



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL  
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

POLÜMEERMATERJALIDE INSTITUUT  
PUIDUTÖÖTLEMISE ÕPPETOOL

## **PUIDU PLASMATÖÖTLUS**

**Bakalaureusetöö**

**Karl Robam**

Juhendaja: Heikko Kallakas,

Puidutöötlemise õppetool, insener

Materjalitehnoloogia õppekava KAOB02/09

Tallinn 2015

Deklareerin, et käesolev bakalaureusetöö, mis on minu iseseisva töö tulemus, on esitatud Tallinna Tehnikaülikooli bakalaureusekraadi taotlemiseks ja et selle alusel ei ole varem taotletud akadeemilist kraadi.

Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud või (avaldamata tööde korral) toodud autorlus välja põhitekstis.

.....

Karl Robam

# SISUKORD

SISSEJUHATUS .....	5
1. PLASMATÖÖTLUSE OLEMUS NING KASUTUS .....	6
2.1. Fotokatalüütilised pinnakatted .....	7
2.2. Optilised pinnakatted .....	7
3. PUIDUPINNA PLASMATÖÖTLUS .....	9
3.1. Koroonatöötlus.....	9
3.2. Puidu märguvuse parandus .....	11
3.2.1. Võimsuse mõju töötlusele .....	12
3.2.2. Aja mõju töötlusele.....	13
3.2.3. Proovide plasmast kauguse mõju töötlusele.....	13
3.2.4. Gaasi mõju töötlusele .....	14
3.2.5. Plasmatöötluse stabiilsus .....	15
4. VAHTRA JA MUSTA KUUSE PLASMATÖÖTLUS .....	16
4.1. Katse seadistus ja diagnostika.....	17
4.2. Tulemused.....	19
4.2.1. Märguvus veega.....	21
4.2.2. Röntgenfotoelektron-spektroskoopia iseloomustus .....	23
4.3. Eksperimendi kokkuvõte .....	24
5. DURAWOOD .....	25
5.1. Kasutatav plasmatehnoloogia .....	25
5.2. Hallituse geneetiline tuvastus .....	26
6. PUIDU ELEKTRILAHENDUS ATMOSFÄÄRIRÕHUL.....	27
6.1. Leiutise iseloomustus.....	27

6.2.	Protsessi parameetrid .....	29
6.3.	Leiutise detailne kirjeldus .....	30
6.3.1.	Puhastamine .....	33
6.3.2.	Liimimine .....	33
6.3.3.	Pinnakatted .....	33
6.3.4.	Säilitamine .....	34
6.3.5.	Pleegitamine .....	34
6.4.1.	Gaasi temperatuur elektrilahendusel .....	35
6.4.2.	Plasmatöötuse tõhususe katse veetilga meetodiga .....	35
6.4.3.	Gaasilahenduse homogeensus .....	37
6.4.4.	Töötus erineva puidu niiskuse korral .....	37
7.	PLASMA SEADMED .....	38
7.1.	Plasmapihusti .....	38
7.2.	Toiteallikas .....	39
7.3.	Pulbri etteandesüsteem .....	40
7.4.	Gaasiliides .....	40
7.5.	Plasmapihustuse kontrollseadmed .....	41
	KOKKUVÕTE .....	42
	KASUTATUD KIRJANDUS .....	43
	SUMMARY .....	45

## SISSEJUHATUS

Puit on üks vanematest taastuvatest ressurssidest, mida inimesed on kasutanud läbi aegade tööriistana, energiaallikana ning peavarjuna. Põhiline probleem puittoodete juures on see, et teatud rakenduste juures jääb nende vastupidavus väikseks ning nende välimus halveneb kiiresti. Tänapäeval on puidu töötlemiseks olemas erinevaid protsesse, nagu näiteks puidu kuivatamine, puidu hüdrotermiline töötlemine, puidu mehhaaniline töötlemine jne. Viimasel ajal on muutunud aktuaalsemaks puidu plasmataotlemine, mis hõlmab endas puidupinna töötlust plasmaga. Viimased paarkümmend aastat on plasmal põhinevad füüsikalised ja keemilised aurustamisprotsessid leidnud rakendust paljudes valdkondades. Tänapäeva uurimus- ja teadustööd keskenduvad samuti atmosfääri plasmale, mis põhineb dielektrilise barjääri tekitamisel. Plasmatehnoloogias on toimunud märkimisväärsed arengud, mille eesmärgiks oli toota kõrge kuumusega allikas, et testida kosmosesõidukite ja raketite kuumuskilpide töökindlust. Plasmataotlus on üldjuhul üsna keerukas protsess, mis vajab teatud erinevaid tingimused, mille abil on võimalik modifitseerida puidupinda vastavalt nõuetele.

Plasmataotlus on efektiivne ja ökonoomiline protsess, mille abil on võimalik muuta puidu erinevaid omadusi, muutes puidupinda näiteks vastuvõtlikumaks erinevate pinnakatete suhtes, milleks võivad olla erinevad lakid ja sideained. Puidu hüdrofiilsed omadused on olnud põhiliseks pikaajaliseks probleemiks, mis on tingitud dimensionaalsest ebastabiilsusest niisketes keskkondades. Plasmataotluse abil saab ka muuta puitu veekindlamaks, mis takistab puidu märgumist ning sellega seoses ka seenhaiguste teket. Märgumise parandus sõltub paljudest tähtsatest teguritest, milleks on näiteks töötlusel kasutatav võimsus, töötamise ajaline kestus, puidupinna kaugus plasmast ja muud.

Käesolevas lõputöös annan ülevaate plasmataotluse protsessist ning sellest, kuidas ja milliseid puidu erinevaid omadusi võimalik muuta on. Teemadeks tulevad veel korona- ja plasmataotlus, nende omapära ning mõju puidupinnale, plasmataotluse mõju puidu märguvusele, leht- ja okaspuu plasmataotluse tulemused ja erinevused, Durawood, puidu elektrilahendusest atmosfäärirõhul ning tavalisemad plasma seadmed.

# 1. PLASMATÖÖTLUSE OLEMUS NING KASUTUS

On teada, et on olemas kolm agregaatolekut, milleks on tahke, vedel ning gaasiline olek. Paljud teadlased peavad plasmata neljandaks agregaatolekuks. Plasma koosneb vabalt liikuvatest elektronidest ja ioonidest. Et saada plasmata, on vaja elektrone aatomitest lahti rebida ning selleks on vaja energiat. Ebapiisava jätkuva energiata võib plasma rekombineeruda tagasi neutraalseks gaasiks. Soojusenergia, mis lisatakse vedelikku, muudab vedeliku vedelaks gaasiks. Kui sellele vedelale gaasile lisada veel soojusenergiat, on võimalik gaas muundada plasmaks. Välg on näide plasma agregaatolekust. Välg ei ole leek, vaid on pigem väga kõrge temperatuuriga energiakiir. Teadmisi plasmast hakati kasutama alles 1960. aastatel, mil NASA kosmoseprogrammiga tegelema hakkas. Märkimisväärsed arengud plasmatehnoloogias saavutati eesmärgil toota suur kuumuse allikas, et katsetada töökindlust kosmosesõidukite ja raketide kuumuskilpidel. [1]

Ligi 40 aasta pärast hakati plasmatehnoloogiaid kasutama üle maailma erinevates tööstusprotsessides, näiteks metalli lõikamine, problemaatiliste keemiliste jäätmete töötlemine ja palju muud. Ainulaadne neljas agregaatolek, plasma, on väga ihaldusväärne soojusallikas käitlemaks radioaktiivseid jäätmeid. Radioaktiivseid jäätmeid on võimalik töödelda tänu plasma kõrgele temperatuurile (~10000 °C). Anorgaanilised materjalid sulatatakse klaasjaks räbuks ning orgaanilised ained aurustatakse jääkgaasiks ning seejärel oksüdeeritakse järelpõletiga. [1]

Viimased paarkümmend aastat on plasmal põhinevad füüsikalised ja keemilised aurustatusprotsessid leidnud rakendust paljudes valdkondades. Impulss plasma mängib olulist rolli teaduses ja tööstuses juba ligi 20 aastat. Impulss magnetronseadmed on avanud ukse stabiilsete pikaajaliste isolatsioonimaterjalide sadestumisele suurtele pindadele. Suure võimsusega impulss magnetronsadestamine (HIPIMS) on võti väga kõrgetele plasma tihedustele ning seega parematele kile struktuuridele. Tänapäeva teadustöö keskendub ka atmosfääri plasmale, mis põhineb dielektrilise barjääri tekitamisel. Tüüpilisteks rakendusteks on puhastamine või paksude pindade modifitseerimine, kuid samuti ka õõnsate mikroosakeste sisepindade töötlemine. [1]

Õhukesed kiled on muutnud tänapäeva maailma ja võib eeldada, et tulevikus võivad nad endaga pidevalt kaasa tuua uusi ning huvitavaid arenguid. Aknaklaasid, millel on võimalik muuta päikese läbilaskvust või mis ennast ise puhastavad on vaid kaks näidet sellise arengu kohta. Viimased 40 aastat on pindade plasmatootlus olnud oluliseks tehnoloogiaks paljudele erinevatele tööstusharudele. Pinnatöötluste tehnoloogiad parandavad mitmete materjalide, valmis- või pooltoodete omadusi. Innovatsioonid nagu laserplaat (CD), digitaalne universaalketas (DVD), suured kuvarid või õhukeste kiledega päikeseplatereid ei eksisteeriks tänapäeval ilma õhukese kile tehnoloogiata. Tihedate suuremahuliste plasmade sadestamise protsess õhukese kilena eri suurustega ja kujudega pindadele on jätkuv väljakutse. Viimaste aastate jooksul on uuritud paljusid uusi kilesid, näiteks fotokatalüütiline titaandioksiid, läbipaistvad elektri- või soojusjuhtivad oksiidid ning boornitriil. Paljud looduses esinevad pinnad, puidupinnad, on näiteks tänapäeval toodetavatele intelligentsetele pindadele ning nende pindade uurimine on oluliseks uurimisteenaks lähitulevikus, kuna tulevikus võivad nad endaga kaasa tuua märkimisväärseid arenguid. [1]

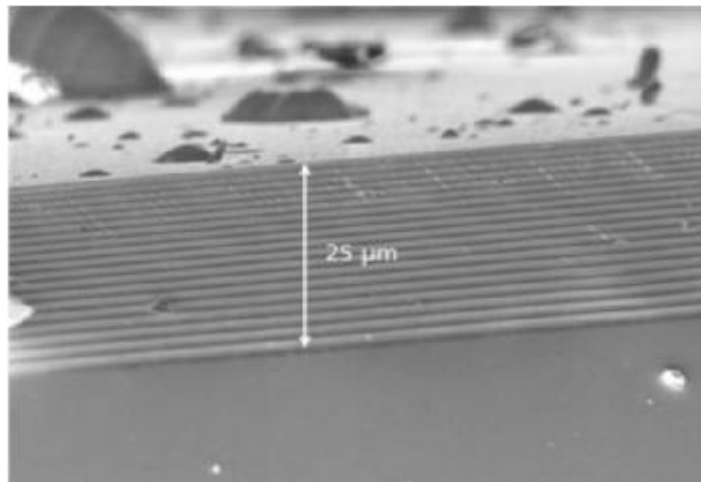
## **2.1. Fotokatalüütilised pinnakatted**

Titaaniumdioksiidi anataasi kiled näitavad valguse hüdrofiilsust ning orgaaniliste materjalide lagunemist. Fotokatalüütiliselt aktiivsetel pinnakatetel on arvukalt kasutusalasid, alustades isepuhastuvast pinnast ning lõpetades vee või õhu töötlemisega. Aluspindadeks võivad olla klaas (prillid, autopeeglid), polümeer (aknaraamid, köögimööbel), keraamika (plaadid), metall (ukselingid, meditsiiniaparaadid) või puit (mööbel, tapeet). Fraunhoferi fotokatalüüsi liit (Fraunhofer Photocatalysis Alliance) uurib selliseid pinnakatteid, mis on valmistatud erinevate vaakumite abiga või atmosfäärisadestuste meetoditega, et parandada nende suutlikkust. [2]

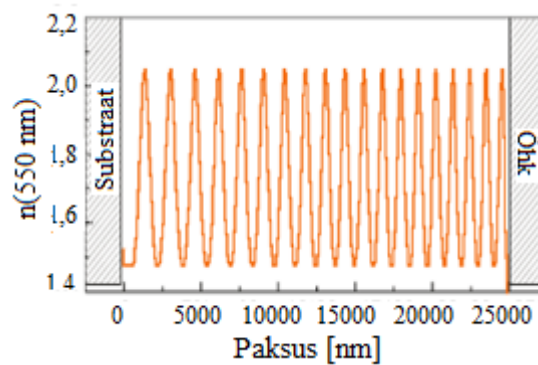
## **2.2. Optilised pinnakatted**

Tänapäeval sobib magnetronsadestamine suure täpsusega optiliste pinnakatete sadestamiseks laiaribalistele peegeldumisvastastele kiledetele, täpsuspeeglitele või filtritele. Optilisi

interferents katted saab sadestada polümeerikiledele laiusena vahemikus 1 meeter ja rohkem. Näitena on joonisel 1 näha SEM (skaneeriv elektronmikroskoop) ülevaadet niinimetatud *rugate* filtrist. See koosneb kõrge ja madala indeksiga osadest, milleks on tantaal ja ränioksiid, ning need on sadestatud üheaegselt kahelt keraamiliselt katoodilt. Sellise filtri omadused moodustavad siinusjoonelise modulatsiooni murdumisnäitaja kohta, mida on ka näha joonisel 2. [2]



