wood surfaces by atmospheric pressure cold plasma deposition of fluorocarbon film." *RSC Advances*. June 2017. 7. 29159-29169. 10.1039/C7RA03334F. https://www.researchgate.net/publication/317342301_Enhancing_water_repellency_of_wood_surfaces_by_atmospheric_pressure_cold_plasma_deposition_of_fluorocarbon_film (Zadnji datum dostopa: 6.2.2021)
- [10] "Wettability". (n.d.). [https://www.sciencedirect.com/topics/materials-science/wettability#:~:text=Wettability%20is%20the%20ability%20of,type%20\(liquid%20to%20liquid](https://www.sciencedirect.com/topics/materials-science/wettability#:~:text=Wettability%20is%20the%20ability%20of,type%20(liquid%20to%20liquid) (Zadnji datum dostopa: 14.2.2021)
- [11] Žigon, Jure, Petrič, Marko, Kariž, Mirko, Dahle, Sebastian. "Plasma treatment of spruce wood changes its dielectric properties.". December 2020.

- <https://www.researchgate.net/publication/348074826> Plasma treatment of spruce wood changes its dielectric properties (Zadnji datum dostopa: 28.2.2021)
- [12] "Volatile organic compound.". https://en.wikipedia.org/wiki/Volatile_organic_compound (Zadnji datum dostopa: 12.2.2021)
- [13] Lafond, Adrien. "Most dangerous volatile organic compounds (VOCs)". Sep. 26, 2018. <https://foobot.io/guides/most-dangerous-volatile-organic-compounds.php> (Zadnji datum dostopa: 13.2.2021)
- [14] WorkSafe Western Australia Commission, "Safe use of Chemicals in the Woodworking industry". December 2001. ISBN 0-7370-6122-3, https://www.commerce.wa.gov.au/sites/default/files/atoms/files/guide_chemicals_wood.pdf (Zadnji datum dostopa: 14.2.2021)
- [15] "Wood stain". https://en.wikipedia.org/wiki/Wood_stain (Zadnji datum dostopa: 14.2.2021)
- [16] "Paint". <https://en.wikipedia.org/wiki/Paint> (Zadnji datum dostopa: 14.2.2021)
- [17] "Varnish". <https://en.wikipedia.org/wiki/Varnish> (Zadnji datum dostopa: 14.2.2021)
- [18] "Solvents". <https://www.chemicalsafetyfacts.org/solvents/?tab=1> (Zadnji datum dostopa: 14.2.2021)
- [19] United States Environmental Protection Agency. "Overview of wood Preservative Chemicals". Maj 4, 2017. <https://www.epa.gov/ingredients-used-pesticide-products/overview-wood-preservative-chemicals> (Zadnji datum dostopa: 8.2.2021)
- [20] HSE "Solvents". November 2003. <https://www.hse.gov.uk/pubns/cis27.pdf> (Zadnji datum dostopa: 14.2.2021)
- [21] United States Department of Agriculture. "Preservative -Treated Wood and Alternative Products in the Forest Service". United States Forest Service, <https://www.fs.fed.us/t-d/pubs/htmlpubs/htm06772809/page02.htm> (Zadnji datum dostopa: 7.2.2021)
- [22] European Commission. "7.4.4.5 Preservation of Wood." Aug. 2, 2019. https://ec.europa.eu/environment/archives/air/stationary/solvents/activities/pdf/88_en.pdf (Zadnji datum dostopa: 23.2.2021)
- [23] Timber Preservers Association of Australia. "Light organic solvent.". <http://www.tpaa.com.au/light-organic-solvent/> (Zadnji datum dostopa: 14.2.2021)