Joonis 1. *Rugate* filter. [2]



Joonis 2. *Rugate* filtri murdumisnäitaja siinusjooneline modulatsioon. [2]



### 3. PUIDUPINNA PLASMATÖÖTLUS

Puit on üks vanematest taastuvatest ressurssidest, mida inimesed on kasutanud läbi aegade tööriistana, energiaallikana ning peavarjuna. Puit on keerukas looduslik materjal, mis esindab komposiidikogumi printsiipe. Selle põhikomponendid on tselluloos, hemitselluloos ning ligniin, millega kaasnevad madala molekulmassiga ühendid ja mineraaloolad. Puidule leidub mitmeid rakendusi, sageli sõltub kasutusala konkreetsest puuliigist, sest puuliik määrab ära materjali tähtsamad omadused, nagu näiteks mehaaniline tugevus, töödeldavus ning väljanägemine. [3]

Puidu hüdrofiilsed omadused on olnud põhiliseks pikaajaliseks probleemiks ning see on enamjaolt tingitud dimensionaalsest ebastabiilsusest niisketes keskkondades. Lisaks on puidu puudusteks veel puidu fotolüütiline tundlikkus ning bioloogiline lagunemine. Teadlased ning tehnoloogid on üritanud neid puuduseid ületada, kasutades eritöötlust, olgu see siis termiline, keemiline, ensümaatiline või füüsikaline töötlemine. [3]

#### 3.1. Koroonatöötlus

Koroonatöötlust kasutatakse puupindade töötlusel eesmärgiga suurendada puidu märguvust (vee ja teiste orgaaniliste vedelike suhtes), adhesiooni (erinevate lakkide ja sideainetega) ning puidu kokkusobivust polüolefiinidega. [3]

Koroonatöötlus kanti peale erinevatele puidutükkidele (kask (*genus Betula*), tiikpuu (*Tectona grandis*), mänd (*genus Pinus*)) ning töödeldud pindade märguvust mõõdeti märgumisnurga järgi. Märgumisnurk vähenes 90° kraadilt vähem kui 40° kraadini ning veepõhiste lakkide suhtes paranes ka puidu adhesioon. [3]

Kaske töödeldi hapniku plasmaga nii heksametüüldisiloksaani (HMDSO) juuresolekul kui ka puudumisel ning uuriti aatomjõumikroskoopiaga (AFM), et teada saada, kuidas käitub

puidupind kokkupuutel polüpropüleeniga. Uurimise all selle meetodi juures olid märgumisnurk ning adhesiooni tugevus. Kui kase töödeldi ainult hapnikuga optimaalse ajaga, milleks on 60 sekundit, vähenes märgumisnurk  $90^\circ - 50^\circ$  ning pinnaenergia polaarsed komponendid suurenesid  $12 \text{ mJ m}^{-2}$  kuni  $40 \text{ mJ m}^{-2}$ . Viie minutilise HMDS plasmatöötuse käigus saavutati suurem adhesioon töödeldud pinna ja polüpropüleeni vahel. AFM näitas, et polümeer jäljendas kase pinna kõverust, moodustamata pidevat kilet. [3]

Katsetati ka kollase männi pinda hapniku plasmatöötusega, et vähendada selle degradeerumist ilmastiku mõjul. Kasutati erinevaid plasmakihte – polüdimetüülsiolksaan (PDMS), bensotriasoole/BDMS, ZnO/PDMS, hüdrosübensofenoon/PDMS, ftalotsüaniin/PDMS ja grafiit/PDMS. ATR-FTIR (Nõrgendatud peegeldus Fourier 'infrapunaspektroskoobiga) ja XPS (Röntgenkiirguse fotoelektronide spektroskoopia) analüüsid näitasid, et pookimise esinemine ja viimane kattekiht olid kõige tõhusamad stabilisaatorid massi kaotuses ilmastikumõjude katsetes. [3]

Kuuse pinda töödeldi samuti hapnikuplasma ja koroona, et suurendada selle adhesiooni erinevate katematerjalidega ning uurida puidu vastupidavust erinevates ilmastikutingimustes. Selles uuringus varieeriti erinevaid parameetreid ning katsetati töödeldud substraadi märguvust, mis viis järgmiste nõueteni: töötusprotsess peab kestma 5 minutit, plasma võimsus peab olema 600 W ning proovide ja plasmavaheline kaugus peab olema 28 cm, kasutades hapnikku või õhku plasmagaasina. Optimaalne koroona pinge oli umbes 15 kV, mis vähendas puidu märgumisnurka  $115^\circ$  kraadilt vähem kui  $15^\circ$ -ni. Hüdrofoobset või hüdrofiilset puidupinda saab luua ka külma plasmatöötusega, sõltuvalt gaasist.[3]

Külm plasmatöötus hõlmab endas plasma tekkimist madalal temperatuuril ja rõhul, mille tulemusena tekib ioniseeritud ala, mille tulemusena on palju väiksem osa gaasist ioniseeritud. Ioniseeritud ala sisaldab ioone, kõrge energiaga footoneid, elektrone, radikaale ja muid ergastatud osakesi. Elektroni temperatuur plasmal võib ulatuda kuni 5000 K, kuna plasmatöötus protsess toimub vaakumis ning osakestihedus on madal, on suurem osa temperatuurist võrdne ümbritseva keskkonna temperatuuriga. [3]

### 3.2. Puidu märguvuse parandus

Puidu pinnakatted, mis on mõeldud vastu pidama erinevates ilmastikuoludes, omavad teatud vastupidavust, kuid see on üldjuhul üsna väike, eriti siis, kui tegemist on värviga. Kõige enam tuleneb pinnakatte degradiatsioon puidu dimensioonilisest variatsioonist, mis pingestavad pinnakatet ning viivad selle purunemiseni. Puidu pinnakatete eluiga saab suurendada erinevatel viisidel:

- Kattekihi paindlikkuse täiustamine – Seda võib saavutada vähendades klaasistumistemperatuuri madalamaks kui kasutustemperatuur, kuid sel juhul on pinnakate tundlikum veele.
- Puidu dimensionaalne stabiliseerimine – Termilised ja keemilised töötused, nagu näiteks atsetüülimine ja anniilimine, on tõhusad, kuid enamik neist vähendavad puidupinna märguvust, mistõttu puidu ja pinnakatte vahel tekkiv adhesioon ei ole tagatud. [4]

Pinnatöötlus on hea viis märguvuse suurendamiseks, mis omakorda parendab pinnakatte adhesiooni, ning samuti ka märguvuse vähendamiseks, et tagada suurem kaitse. Seetõttu ongi plasma- ja koroonatöötlust rakendatud puidule kahel viisil:

- Esimene meetod hõlmab endas puidupinna märguvuse suurendamist, et suurendada pinnakatte adhesiooni, eriti pärast termilist töötlemist. Katse seisneb töötuse parameetrite valimisel (gaasitüüp, töötuse kestvus, võimsus), mis tagab puidupinna paremad omadused enne ja pärast termilisi töötusi. Plasma- ja koroonatöötused on tõhusad tõstmaks puidu märgavust.
- Teine meetod hõlmab endas puidupinna märguvuse vähendamist, et tagada pinna veekindlus. On läbi viidud mõned katsed, kus on üritatud puidupinnale paigutada õhuke kile (etüleen- või fluoripõhised) plasma- või koroonatöötlusel. Selliseid kilesid saab peale kanda nii puhtale puidule kui ka puidule, mis on kaetud madala klaasiirdetemperatuuriga pinnakattega. [4]

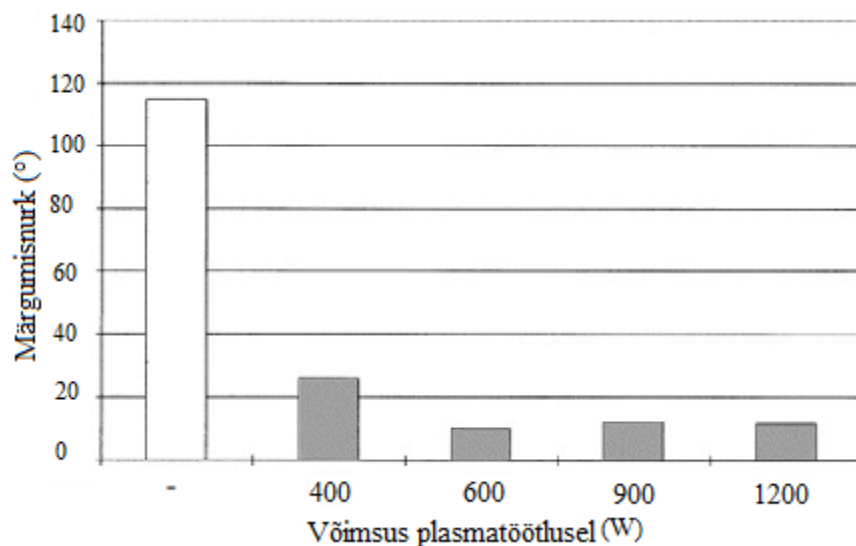
Plasmatöötlust loetakse väga tõhusaks meetodiks parendamiseks erinevate polümeeride pindade omadusi, nagu näiteks nende märguv käitumine ning adhesioon. Plasmatöötlus parandab puidupinna omadusi, eriti kui puidu märgavus on madal keemiliste ja termiliste töötuste tulemusel. [4]

Plasmatöötusega on Lyonsis tegelenud Institute for the French textile industries (*Institut Textile de France*). Plasmatöötusest tulenevaid omadusi on uurinud Centre Technique du Bois et de l'Ameublement (Technical centre for wood and furniture). Esimesed katsed põhinesid töötuse parameetrite uurimisel, mis omakorda viis puidupinna omaduste parendamiseni. Nendes katsetes kasutatud puiduks oli kuusk. [4]

### 3.2.1. Võimsuse mõju töötusele

Puidule kanti hapniku plasmat võimsusel 400-1200 W. Töötusajaks oli 5 minutit, rõhk oli 0,08 mbar (8000 Pa) ja proovi kaugus plasmast oli 44 cm. [4]

Pärast töötust pandi proovid kliimaseadmega ruumi (20 °C ja suhteline õhuniiskus 65%) ning varjati valguse eest. Märgumisnurgad mõõdeti 15 päeva pärast töötusprotsessi. Tulemused on joonisel 3. Pärast mõõtmisi oli näha, et märgumisnurk oli vähenenud peale plasmatöötust (puitu oksüdeeritakse nagu sünteetilisi polümeere). Väärtused olid erinevate võimsuste juures väga lähedased. Järgmistel katsetel oli võimsuseks määratud 900 W. [4]

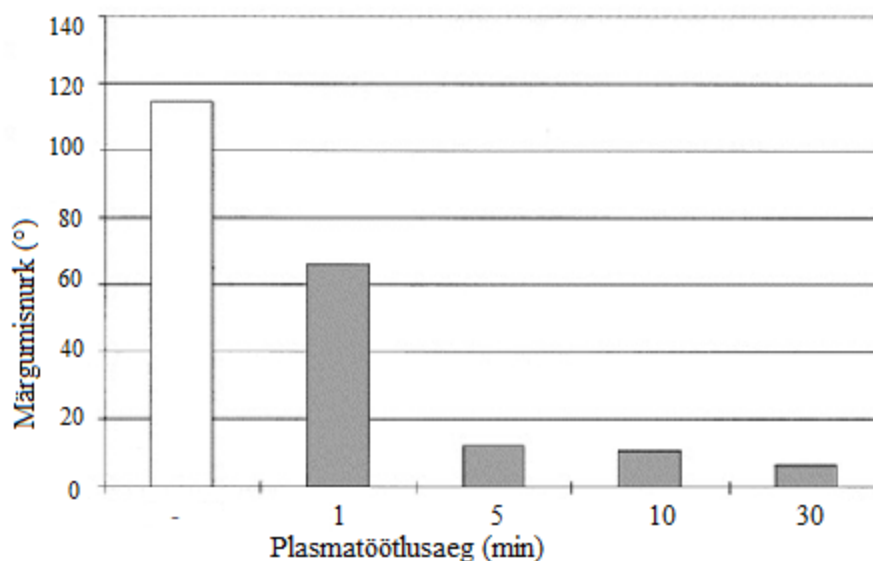


Joonis 3. Võimsuse mõju märgumisnurgale. [4]

### 3.2.2. Aja mõju töötlusele

Puidule kanti hapniku plasmata töötlusajaga 1-30 minutit, võimsus oli 900 W, rõhk oli 0,08 mbar ja proovi kaugus plasmast oli 44 cm. [4]

Märgumisnurgad mõõdeti 15 päeva pärast töötlusprotsessi. Tulemused on näha joonisel 4. Tulemustest on näha, et mida pikem on töötusaeg, seda väiksemaks märgumisnurk läheb. Märgumisnurk muutub stabiilsemaks 5 minutist alates, sellepärast on ka järgmised katsed tehtud töötlusajaga 5 minutit. [4]

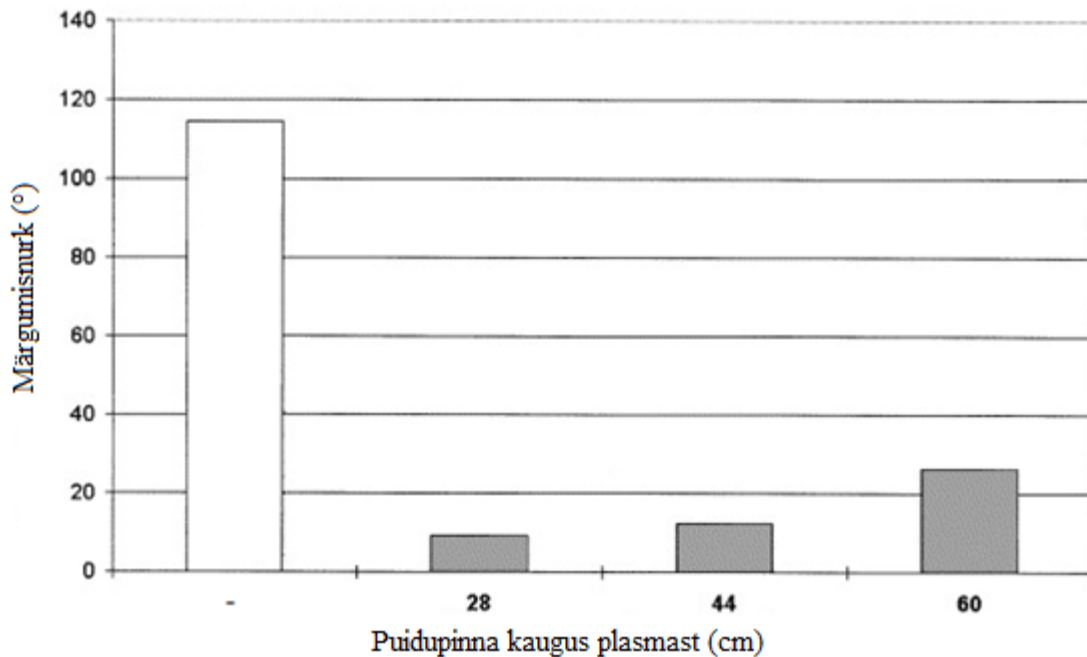


Joonis 4. Aja mõju märgumisnurgale. [4]

### 3.2.3. Proovide plasmast kauguse mõju töötlusele

Puitu töödeldi plasmaga hapnikukeskkonnas töötlusajaga 5 minutit, võimsus oli 900 W, rõhk oli 0,08 mbar ja proovi kaugus plasmast varieerus vahemikus 28-44 cm. [4]

Märgumisnurgad mõõdeti 15 päeva pärast töötlusprotsessi. Tulemused on näha joonisel 5. On märgata, et puidu märgavus väheneb järjest rohkem, mida kaugemal on proov plasmast. Tulemused on peaaegu sarnased 28 cm ja 44 cm juures. Järgmised katsed viidi läbi kauguse 44 cm juures. [4]

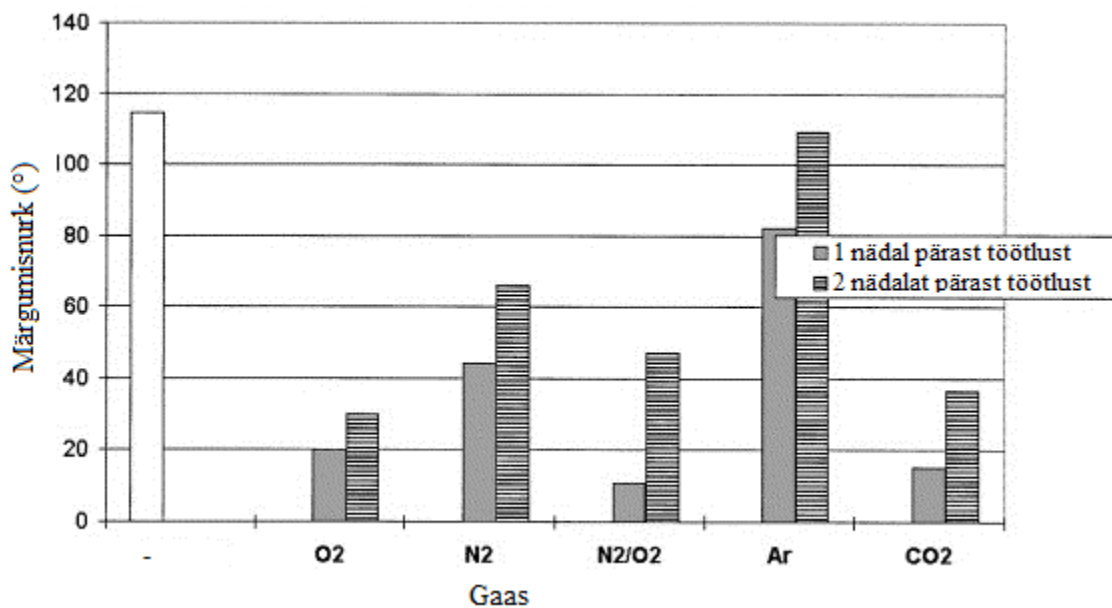


Joonis 5. Puidupinna ja plasma vahekauguse mõju märgumisnurgale. [4]

### 3.2.4. Gaasi mõju tötlusele

Selles katses kasutati erinevaid gaase, nii puhtalt kui ka õhuga segatult. Töötlusajaks oli 5 minutit, võimsus oli 900 W, rõhk oli 0,08 mbar (8000 Pa) ning proovi kaugus plasmast oli 44 cm. [4]

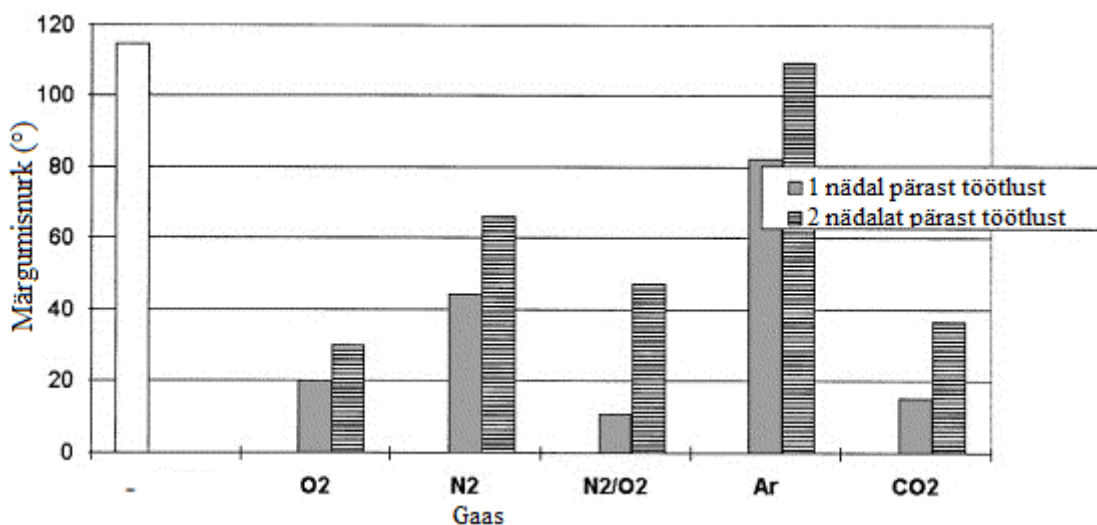
Märgumisnurgad mõõdeti nädal pärast töötlust. Tulemusi on näha joonisel 6. Hapnik, lämmastik ning süsinikdioksiid annavad häid tulemusi. On ka näha, et ammoniaaki kasutades on tulemuseks märgumisnurga suurenemine. Hapnikuga segatult, argoon ja lämmastik saavutavad väikse märgumisnurga, peaaegu sama, mis ainult hapnikuga töötlemisel saavutati. Kui hapnikule lisada  $\text{NH}_3$ -e, siis on näha, et puidupinna omadused muutuvad paremaks, kui võrrelda seda tavalise  $\text{NH}_3$ -ga. [4]



Joonis 6. Gaasi mõju märgumisnurgale. [4]

### 3.2.5. Plasmatöötuse stabiilsus

Järgmised tulemused on saadud pärast teist märgumisnurga mõõtmist, mis toimus 2 nädalat pärast töötlust. Tulemuste põhjal (Joonis 7) on näha, kuidas on puidupinna stabiilsus vastu pidanud erinevate gaasidega töötlustel. On näha, et N<sub>2</sub>/O<sub>2</sub> töötlus saavutab parema märgavuse, kuid on väga ebastabiilne. [4]



Joonis 7. Gaasi mõju märgumisnurgale. [4]

## 4. VAHTRA JA MUSTA KUUSE PLASMATÖÖTLUS

Viimaste aastakümnete jooksul on puidutööstus seisnud silmitsi mitmete väljakutsetega, sealhulgas ka majanduskriis, arenev majandus ning asendustoodete ilmaletulek. Põhiline probleem puittoodete juures on see, et teatud rakenduste juures jääb nende vastupidavus väikseks ning nende välimus halveneb kiiresti. On loodud erinevaid uusi pinnakatteid, et nendest limitatsioonidest kõrvale hoiduda, kuid aeg on ikka näidanud, et need pinnakatteid iseloomustab halb adhesioon puidupinna suhtes. Kõige tavalisem viis parandamiseks puidupinna adhesiooni on lihvimine. Värskest lihvitud puidupind on selgelt suurema adhesiooniga, kui seda võrrelda tavalise vanema puidupinnaga. Vananemise käigus migreeruvad hüdrofoobsed puidu ekstraktiivaine pinnale ja seega väheneb pinnaenergia. [5]

Üks viis puidupinna adhesiooni parandamiseks on külmade plasmade kasutamine. Sellel protsessil on üks eriline eelis, mis põhineb sellel, et külma plasmaga töötlemine mõjutab ainult pinnalähedast piirkonda, jättes üldomadused mõjutamata. Kui võrrelda seda protsessi teiste tötlusprotsessidega, nagu näiteks kuumtöötlemine, siis on näha, et tegemist on parema pinnatötlusprotsessiga. [5]

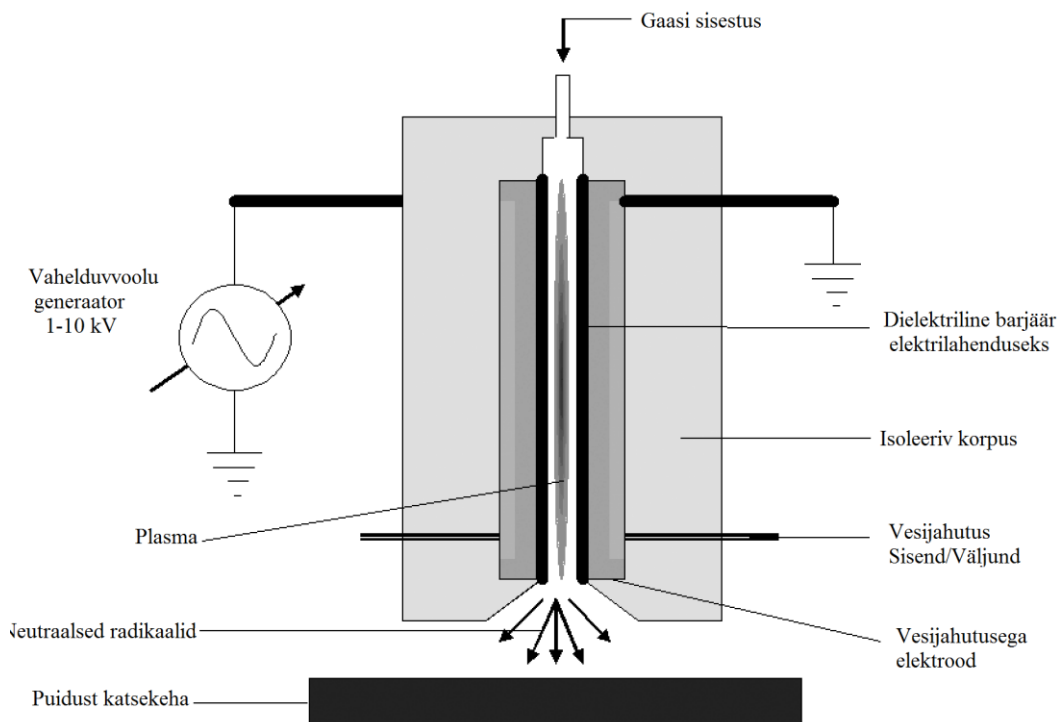
Madala temperatuuriga plasmad on juba kasutuses paljudes tehnoloogiavaldkondades, nagu näiteks mikroelektronika, pakendamine, biomaterjalid, dekoratiivsed ja funktsionaalsed katted, seega see on suhteliselt uus tehnoloogia puidutööstusele. [5]

Järgnevates katsetes on näha, kuidas must kuusk ning suhkruvahter muudavad oma omadusi atmosfäärirõhulisel dielektrilisel-barjäärilahendusel (edaspidi DBD). Nendes katsetes pannakse erilist rõhku gaaside mõjule, milleks on näiteks argoon (Ar), hapnik (O<sub>2</sub>), süsinikdioksiid (CO<sub>2</sub>), lämmastik (N<sub>2</sub>) ja nende segud. Plasma indutseeritud pinnatötlust iseloomustab nii makroskoopiline kui ka mikroskoopiline diagnostika, sealhulgas puidu ja katematerjali adhesioon, märguvus ning röntgenfotoelektron-spektroskoopia. [5]