- [24] Sliger, M. (2011). "Agile project management with Scrum." PMI® Global Congress 2011. North America, Dallas, TX. Newtown Square, PA: Project Management Institute. <https://www.pmi.org/learning/library/agile-project-management-scrum-6269> (Zadnji datum dostopa: 14.2.2021)
- [25] Sebastian Dahle, Megi Pilko, Jure Žigon, Rok Zaplotnik, Marko Petrič, & Matjaž Pavlič. (2020). Raw and analyzed data for manuscript: "An open-source surface barrier discharge plasma pretreatment for reduced cracking of outdoor wood coatings" (Version 1.1.1) [Data set]. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4133809> (Zadnji datum dostopa: 2.4.2021)
- [26] Laurén, S. (n.d.). "Contact angle measurements to evaluate plasma treatment efficiency". Nov. 26, 2019. <https://www.biolinscientific.com/blog/contact-angle-measurements-to-evaluate-plasma-treatment-efficiency> (Zadnji datum dostopa: 31.3.2021)
- [27] "The influence of selected treatment parameters with atmospheric plasma on the treatment process and wood wettability." (n.d.). Vol. 69, No. 1, 71-84. Maj 28, 2020. <http://www.les-wood.si/index.php/leswood/article/view/86/58> (Zadnji datum dostopa: 1.4.2021)
- [28] Pavlič, M. "Lastnosti površinskih premazov v odvisnosti od njihov interakcij s termično modificiranim lesom.". Ljubljana, 2009. http://www.digitalna-knjiznica.bf.uni-lj.si/dd_pavlic_matjaz.pdf (Zadnji datum dostopa: 1.4.2021)
- [29] Marek Tobiszewski, Jacek Namieśnik, & Francisco Pena-Pereira. "Environmental risk-based ranking of solvents using the combination of a multimedia model and multi-criteria decision analysis.". Dec. 16, 2016. <https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2017/gc/c6gc03424a> (Zadnji datum dostopa: 22.3.2021)
- [30] Relyon plasma. "Plasma pretreatment: Varnishing". <https://www.relyon-plasma.com/applications/pretreatment-for-varnishing/?lang=en> (Zadnji datum dostopa: 8.2.2021)
- [31] Pennock, Alex. "Selecting Healthy and Environmentally Sound Clear Wood Finishes". Green Home Guide. Sep. 4, 2009. <https://www.greenhomeguide.com/know-how/article/selecting-healthy-and-environmentally-sound-finishes> (Zadnji datum dostopa: 7.2.2021)
- [32] Nicol, M., Brubaker, T., Honish, B., Simmons, A., Kazemi, A., Geissel, M., . . . Kirimanjeswara, G. "Antibacterial effects of low-temperature plasma generated by atmospheric-pressure plasma jet are mediated by reactive oxygen species". Feb. 20, 2020. <https://www.nature.com/articles/s41598-020-59652-6> (Zadnji datum dostopa: 14.2.2021)

[33] Timber Preservers Association of Australia. "Timber treatment."
<http://www.tpa.com.au/timber-treatment/> (Zadnji datum dostopa: 14.2.2021)

Slika 4: Konzervans na vodni osnovi, dostopno na: <http://www.planitdiy.com/faqs/wood-preservativeswaterproofers/> (Zadnji datum dostopa: 7.2.2021)

Slika 5: Osnovni nanosni sloj, dostopno na: <https://www.belinka.com/en/products/base/> (Zadnji datum dostopa: 23.2.2021)

Slika 18: BMP 180 – senzor za pritisk in temperaturo, dostopno na: <https://www.indiamart.com/proddetail/bmp-180-barometric-pressure-sensor-module-20192972597.html> (Zadnji datum dostopa: 7.2.2021)

Priloge

Priloga 1: Komponente v napravi

Komponenta	Količina	Predvidena cena*	Link
Transformator	1	30 EUR	https://highvoltage-shop.com/epages/b73088c0-9f9a-4230-9ffc-4fd5c619abc4.sf/de_DE/?ObjectPath=/Shops/b73088c0-9f9a-4230-9ffc-4fd5c619abc4/Products/TRANSHF_15KVAC
ATX napajalnik	1	30 EUR	https://www.mimovrste.com/
Arduino Nano	1	10 EUR	https://www.3dsvet.eu/
12V potisni ventilator	1	2 EUR	https://www.aliexpress.com/
BMP 180 senzor	1	2 EUR	https://www.aliexpress.com/
PWM modul	1	2 EUR	https://www.aliexpress.com/
I2C 1602 LCD ekran	1	20 EUR	https://www.amazon.de/
Step-up modul	1	20 EUR	https://www.aliexpress.com/
Mehanični gumb	2	1 EUR	https://www.aliexpress.com/
Gonilnik transformatorja	1	25 EUR	Podrobnosti spodaj
Lesena deska	1	15 EUR	Gradbena trgovina
Epoxy šoba	1	20 EUR	https://www.merkur.si/epoksi-smola-za-zalivanje-in-lepljenje/
Elektrode (bakrene žice)	1	2 EUR	https://www.merkur.si/varilni-pribor-rothenberger-palica-za-avtogeno-varjenje-1-5-333mm-20-kos/
3D natisnjen zračni kanal	1	3 EUR	Po meri narejeno (3D sprintano)
žice	/	15 EUR	Trgovina z elektro materialom
vijaki	/	5 EUR	Gradbena trgovina