## 4.1. Katse seadistus ja diagnostika

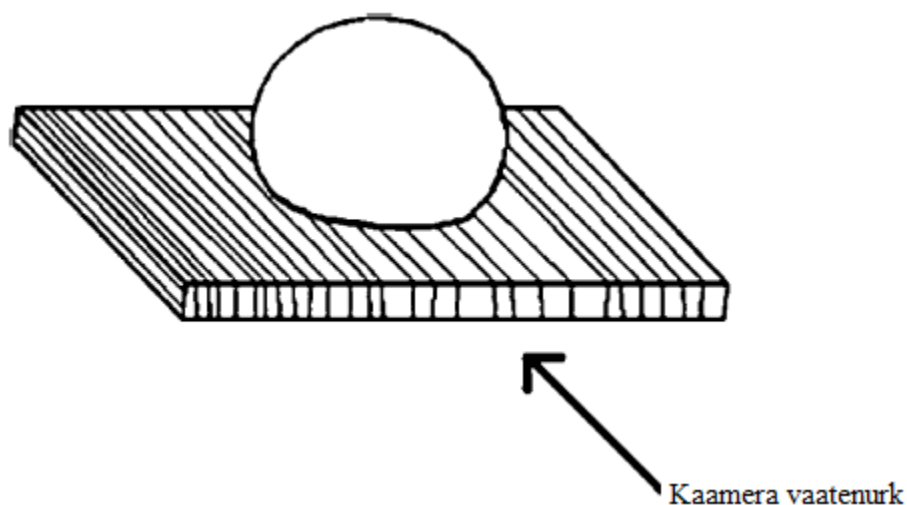
Joonis 8 on skeemjoonis, kus on näha atmosfäärirõhu juures puidu töötlemisel kasutatud dielektrilise barjääri elektrilahendust. Kvartsiga kaetud elektroodide pindala on  $\sim 285 \text{ cm}^2$  ja on teineteisest 1,4 mm kaugusel. Elektrilahendust juhib vahelduvvoolu generaator, mis on ühendatud võimendiga. Käesolevas katses on sagedus 9 kHz. Võimendi väljund on ühendatud pinget tõstva impulsstrafoga. Selles seadistuses võib pinge varieeruda vahemikus 0-8,4 kV. Näiteks pinge, mida kasutatakse Ar plasma säilitamiseks, oli seadistatud 2,2 kV peale. Kõrgemaid pingeid ( $\sim 8 \text{ kV}$ ) kasutati molekulaarsete gaaside korral ( $\text{O}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$ ). Kogu vooluhulk igal katsel oli 50 l/min. See voolukiirus oli piisav, et saavutada hea plasma juga. Nagu on näha joonisel 8, liigutati substraadid plasma alale konveieril, mille kiiruseks oli 1,5 cm/sek. Katsekehad puutusid plasmaga kokku 3 korda, et kogu töötlusprotsessi ajaks oleks 1 sekund. Erinevalt teistest DBD seadistustest, mida kasutatakse puidupindade modifitseerimiseks, ei liigu käesolevas katses substraadid elektroodide vahel, vaid nende külgedel. See on vägagi huvitav tööstuslikust seisukohast, sest sellel meetodil saab töödelda ka paksemaid puiduproove, muutmata elektrilahenduse vahekaugust ning seega ka plasma omadusi. [5]



Joonis 8. Atmosfäärirõhulise plasma allika korral kasutatava dielektrilise barjääri skeem. [5]

Nagu ka eespool mainitud, puidupinnad, mida uuriti, olid must kuusk (*Picea mariana*) ning suhkruvaht (*Acer saccharum*). Kõikidel katsetingimustel kasutatud katsekehad pärinesid samalt plangult ning olid lõigatud pikisuunas. Enne igat töötlust hoiti proove üks nädal temperatuuril 20 °C ja 65% suhtelise niiskuse juures ning neid oli lihvitud liivapaberiga, mille karedus oli K 150. Iga seeria koosnes kümnest proovist, kõikide proovide mõõtmed olid järgmised: 4 mm paksus, 85 mm pikkus, 100 mm laius. [5]

Nakkekatses kanti igale puiduproovile pärast plasmatöötlust peale veepõhine UV mõjul kõvenev polüuretaanis/ polüakrülaadist vaigukiht. Esimeses etapis kanti ruudukujulise aplikaatoriga puidule peale katematerjal, paksusega 60 µm, ning seejärel kuivatati katsekehi 60 °C juures 10 minutit, et tagada vee aurustumine ning polüakrülaadi ristsidumine. Teises etapis eksponeeriti katsekehi UV kiirgusele (Sunkist elavhõbeda lamp/UVA = 53 J/m<sup>2</sup>), et tagada polüuretaani ristsidumine ning lõpetada kõvenemisprotsess. Katte adhesiooni mõõdeti sarnaselt protokollile ASTM D4541-02 katsemeetodiga (nakke adhesiooni tester). See meetod hõlmab alumiiniumist pukseerimisaluste liimimist, kasutades epoksüvaik, mille kõvenemisajaks on 24 h. Katte eemaldamiseks vajaminevat koormust mõõdeti tõmbekatseseadmega (500 kN MTS Hydraulic Testing Machine), mille kiiruseks oli 7 mm/min ning mille koormusandur oli 5 kN. Adhesiooni määrati 28 nakkekatses keskmise väärtusega. Märguvust veega analüüsiti märgumisnurga mõõtmisega, mis on väljakujunenud tehnika puiduproovide korral. Mõõtmised viidi läbi märgumisnurga mõõteseadmega First Ten Ångstroms 200 Dynamic Contact Angle Analyzer enne ja pärast igat plasmatöötlust. Iga proovile kanti 10 sessiilset veetilka. Märgumisnurgad mõõdeti CCD (charge-coupled device) kaameraga aja funktsioonina. Nagu on näha joonisel 9, tilgavaatlus viidi läbi pikisuunas puidukiudu. [5]



Joonis 98. Märgumisnurga vaatenurk. [5]

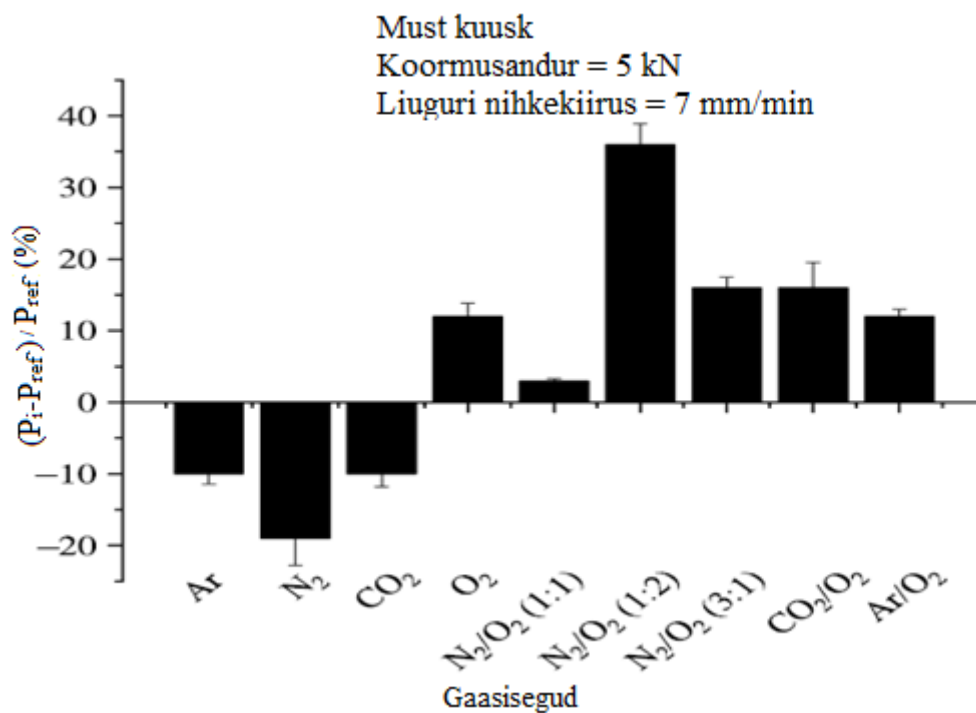
Röntgenfotoelektron-spektroskoopiaga (X-ray Photoelectron Spectroscopy) uuriti valitud puidu substraatide keemilist koostist, kasutades PHI 5600-ci-spektromeetrit (Physical Electronics, Eden Prairie, MN). Neutralisaatoriga monokroomse alumiiniumi röntgenkiirguse allikat (1486,6 eV), mille võimsuseks oli 300 W, kasutati uuringu spektrite salvestamiseks, samal ajal kui kõrge resolutsiooniga spektrid saavutati monokroomse alumiiniumi röntgenkiirguse allikaga (1253,6 eV) 300 W juures ilma laengu neutralisatsioonita. Spektrid registreeriti nurga all 45° proovi pinnaga. [5]

## 4.2. Tulemused

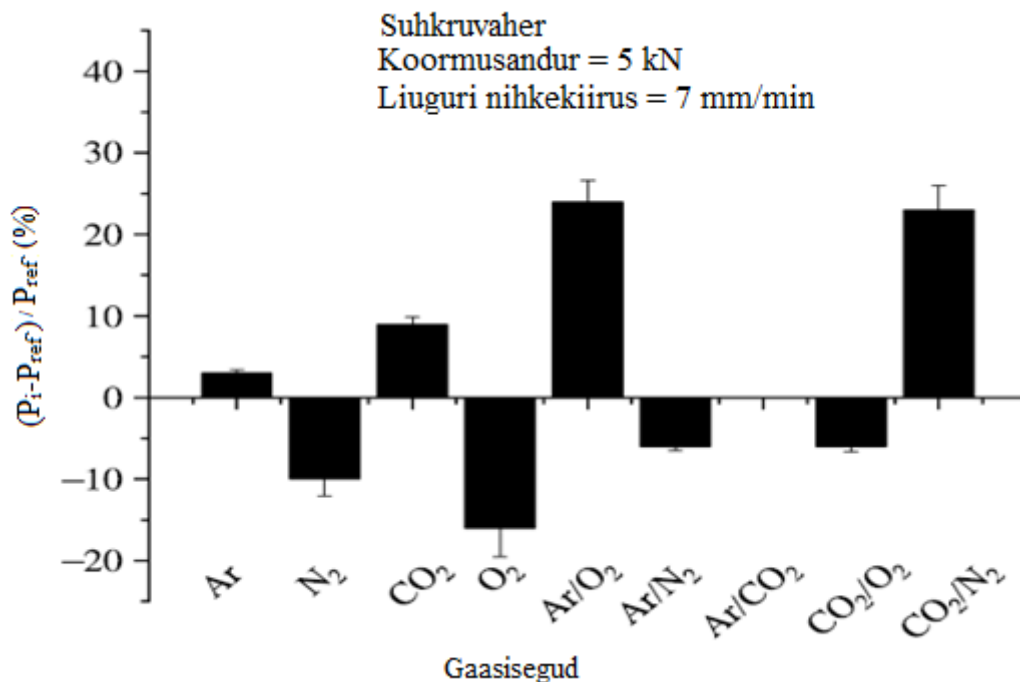
Veepõhiste polüuretaani/akrülaadi katete nakketugevusi puiduga pärast erinevaid plasmatöötluste on näha joonisel 10 musta kuuse ning joonisel 11 suhkruvahtra kohta. Need numbrid näitavad katte/puidu adhesiooni paranemist protsentuaalselt võrreldes töötlemata pinnaga. Negatiivne väärtus tähendab katte/puidu adhesiooni halvenemist. Joonisel 10 on näha, et nominaalselt puhastel Ar, N<sub>2</sub> ja CO<sub>2</sub> plasmadel kipub olema negatiivne mõju katte/musta kuuse adhesioonile. Seevastu on täheldada 16% suurenemist pärast kokkupuudet nominaalselt puhta O<sub>2</sub> plasmaga. Nende tulemuste põhjal hakati uurima ka O<sub>2</sub> segusid Ar, N<sub>2</sub> ja CO<sub>2</sub>-ga. Joonisel 10 on näha, et N<sub>2</sub>/O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>/O<sub>2</sub> ning Ar/O<sub>2</sub> puidu töötlustel on positiivne mõju katte/musta kuuse adhesioonile. On näha, et kõigist segudest kõige suurema (36%) positiivse mõjuga N<sub>2</sub>/O<sub>2</sub>. [5]

Suhkruvahtra puhul on näha joonisel 11, et nominaalselt puhtad gaasid, nagu näiteks O<sub>2</sub> ning N<sub>2</sub>, vähendavad adhesiooni, samas Ar ja CO<sub>2</sub> plasmad suurendavad seda vastavalt kuni 4% ja 10%. Nende tulemuste põhjal hakati uurima Ar ja CO<sub>2</sub> lisamist O<sub>2</sub> ning N<sub>2</sub>-le. Joonisel 11 on näha, et katte/suhkruvahtra adhesioon suurenemist kuni 25% on võimalik saavutada kasutades Ar/O<sub>2</sub> (1:1) (gaasisegus oleva gaasikomponendi suhteline osamass) ning CO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> (1:1) plasmad. [5]

Kokkuvõttes, arvestades jooniste 10 ning 11 tulemusi, võib järeldada, et teatud puiduliigile, katte/puidu adhesioon sõltub suurel määral töötlusel kasutatud gaaside segust. Lisaks sellele, tingimused, mis on vajalikud saavutamaks maksimaalset adhesiooni katte ja puidu vahel, erinevad eri puiduliikide korral. [5]



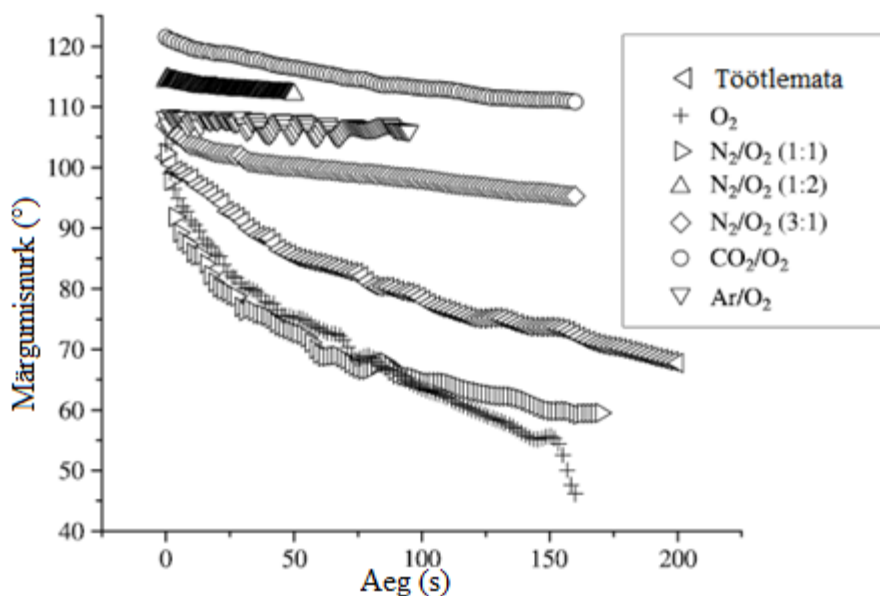
Joonis 9. Katte-puidu adhesioon pärast musta kuuse plasmatöötlust. Väärtused on arvatud vastavalt töötlemata näidise andmetele ( $P_{ref}$ ).  $P_i$  tähistab jõudu, mida on vaja, et katet eemaldada plasmaga töödeldud puidult. [5]



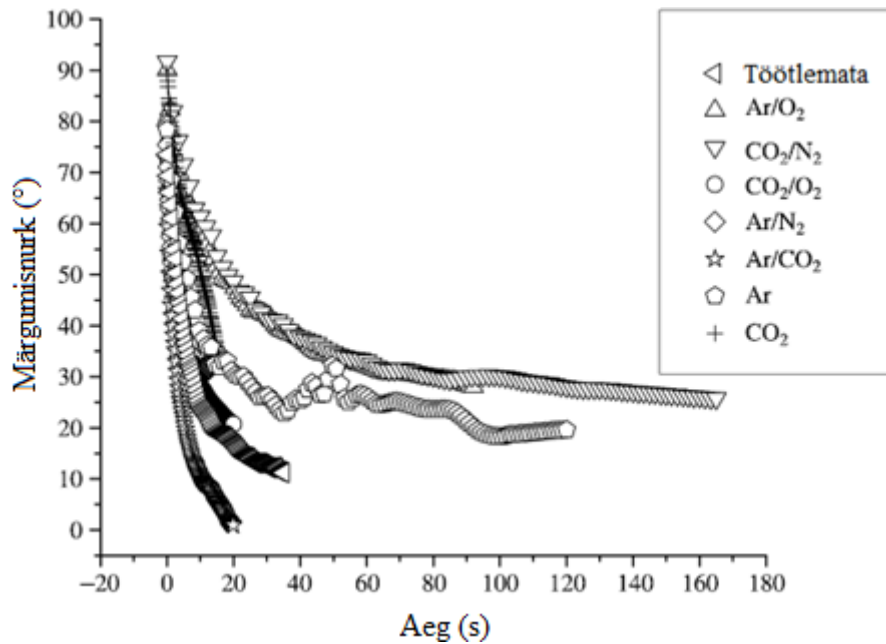
Joonis 11. Katte-puidu adhesioon pärast suhkruvahtra plasmatöötlust. Väärtused on arvatud vastavalt töötlemata näidise andmetele ( $P_{ref}$ ).  $P_i$  tähistab jõudu, mida on vaja, et katet eemaldada plasmaga töödeldud puidult. [5]

### 4.2.1. Märguvus veega

Et saada aru adhesiooni katsete tulemustest, määrati puidu märguvus, mis on vajalik tingimus, et saavutada hea adhesioon, märgumisnurga abil. Veega märguvuse katsete tulemusi, pärast erinevaid plasmatöötlust, on näha joonisel 12 musta kuuse kohta ning joonisel 13 suhkrumahtra kohta. Mõlemal joonisel esitatakse keskmise märgumisnurga tulemused ajafunktsioonina. Iga töötluste korral interpoleeriti/ekstrapoleeriti aja-teljele 10 kõverat, et saavutada sama x-telje vahemik kõigi kõveratega, ning seejärel keskmistati. Joonisel 12 on näha, et töötlemata kuuseproovi märgumisnurk vähenes  $100^\circ$  peal  $70^\circ$ -ni umbes 200 sekundiga. Võrdluseks, töötluste  $N_2/O_2$  (1:2),  $N_2/O_2$  (3:1),  $Ar/O_2$  (1:1) ning  $CO_2/O_2$  plasmades suurendasid märgumisnurka kuni  $120^\circ$ , samas vähendades oluliselt ajast sõltuvust ( $d\theta/dt \rightarrow 0$ ). Need tulemused näitavad, et musta kuuse pind saavutab kõrge hüdrofoobsuse pärast sellist töötlust. Suhkrumahtra korral on näha joonisel 13, et märgumisnurk varieerub töötlemata proovil vahemikus  $70^\circ$ - $10^\circ$  40 sekundi jooksul. Töötluste  $CO_2/N_2$  (1:1),  $Ar/O_2$  (1:1),  $CO_2$  ja nominaalselt puhta  $Ar$  plasmaga vähendavad lagunemise kiirust, mis tähendab, et pind muutub aina rohkem hüdrofoobseks. Ühendades joonistel 10-13 olevad tulemused, on näha tendentsi: puidupinnad, mis muutuvad pärast plasmatöötlust hüdrofoobsemaks, saavutavad parema katte- ja puiduvahelise adhesiooni. [5]



Joonis 1210. Plasmaga töödeldud musta kuuse märgumisnurga sõltuvus ajast. [5]



**Joonis 1311. Plasmaga töödeldud suhkruvahtra märgumismurka sõltuvus ajast. [5]**

Paljudes kirjanduses esitatud uuringutes on plasmatöötlust kasutatud puidupinna märguvuse omaduste suurendamiseks, eesmärgiga parandada nakketugevust liimi ja puidu vahel. Eeldatakse, et vähendatud märguvus hoiab ära liimi kerge tungimise puitu ning seega ka vähendab see ristsidemete tõhusust. Selles uuringus kasutatavad veepõhised uretaani/akrülaadi katted on amfipaatsed ühendid, mis tähendab, et see on nii hüdrofoobsete kui ka hüdrofiilsete komponentide emulsioon. Pärast vee aurustumist muutub kate hüdrofoobsemaks ja selle ühilduvus hüdrofoobsete pindadega suureneb. Seega suurenenud adhesiooni pärast musta kuuse  $N_2/O_2$  plasmatöötlust ning suhkruvahtra  $Ar/O_2$  ja  $CO_2/N_2$  plasmatöötlust saab seletada mõlema pinna vähem hüdrofiilsete omadustega pärast töötlust. Sarnase seose tuletas ka Petric jt., kes uuris kuumustöötamise mõju veepõhise polüakrülaadi kattega hariliku männi (*Pinus sylvestris L.*) adhesiooni omadustele [6]. Suurenenud kattekihi märguvust täheldati tänu suurenenud pinna hüdrofoobsusele. See tulemus on samuti kooskõlas Podgorski jt. mõõtmistega, mis näitasid, et nii plasma- kui ka koroonatöötlus suurendavad puidu märguvust [7]. [5]

## 4.2.2. Röntgenfotoelektron-spektroskoopia iseloomustus

Pinnalähedast keemilist koostist musta kuuse ja suhkruvahtra korral uuriti enne ja pärast plasmatootlust kasutades röntgenfotoelektron-spektroskoopiat (edaspidi XPS). Need mõõtmised viidi läbi, et teada saada, mis on parimad katsetingimused, et saavutada maksimaalne kattekihi adhesioon, näiteks N<sub>2</sub>/O<sub>2</sub> (1:2) musta kuuse puhul ning Ar/O<sub>2</sub> (1:1) ja CO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> (1:1) suhkruvahtra puhul. Pindade koostise tulemused kõrge resolutsiooniga C<sub>1s</sub> spektrist on näha tabelis 1. Puiduproovidel jagunes C<sub>1s</sub> piik neljaks komponendiks, mida väljendatakse vastavalt C1-C4. Need neli komponenti on järjestatud vastavalt suureneva siduva energia alusel. 1. Klassis (C1) on süsiniku aatomid seotud ainult süsiniku ja/või vesiniku aatomitega (C-C/C-H, 284,6–289,18 eV). 2. Klass (C2) viitab süsiniku aatomi ja ühe hapniku sidumisele, välja arvatud karboksüül hapnik (C-O, 286,3–289,04 eV). 3. Klassi (C3) süsiniku aatomid on seotud kahe mitte-karboksüül hapnikuga või ühe karboksüül hapnikuga (O-C-O või C=O, 287,9–290,75 eV). 4. Klassis (C4) on süsiniku aatomid seotud karboksüül ja mitte-karboksüül hapnikuga (O=C-O, 289–291,78 eV). Tabelis 1 on samuti näha ka panuste proportsioonid. [5]

**Tabel 1**

**C/O suhe ja C1 kuni C4 protsendid vastavalt puiduliigile ja töötlusprotsessile. [5]**

Keemilised koostisosad	Must kuusk		Suhkruvaher		
	Töötlemata	N2/O2	Töötlemata	Ar/O2	CO2/N2
C/O	4,1	4,1	2,6	2,6	2,2
C1	67,7	66,7	50,6	46	35,7
C2	25,5	25,9	39,7	42,6	51,4
C3	3,7	3,9	6,5	7,7	9,3
C4	3,1	3,5	3,2	3,7	3,6

Suhkruvahtra proovides on näha, et XPS tulemustes C/O suhe väheneb väärtuselt 2,6 (enne plasmatootlust) 2,2-ni (pärast plasmatootlust). Sellist vähenemist oli näha ka polüetüleen ja polüetüleenereftalaadi proovides, mida töödeldi hapnikku sisaldavate plasmadega karboksüülrühmade moodustumise tõttu [8,9]. Tabel 1 näitab samuti, et C2-C4 proportsioonid suurenevad pärast plasmatootlust, C2 puhul oli suurenemine >10% ning C3 ja C4 puhul oli see palju väiksem, ~3% C3 puhul, <1% C4 puhul. Sarnast kuid väiksemat suurenemist C2-C4

proportsioonidel täheldati suhkrulahtra Ar/O<sub>2</sub> (1:1) plasmatöötusel ja musta kuuse N<sub>2</sub>/O<sub>2</sub> (1:2) plasmatöötusel. [5]

Eelnevates katsetes induktiivsete ja mahtuvuslikult ühendatud plasmade korral, madalal survel, on näha, et N<sub>2</sub> sisaldavad plasmad tõid endaga kaasa märkimisväärse adhesiooni suurenemise (>50%) veepõhise uretaani/akrülaadi katte ja suhkrulahtra vahel [10,5]. XPS uuringud viitasid ka märkimisväärsele poogitud lämmastiku hulgale, mis tõenäoliselt soodustab kovalentsete sidemete moodustumist uretaanipõhiste katete ja puidupinna vahel. Käesolevas uuringus kasutati sama pinnakatet, kuid N<sub>2</sub> plasmadel oli negatiivne mõju pinnakattele – puidu adhesioon. Lisaks ei uurinud XPS ka lämmastikusisaldust. Katsel olevate DBD tingimuste juures tundub, et N-atomid ei olnud poogitud või olid poogitud sellise ulatuseni, mille juures jäid need märkamatuks XPS eksperimentides (<1%). [5]

### **4.3. Eksperimendi kokkuvõte**

Antud eksperimendi eesmärk oli uurida plasmatöötuse mõju adhesiooni omadustele musta kuuse ning suhkrulahtra pinnale. Proove töödeldi atmosfäärilise rõhu juures dielektrilise barjääri elektrilahendusel Ar, O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> ning CO<sub>2</sub> sisaldavate plasmadega ning seejärel kanti puidule veepõhine uretaan/akrülaat pinnakate. Musta kuuse puhul oli märgata adhesiooni ~35% suurenemist, ning see saavutati töödeldes puidupinda 6 sekundi jooksul N<sub>2</sub>/O<sub>2</sub> (1:2) plasmaga. Suhkrulahtra korral oli töötlemisaeg sama, kuid seda töödeldi Ar/O<sub>2</sub> (1:1) ja CO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> (1:1) plasma segudega ning tulemuseks oli adhesiooni ~25% suurenemine. Puidu märguvusest oli näha, et katsed, mille käigus saavutati suurem adhesioon, saavutasid suurema puidupinna hüdrofoobsuse. Suhkrulahtra proovide puhul oli näha, et pinnalähedase keemilise koostise puhul hakkas O/C suhe suurenema, kuna hakkas toimuma puidupinna oksüdatsioon. Pinnase oksüdatsioonist tingitud struktuursed ning keemilised muutused on musta kuuse ning suhkrulahtra pinnaomaduste muutuste põhjuseks. [5]