Tabela 1: Komponente

Priloga 2: Komponente v gonilniku transformatorja

Komponenta	Količina	Cena/kos*	Vsota*	Link
Priključna sponka 2x1 velika	2	0,72 EUR	1,44 EUR	https://www.conrad.si/p/vijacna-prikljucna-sponka-250-mm-stevilo-polov-2-mkds-3-2-phoenix-contact-zelene-barve-1-kos-743302
Priključna sponka 2x1 majhna	2	0,61 EUR	1,22 EUR	https://www.conrad.si/p/vijacna-prikljucna-sponka-150-mm-stevilo-polov-2-mkds-15-2-phoenix-contact-zelene-barve-1-kos-743370
Priključna sponka 3x1 majhna	1	0,90 EUR	0,90 EUR	https://www.conrad.si/p/vijacna-prikljucna-sponka-150-mm-stevilo-polov-3-mkds-15-3-phoenix-contact-zelene-barve-1-kos-743384
Upornik 330R	1	0,07 EUR	0,07 EUR	https://www.conrad.si/p/ogljenoplastni-upor-330-ohm-aksialno-ozicen-0207-025-w-yageo-cfr-25jt-52-330r-1-kos-1417730
Upornik 47R	1	0,07 EUR	0,07 EUR	https://www.conrad.si/p/ogljenoplastni-upor-47-ohm-aksialno-ozicen-0207-025-w-yageo-cfr-25jt-52-47r-1-kos-1417710
Upornik 4R7	1	0,07 EUR	0,07 EUR	https://www.conrad.si/p/ogljenoplastni-upor-47-ohm-aksialno-ozicen-0207-025-w-yageo-cfr-25jt-52-4r7-1-kos-1417676
Zener dioda ZD5	1	0,15 EUR	0,15 EUR	https://www.conrad.si/p/tiru-components-zener-dioda-tc-zpd51-ohisje-polprevodnikov-do-35-zener-napetost-51-v-moc-maks-ptot-507-mw-1581892

Zener dioda ZD20	1	0,17 EUR	0,17 EUR	https://www.conrad.si/p/diotec-zener-dioda-zpd20-ohisje-polprevodnikov-do-35-zener-napetost-20-v-moc-maks-ptot-521-mw-180220
Hladilno telo	1	4,88 EUR	4,88 EUR	https://www.conrad.si/p/fischer-elektronik-sk-96-84-sa-hladilnik-38-kw-d-x-s-x-v-84-x-55-x-28-mm-to-220-top-3-188930
PCB – natiskano vezje	1	5,20 EUR	5,20 EUR	Po meri naročeno iz www.jlcpcb.com (dostop do datotek na: https://zenodo.org/record/4460681)
Ultra hitra dioda UF4007	1	0,32 EUR	0,32 EUR	https://eu.mouser.com/
Tranzistor TIP41C	1	0,57 EUR	0,57 EUR	https://eu.mouser.com/
MOSFET Infineon CoolMOS IPW60R070P6	1	5,91 EUR	5,91 EUR	https://eu.mouser.com/

Tabela 2: Komponente v gonilniku transformatorja

*Cene se lahko spreminjajo, odvisno od nihanj na tržišču

Priloga 3: Koda

Dostop do knjižnice BMP 180: <https://github.com/enjoyneering/BMP180>

Dostop do knjižnice LCD zaslona: <https://github.com/fdebrabander/Arduino-LiquidCrystal-I2C-library>

Uporabili smo kodo na spodnji sliki.

```

1  #include <SFE_BMP180.h>
2  #include <Wire.h>
3  #include <LiquidCrystal_I2C.h>
4
5  LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 20, 4);
6  SFE_BMP180 pressure;
7
8  void setup()
9  {
10     lcd.begin(20, 4);
11     lcd.backlight();
12     lcd.setBacklight(HIGH);
13     lcd.print("REEBOOT");
14     Serial.begin(9600);
15     Serial.println("REEBOOT");
16
17     if (pressure.begin()){
18         Serial.println("BMP180 init success");
19         lcd.setCursor(0,0);
20         lcd.print("BMP180 init success");
21     }
22     else{
23         Serial.println("BMP180 init fail");
24         lcd.setCursor(0,0);
25         lcd.print("BMP180 init fail");
26         while(1); // Pause forever.
27     }
28     lcd.clear();
29 }
30
31 void loop()
32 {
33     char status;
34     double T,P;
35
36
37     status = pressure.startTemperature();
38     if (status != 0)
39     {
40         delay(status);
41
42         status = pressure.getTemperature(T);
43         if (status != 0)
44         {
45             lcd.setCursor(0,0);
46             lcd.print("temperature: ");
47             lcd.print(T,2);
48             lcd.println("C");
49
50             status = pressure.startPressure(3);
51             if (status != 0)
52             {
53                 delay(status);
54                 status = pressure.getPressure(P,T);
55                 if (status != 0)
56                 {
57                     lcd.setCursor(0,1);
58                     lcd.print("pressure: ");
59                     lcd.print(P,2);
60                     lcd.println("mb");
61                 }
62             }
63             else Serial.println("error retrieving pressure measurement");
64         }
65         else Serial.println("error starting pressure measurement");
66     }
67     else Serial.println("error retrieving temperature measurement");
68 }
69 else Serial.println("error starting temperature measurement");
70
71     delay(500);
72     lcd.clear();
73 }

```

Slika 19: koda