## **5. DURAWOOD**

Uurimisprojekt Durawood tegutseb puidupinna töötlemisega, mille eesmärk on tagada puidu säilitusainete tõhusam pinnale kinnitumine ning erinevate seenhaiguste esinemise raskendamine ning selle jaoks on plasmatöötlus paljulubav tehnoloogia. Selle protsessi efektiivsust hinnatakse geneetilise tuvastamise meetodiga. [11]

Selleks, et tõsta puidu konkurentsivõimet teiste materjalidega võisteldes, on vajalik välja arendada tasuv meetod puidu kaitseks, mis ei sisaldaks mürgiseid kemikaale ning tagaks puidu kõrge vastupidavuse. Euroopa Komisjoni poolt rahastatud Durawood'i kaheaastane uuring on seadnud omale eesmärgiks välja arendada tasuv, ökoloogiline ning kõrgefektiivne meetod: Durawoodi protsess kasutab puidupinna töötlemiseks elektrilist gaaslahendust (plasma). Uuringu eesmärgiks oli puidupinna plasmatöötlemine, mille tulemusena erinevad puidu säilitusained kinnituvad paremini puidupinnale ning igasugustel seenhaigustel oleks puidupinnal esinemine raskendatud. [11]

Et puit oleks klientidele atraktiivsem, peab olema võimalik tagada töödeldud puidu vastupidavus ilma hoolduseta vähemalt 5-8 aastaks. Uus EL õigusakt (2004/42/EC) nõuab lahusti-baasil puidukaitseainete väljavahetamist välisilme eesmärkidel. Fassaadid, mis on töödeldud veepõhiste säilitusainetega, on rohkem tundlikumad dekoloreerimisele ja hallitusest ning seentest tingitud kahjustustele. [11]

Puidu plasmaga eeltöötlemise eesmärgiks on parandada veepõhiste pinnakatete vastupidavust ning käitumist eri ilmastikuoludes. [11]

### **5.1. Kasutatav plasmatehnoloogia**

Plasmatehnoloogia põhimõte seisneb elektrilise gaaslahenduse rakendamisel seal, kus plasma ajutiselt tekib. Plasma on gaas või gaasisegu, mis on osaliselt ioniseeritud ning seega sisaldab

laengukandjaid, nagu näiteks ioone, laetud molekule või elektrone. Plasmat tekitatakse kasutades Diffuse Coplanar Surface Barrier Discharge (DCSBD) elektroode. Puit liigub elektrootidest mööda, samal ajal kui seda pidevalt plasmaga töödeldakse. Selle töötuse eesmärgiks on puidupinna omaduste muutmine, mis hõlmab endas pinnakatete adhesiooni suurendamist või puidupinna märguvuse vähendamist, mille tulemusena tekib hüdrofoobne pind, mis tagab omakorda puidu veekindluse. Durawoodi uuringu raames optimeeritakse gaasi olemust, kontsentratsiooni ning töötustingimusi, et luua uus viis, mida oleks lihtne rakendada erinevates puidutöötuse tööstushoonetes. [11]

## **5.2. Hallituse geneetiline tuvastus**

Durawood tehnoloogia eesmärgiks on hõlbustada tasuvate, vastupidavate ning keskkonnasõbralike puidukaitsevahendite kasutamist ning tugevdada Euroopa puidutööstuse konkurentsivõimet. Et katsetada selle uue lähenemise tõhusust, arendab Bremerhaveni molekulaargeneetika osakond kiiret puitulagundavate seente avastamise meetodit, millega saab katsetada Durawood protsessiga töödeldud puidu kaitse efektiivsust erinevate seente vastu. Selle katse jaoks inkubeeriti puhaskultuuriga seemed koos puiduproovidega, nii Durawoodiga töödeldud kui ka mitte töödeldud. Järgmiseks uuriti kui sügavale seemed on puitu kasvanud, kasutades polümeeri ahelreaktsiooni (PCR) meetodit, mis on suuteline avastama isegi üksikuid seenerakke. [11]

## **6. PUIDU ELEKTRILAHENDUS ATMOSFÄÄRIRÕHUL**

Mõiste puidupinna nõrk piirkiht hõlmab keemilist ja mehaanilist nõrka piirkihti. Keemiliselt nõrk piirkiht esineb juhul kui madalmolekulaarsed lisandid liiguvad pinnale. Mehaaniline piirkiht koosneb puidu pinnal olevatest kahjustatud rakkudest, mille on põhjustanud mehaaniline töötlus, milleks võib olla näiteks saagimine, mille käigus puidupind tekib. Puidupinda on võimalik eemaldada kasutades laser-ablatsiooni, eemaldades puidu pinnalt kahjustatud rakud. Erinevatel lainepikkustel läbi viidud eksimeer laser-ablatsiooni statistiline analüüs näitab, et liimühendustel pole vahet, kas kasutatav puit on töödeldud või mitte. Dielektriline barjäärilahendus on samuti võimeline eemaldama keemiliselt või mehaaniliselt nõrka piirkihti. Keemilisi ja mehaanilisi pinnaomadusi muudetakse nii, et liimi ja puidu vahel oleks parem ühendus ning seega saavutatakse suurem nakketugevus puidu ja liimi/pinnakatte vahel. [12]

Patendis US6818102 B1 [13] on iseloomustatud leiutist, mis on seotud puidupinna modifitseerimisega, kus elektrood on paigutatud vastamisi puidupinnaga ning seda elektroodi on võimalik modifitseerida. Elektroodile on rakendatud vahelduv kõrgepinge, et tekitada atmosfäärirõhul elektrilahendus puidupinna ja elektroodi vahel. Elektroodi ja puidupinna vahele on paigutatud dielektrikukiht, mis käitub vastaselektroodina, mida saab modifitseerida ning millele rakendatakse vahelduv kõrgepinge, mille väärtuseks on rohkem kui 600 Hz. [13]

### **6.1. Leiutise iseloomustus**

Leiutis põhineb dielektriliselt takistatud elektrilahenduse tekitamisel, mis modifitseerib puidupinda. Võrreldes koroona-elektrilahendusega, dielektriliselt takistatud elektrilahenduse puhul on tegemist palju selgema plasmajaotusega. Vahelduv kõrgepinge, väärtusega rohkem kui 600 Hz, aitab samuti kaasa plasma selgemale jaotumisele. Selle tulemusena on võimalik saavutada puidupinnal homogeenne modifikatsioon. Tuleb ka mainida, et sellist sorti meetodi

läbiviimine on üsna kulukas ja seetõttu ka limiteeritud. Sisendenergia puidupinnale on suurusjärgus 2 kWh/m<sup>2</sup>, mis on hinnanguliselt suhteliselt madal. [13]

See uus meetod ei ole rakendatava ainult puidu ja pinnakatte sidumiseks. Sellist puidupinna modifitseerimist võib võtta ka kui puidupinna täiustusetappi, millele ei järgne puidupinna katmine pinnakattega. See sisaldab näiteks puidupinnalt kahjustatud või lahtiste osade eemaldamist, mis võib olla vajalik puidust detailide taastamisel või pärast saagimist. Lisaks on võimalik ka selle meetodiga mõjutada puidupinna säilimist. [13]

Et saavutada soovitud puidupinna muutused, tuleb muuta õhkkonda, kus toimub elektrilahendus elektroodi ja puidupinna vahel, modifitseerides õhku, lisades sellele teatud gaase. See kehtib juhul, kui gaasid on modifitseeritavasse puidupinda interkalateeritud. Soovitud gaasisegud igal konkreetsel juhtumil puhutakse elektrilahenduse tsooni, kuna selline modifitseerimine toimub atmosfäärirõhul. Sellel meetodil puidupinna termiline pinge puudub. Elektrilahendusel olev gaasitemperatuur ei tõuse kõrgmale kui toatemperatuur. [13]

Sellel uuel meetodil on võimalik modifitseeritava puidupinnaga puiduklots kinnitada maa külge, mis käitub elektroodile vastaselektroodina. See tähendab, et selle meetodi läbiviimiseks on vajalik vaid üks täiendav elektrood ning puidutükk, millel on modifitseeritav pind. Puidu elektrit juhtivad omadused on vastaselektroodi moodustamiseks piisavad. [13]

Selle leiutise üks eelistatumaid lahendusi hõlmab elektroodi, töödeldavat puidupinda ning konveierilinti. Konveierilindile on asetatud modifitseeritav puidupind. Konveierilint on valmistatud materjalist, mis käitub elektroodile vastaselektroodina ning antud elektrood ja vastaselektrood paiknevad paralleelselt. Sellel meetodil paiknevad elektrood, mis on suunatud modifitseeritava puidupinna poole, ja vastaselektrood paigal ning puiduklotsi transportitakse nende vahelt läbi. Puiduklotsiga konveierilint liigub mööda vastaselektroodi poolt tekitatud dielektrikihti. [13]

Suurte pindade modifitseerimise puhul on sobilik liigutada elektroodi vastavalt modifitseeritava pinnaga puiduklotsile, ehk paralleelselt töödeldava puidupinnaga. Elektroodi liigutamise all mõeldakse puiduklotsi või elektroodi liigutamist. [13]

Juhul, kui puidu poole suunatud elektrood on võrreldes modifitseeritava pinnaga liiga väike, on ka tugevate kontuuridega puitude puhul võimalik saavutada soovitud modifikatsioon, muutes elektrilahenduse tingimusi. [13]

Võrreldes elektroodi pinda ja modifitseeritava puidu pinda võib täheldada, et selle uue meetodi korral katab modifitseeritav puidupind ligi 90% elektrilahenduse läbilõikest.

Teisisõnu tähendab see seda, et sellel uuel meetodil kasutatakse elektrilahenduse võimsust võimalikult kaugelt, et saavutada soovitud puidu modifikatsioon. Puidupind tarbib nii väikest elektrilahenduse võimsust kui võimalik. [13]

Et saavutada elektrilahendusel eriti hea plasma jaotus puidupinnal, peab vahelduv kõrgepinge olema rakendatud sagedusega rohkem kui 5 kHz, selle uue meetodi puhul soovitatavalt 10-3000 kHz. [13]

Juhul, kui vahelduv kõrgepinge koosneb vaid ühest kõrgepingeimpulsist, on eelistatud vahekaugus, mis on suurem kui kõrgepinge sagedus, ehk teatud vahekaugusega vahelduv kõrgepinge vastab näiteks sageduse vahemikule 10-20 kHz, samas vahelduva kõrgepingeimpulsi kestus võib vastata sagedusele, mis on suurem kui 500 kHz. [13]

Kui sellel uuel meetodil vahelduvate poolaarsustega elektrodile rakendatakse vahelduv kõrgepinge, hoitakse ära laengute kogunemine nii elektroodi ees olevas dielektrikukihis kui ka modifitseeritaval puidupinnal. [13]

Dielektrikukihiga elektroodi ja modifitseeritava puidupinna vaheline kaugus on selle meetodil tavaliselt vahemikus 1-25 mm, kuid see kaugus ei ole kriitilise tähtsusega. Tuleb mõista, et vahemaa suurendamisel tuleb tõsta ka vahelduvat kõrgepinget. Tavaline vahelduv kõrgepinge omab ühe kõrgepingeimpulsi korral väärtust vahemikus 30-50 kV. Sinusoidaalse kõrgepinge korral võib sagedus olla rohkem kui 100 kHz, näiteks vahemikus 100-3000 kHz, ning vahelduv kõrgepinge omab väärtust 10-15 kV. [13]

## **6.2. Protsessi parameetrid**

Antud meetodil modifitseeritakse puidupinda dielektrilise barjäärilahendusega, mille parameetrid on järgnevad [13]:

1. Puidupinna modifitseerimine sellisel meetodil hõlmab järgmisi punkte:
  - Puidupinna vastu asetatakse elektrood
  - Puidupinna ja elektroodi vahel tekib elektrilahendus
  - Elektrodile rakendatakse vahelduv kõrgepinge, sagedusega >600 Hz.

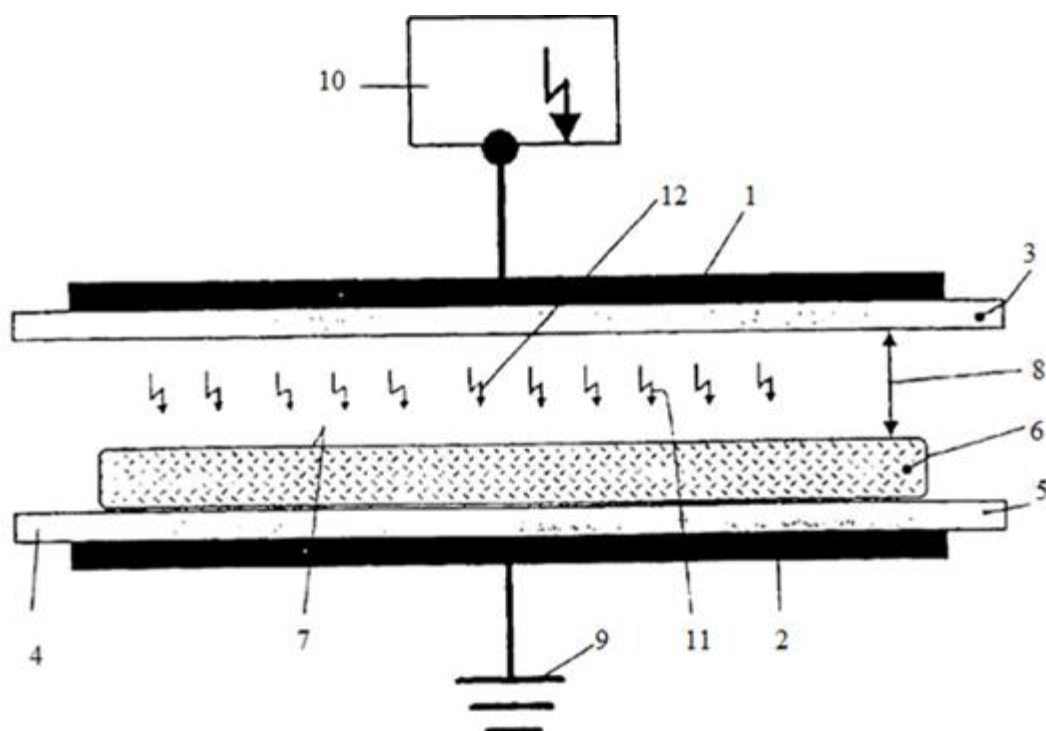
- Puidutükki, millel on modifitseeritav pind, kasutatakse vastaselektroodina, et tekitada atmosfäärirõhul dielektriline barjäärilahendus elektroodi ja puidupinna vahel.
- 2. Modifitseeritava puidupinnaga puidutükk on maandatud.
- 3. Modifitseeritava puidupinnaga puidutükk asetatakse konveierilindile, mis on valmistatud dielektrilisest materjalist ning on asetatud tasapinnalisele vastaselektroodile, mis on paralleelne elektroodiga.
- 4. Elektroodi liigutatakse modifitseeritava puidupinnaga puidutükiga paralleelselt.
- 5. Modifitseeritava puidupinna poole suunatud elektroodipind on võrreldes modifitseeritava puidupinnaga väiksem.
- 6. Elektroodipinna mõõtmed on määratud vastavalt modifitseeritavale puidupinnale nii, et modifitseeritav puidupind katab vähemalt 90% elektrilahenduse ristlõikepindalast.
- 7. Rakendatav vahelduv kõrgepinge sagedus on vahemikus 5-3000 kHz.
- 8. Vahelduv kõrgepinge koosneb ühest ainsast kõrgepingeimpulsist, impulsside vaheline kaugus on suurem kui nende kestus.
- 9. Vahelduv kõrgepinge on rakendatud vahelduva polaarsusega.
- 10. Dielektrikukihiga elektroodide kaugus modifitseeritavast puidupinnast on 1-25 mm.

### 6.3. Leiutise detailne kirjeldus

Joonisel 14 on kujutatud plaadikujulist elektroodi 1 ning plaadikujulist vastaselektroodi 2, mis on paigutatud teineteisega paralleelselt. Elektroodi 1 ees on dielektrikukiht 3. Konveierilint 4, mis on valmistatud dielektrilisest materjalist 5, liigub üle vastaselektroodi 2. Puidutükk 6, mille puidupind 7 on suunatud dielektrikukihi 3 või elektroodi 1 poole, asetatakse konveierilindile 4. Siin on näha vahekaugust 8 dielektrikukihi 3 ja puidupinna 7 vahel. Vastaselektrood 2 on ühendatud maaga 9 ning elektrood 1 on ühendatud kõrgepinge allikaga 10. See on kaubanduse standard ning omab head efektiivsust vahemikus 80-90 % ning on madala kulukusega. Kõrgepingeallikaga 10 rakendatakse elektroodile 1 vahelduv kõrgepinge, mis tekitab atmosfäärirõhul dielektriliselt takistatud elektrilahenduse 11 dielektrikukihi 3 ja puidupinna 7 vahel. Plasma 12 jaotus dielektrilise elektrilahenduse 11 alal on homogeenne, mis tähendab, et see mõjutab puidutüki 6 puidupinda 7, sest elektrilahendus 11 on

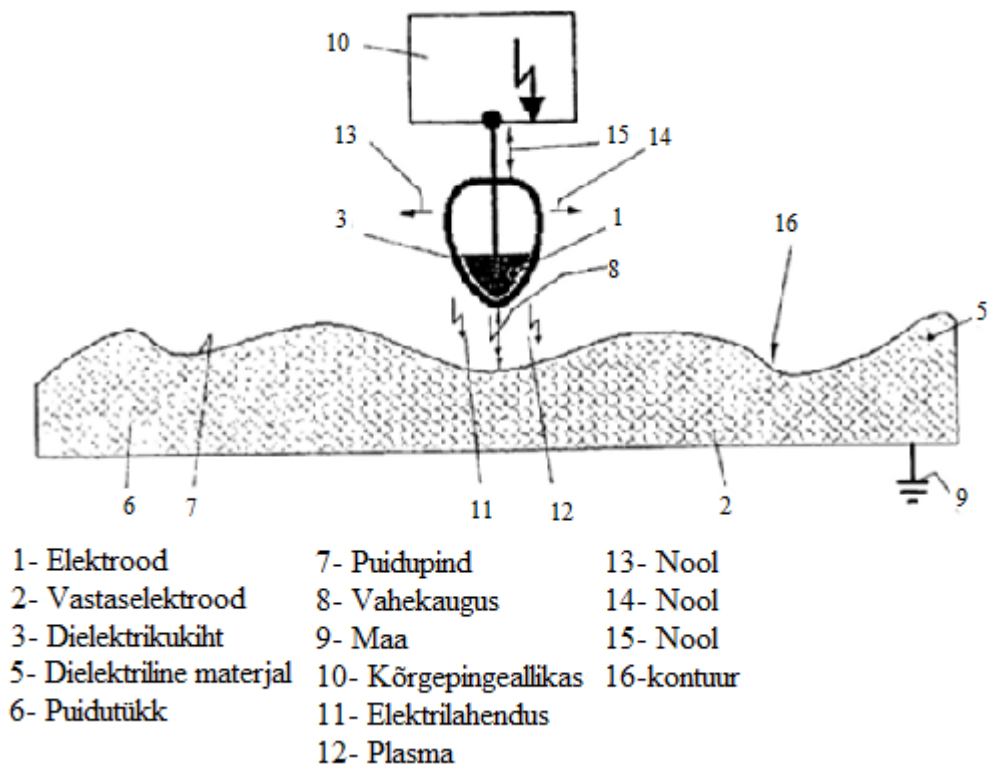
dielektriliselt takistatud ning elektrodile 1 rakendatud vahelduv kõrgepinge on suurusjärgus 1 kHz. [13]

Joonisel 15 on elektrod 1 võrreldes modifitseeritava puidupinnaga 7 väike ning on kaetud täielikult dielektrikukihi 3. Antud elektroodi 1 saab liigutada vastavalt puidupinnale 7, see liikumine on näidatud nooltega 13-15. Sellisel viisil saab puidupinda 7 skaneerida elektrodiga 1 ühtlaselt kogu ulatuses, olgugi et puidupinnal 7 on eriline kontuur 16. Edasine joonise 15 korraldus erineb joonisest 14 niivõrd palju, et dielektrilise materjali 5 ette paigutatud vastaselektrood puudub. Selle asemel on puidutükk 6 ühendatud otse maaga 9 ning seega käitub see vastavalt joonisele 14 kui vastaselektrood 2 ja dielektriline materjal 5. [13]



- |                           |                       |
|---------------------------|-----------------------|
| 1- Elektrod               | 7- Puidupind          |
| 2- Vastaselektrood        | 8- Vahekaugus         |
| 3- Dielektrikukiht        | 9- Maa                |
| 4- Konveierilint          | 10- Kõrgepingeallikas |
| 5- Dielektriline materjal | 11- Elektrilahendus   |
| 6- Puidutükk              | 12- Plasma            |

**Joonis 12. Leiutis puidu elektrilahenduse tekitamiseks atmosfäärirõhul. [13]**



**Joonis 15. Leiutis puidu elektrilahenduse tekitamiseks atmosfäärirõhul. [13]**

Joonistel 14 ja 15 märgistatud vahekaugus 8 võib olla vahemikus 1-25 mm, tavaliselt jääb see paari millimeetri juurde. Uuel meetodil rakendatav vahelduv kõrgepinge, mille korral on seda uut meetodit edukalt katsetatud, on seotud vahekaugusega. [13]

Esimesel juhul on sinusoidaalne vahelduv kõrgepinge väärtusega 10-15 kV ning sellel on sagedus vahemikus 100 kHz – 3 MHz. [13]

Teisel juhul saavutati eriti head tulemused puidupinna 7 modifitseerimisel. Selleks kasutati vahelduvat kõrgepinget, mis koosneb erinevates kõrgepingeimpulssidest vahemikus 40-50 kV ning impulsi kestuseks on 2  $\mu$ s, mis vastab sagedusele 500 kHz ning millel on impulsisagedus vahemikus 10-17 kHz. See tähendab, et kõrgepingeimpulsside kestus oli väiksem kui nende ajaline kaugus. [13]

Seda uut meetodit kasutades on võimalik saavutada erinevaid modifikatsioone puidupinnale. Need modifikatsioonid hõlmavad endas näiteks puhastamist, liimimist, pinnakatteid, säilitamist ning pleegitamist. [13]



### **6.3.1. Puhastamine**

Modifitseeritavalt puidupinnalt on võimalik eemaldada õhuke kiht puitu, selle õhukese puidukihi struktuur võib hävineda eelneva mehhaanilise töötuse tõttu ning sellel on ainult õrn side puiduga. Selline mehhaaniline töötlemine võib olla näiteks saagimine, mille käigus tekib modifitseeritav puidupind. Peale puidupinna puhastamise avab see protsess ka puidukiudude vahelised poorid. [13]

### **6.3.2. Liimimine**

See uus meetod eemaldab mehhaanilise töötuse käigus viga saanud puidukihi, nagu oli räägitud ka puhastusprotsessis, ning muudab puidupinna keemilisi ja füüsikalisi omadusi nii, et puidupinna ja liimi vahel oleks võimalik saavutada suurem nakketugevus. Puiduplokke on üldjuhul keeruline kokku liimida, kuna liimi ja puidu vahel on tavalisel juhul nõrk nakketugevus. Seda tugevust saab suurendada, kasutades puidu sälkimist. Antud leiutisega puidupinna modifitseerimine on võimeline saavutama suuremaid nakketugevusi, kusjuures sälkimine pole sellisel juhul vajalik. [13]

### **6.3.3. Pinnakatted**

Nagu oli kirjeldatud puhastusprotsessis, õhuke puidukiht eemaldatakse. Selle mehhaanilise töötuse tulemusena jääb kahjustatud puidupinna ja puidu vahele nõrk side. Lisaks avanevad puidukiudude vahelised poorid, mis laseb pinnakatetel, näiteks värvidel, paremini puidupinna külge kinnituda. [13]

### **6.3.4. Säilitamine**

Antud leiutisega puidupinna modifitseerimise käigus võivad puidu märguvusomadused muutuda. Alates tihedusest  $1,4 \text{ g/cm}^3$ , saab vee imendumist puitu peatada, mille tulemuseks on keskkonnasõbralik puidu säilitamine. [13]

### **6.3.5. Pleegitamine**

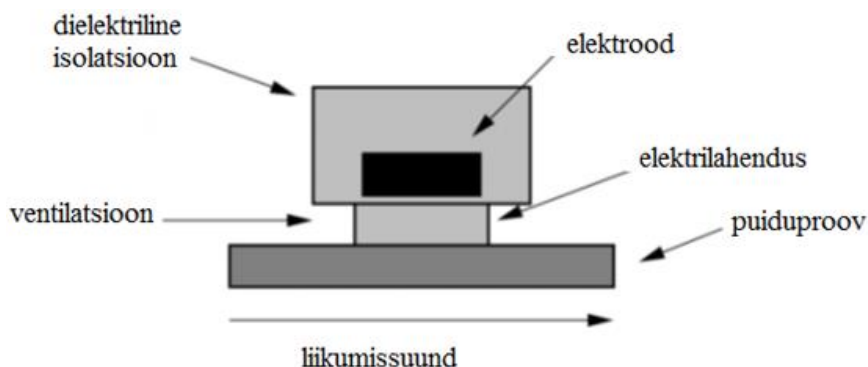
Valge värviga puidupindade puhul on võimalik nähtus, kus puidu omased ained tungivad värvi, muutes valge värvi kollakamaks ning ajapikku võivad sellele tekkida ka pruunikad täpid. Enne värvi pealekandmist peab leiutisega puitu modifitseerima nii, et puidu omased ained oleks pleegitatud või immobiliseeritud. Et selline olukord saavutada, tuleb sisestada dielektriliselt takistatud elektrilahendusele hapnikku. Elektrilahenduse tulemusena saadakse monohapnik või osoon, mille tulemusena on võimalik pleegitada puidu omaseid aineid. Sellist pleegitamise efekti on võimalik ka saavutada kasutades ultravioletvalgust dielektriliselt takistatus elektrilahendusel. [13]

## **6.4. Puidupinna dielektriline barjäärilahendus atmosfäärsel rõhul**

Joonis 16 näitab dielektriliselt isoleeritud elektroodi, mis on paigaldatud töödeldava puidupinna külge. Vaheldus kõrgepinge rakendatakse elektroodile kõrgepingeimplussidega 30 kV (2 msek, impulsimäär 15 kHz), et tekitada atmosfäärsel rõhul elektrilahendus elektroodi ja puidupinna vahel. Ventilator puhub atmosfääriõhku läbi elektrilahenduse vahe, kiirusega umbes 3 m/min. Puiduproovid on 5 mm paksud ning liiguvad reguleeritaval kiirusel vahemikus 1,5-50 m/min. [12]

Puiduproovi elektrijuhtivuse tõttu käitub proov dielektrilisel barjäärilahendusel vastaselektroodina, seetõttu peab kõrgepinge elektrood olema dielektriliselt isoleeritud.

Puiduproovidel on niiskusesisaldus vahemikus 10-15%, sõltuvalt puiduliigist ja ladustusest ning nad käituvad elektrijuhina, mille elektrijuhtivus on ligi  $3 \text{ C}\Omega/\text{cm}$  ning see omakorda võimaldab paksemate, näiteks 30 mm, puiduproovide töötlemist. [12]



Joonis 16. Puidupinna dielektriline barjäärilahendus atmosfäärsel rõhul. [12]

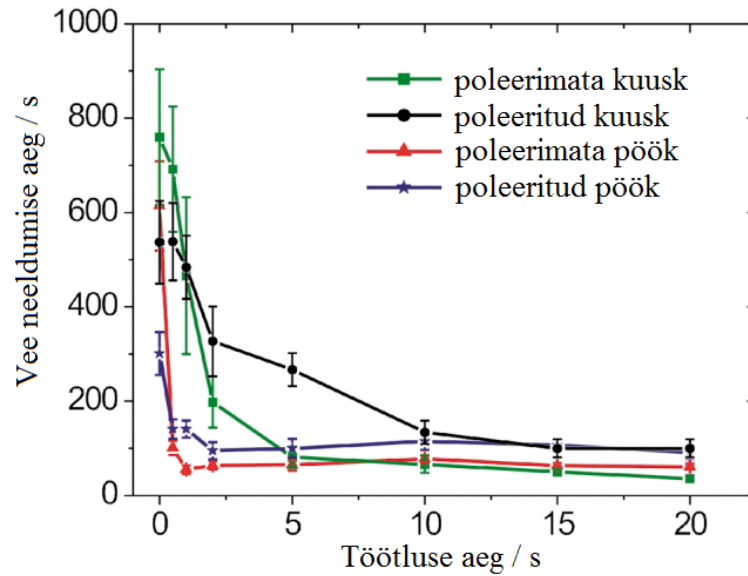
#### 6.4.1. Gaasi temperatuur elektrilahendusel

Gaasi temperatuuri mõõdetakse elektrilahendusel vahemikkudes 1, 2 ja 3 mm. Gaasi temperatuuri mõõtmisel kasutatakse klaaskiust termomeetrit. Elektroodi temperatuuri mõõdetakse 60 sekundit pärast plasma süütamist. 60 sekundi jooksul saavutab gaasitemperatuur oma tasakaalu. Gaasi temperatuuriks mõõdeti igas vahemikus  $35^\circ$ , arvestades, et puiduproovi kiirus on 1,5 m/min. Plasmatöötamise termiline mõju puidule  $35^\circ$  juures pole võimalik, kuna püroloosi efekt tekib kõrgematel temperatuuridel (vähemalt  $120^\circ$ ). [12]

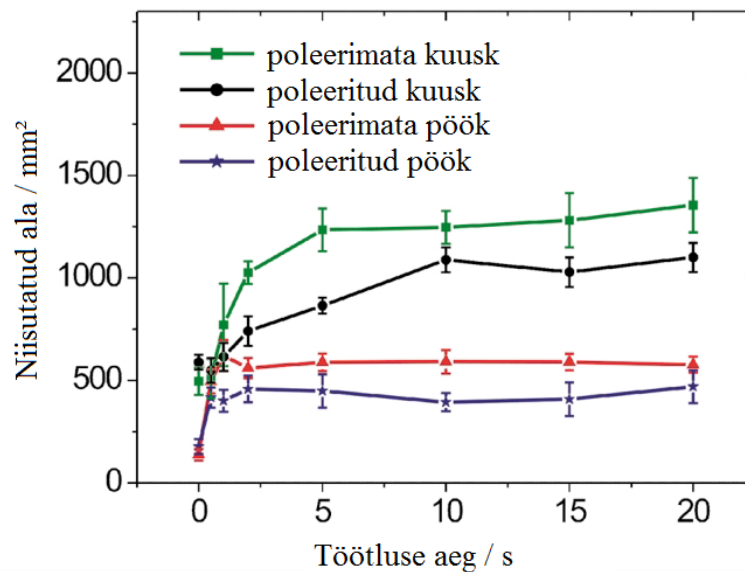
#### 6.4.2. Plasmatöötamise tõhususe katse veetilga meetodiga

Puidupinnale asetatakse dosimeetriga 50  $\mu\text{l}$  veetilk ning seejärel mõõdetakse selle neeldumisaeg. Tilga neeldumisaeg loetakse ajavahemikku tilga kokkupuutumisest pinnaga kuni tilga täieliku puitu tungimiseni (optilise peegelduse kadumine). Lisaks märgistatakse niisutatud ala  $2 \times 2 \text{ mm}^2$  ruudustikuga. Kasutatakse hõõveldatud kuuse (*genus Picea*) ning

pöõgi (*Fagus*) puidu proove, mida poleeritakse liivapaberiga (karedus K 100). Kasutatakse ka poleerimata proove. Veetilga neeldumisaega ja ala on näha joonisel 17 ja 18. [12]



Joonis 17. Veetilga neeldumise aja sõltuvus töötamise ajast. [12]

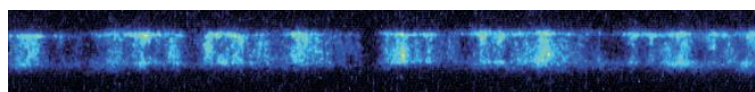


Joonis 18. Niisutatud ala sõltuvus töötamise ajast. [12]

Pärast 1 sekundilist plasmatöötlust, vee neeldumisaeg poleerimata kuuse korral saavutab sama väärtuse, mis on poleeritud kuusel. Sama nähtust on näha poleerimata pöõgi korral, kuid töötlemisajaks on vaid 0,5 sekundit. Lisaks on märgata, et pärast 5 sekundilist plasmatöötlust, poleerimata kuuse niisutatud ala suurenemist ligi 12 korda. [12]

### 6.4.3. Gaasilahenduse homogeensus

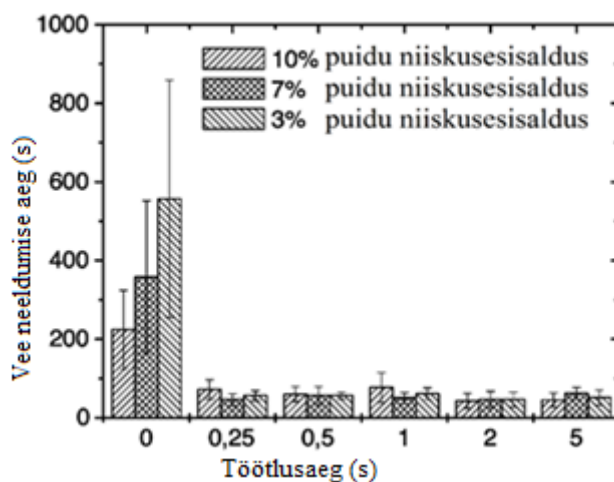
Elektrilahenduse hindamiseks kasutatakse kokkupuuteaega 400 nanosekundit. Sellisel juhul on elektrilahenduse vaheks 2 mm ning on antud järgnevad elektrilahenduse parameetrid: kõrgepinge amplituud  $U=30$  kV, elektrilahenduse keskmine sisendvõimsus  $P=520$  W, võimsustihedus  $I=65$  W/cm<sup>3</sup>. Joonisel 19 on näha peaaegu homogeenset elektrilahendust, mille kokkupuuteajaks oli 400 nanosekundit. Võib väita, et puidupinna ning dielektriliselt isoleeritud kõrgepingelise elektroodi vahel saab süüdata kvaasi-homogeenset elektrilahendust. Häid tulemusi on võimalik saavutada vaid homogeensel elektrilahendusel. [12]



Joonis 14. Peaaegu homogeenne elektrilahendus. [12]

### 6.4.4. Töötlus erineva puidu niiskuse korral

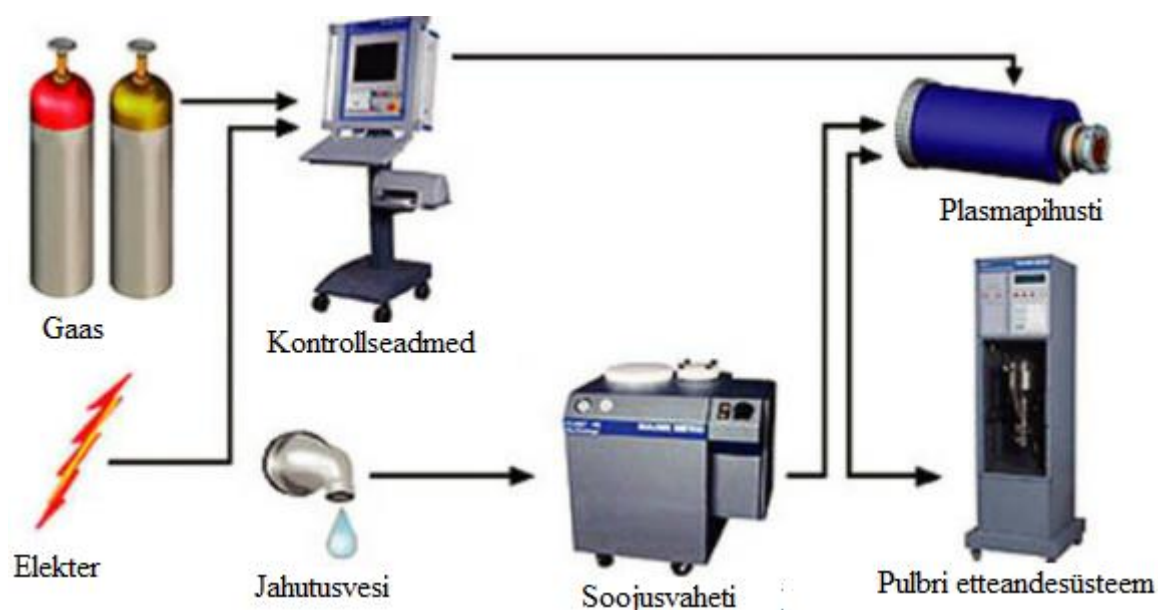
Vee neeldumisaeg töötlemata puitu sõltub suurel määral puidu niiskusesisaldusest. Seetõttu võib ka vee neeldumisaeg varieeruda keskkonna niiskuse muutudes. Kasutades plasma eeltöötlust võib täheldada, et pärast puidu töötlemist (pinnakattega) ei ole oluline puidu algne niiskusesisaldus, kuna see ei mõjuta lõpptulemust, nagu on näha ka joonisel 20. [12]



Joonis 15. Puidu niiskusesisalduse mõju vee neeldumise ajale. [12]

## 7. PLASMA SEADMED

Plasma pihustussüsteem koosneb tavaliselt plasmapihustist, alalisvoolu toiteallikast, tootmisprotsessi gaasi kontrollseadisest, elektrist, jahutusveest ja pulbri etteandesüsteemist. Tervet plasma pihustussüsteemi on näha joonisel 21. [14]



Joonis 16. Plasma pihustussüsteem. [14]

### 7.1. Plasmapihusti

On olemas erinevat sorti plasmapihusteid, traditsioonilist pulkkatoodi on näha joonisel 22. Teiste plasmapihustusseadmete disain on keerukam, võib esineda mitmekordseid elektroode, ning mõned kujundused näevad välja sellised, et pihusti keskel toimub lähteaine teljesuunaline süstimine. Sellised pihustid on tavaliselt keerukamad ja kallimad, kuid need võivad osutada kasulikuks raskematel pihustusmeetoditel. Plasmapihustite võimsused

varieeruvad vahemikus 20...200 kW. Samuti kasutatakse erinevate pingete korral (25...160V) alalisvoolu vahemikus 100...1200 A. [14]



**Joonis 17. pulkkatood. [14]**

Enamik plasmapihusteid on kerged, mis tähendab, et neid saab käes hoida, kuid plasmatööstuses on trendiks robotsüsteemide kasutus. Robotsüsteemide kasutamine tagab katematerjali suurema ühtluse ja protsesside korratavuse. Samuti vähendab see riski plasmapihusti kasutajale, hoides ära kokkupuute plasmatöötlusel olevate ohuga. [14]

## **7.2. Toiteallikas**

Üldiselt on plasmapihustusseadmete toiteallikas sarnane kaarkeevitusel kasutatava toiteallikaga. Plasmapihustusseadmete vooluallikatel peaksid olema järgnevad omadused:

- Konstante alalisvoolu väljund
- Varieeruv laengupinge
- Varieeruv voolukontroll
- Madal pulsatsioon
- Hästi reguleeritav

Türistoritel on tavaliselt need nõuded olemas. Mõned üksused on kergesti juhitavad, kuid need tegevused vajavad kõrget võimsust. [14]

### 7.3. Pulbri etteandesüsteem

On olemas kolme tüüpi etteandesüsteeme: aspiraator, mehaaniline- ja keevkiht. Seda tüüpi etteandesüsteeme kasutatakse ka paljude teiste termiliste pihustussüsteemide korral. Kiiremad pihustussüsteemid, nagu näiteks suure kiirusega oksükütuse pihustamine ning külmpihustamine, kasutavad võrreldes plasma pihustussüsteemidega suuremat pulbrikanistri rõhku. [14]

### 7.4. Gaasiliides

Plasma pihustussüsteemides kasutatakse järgnevaid gaasiliideseid:

- Primaarne kaargaas
- Sekundaarne kaargaas
- Pulbrikandegaas

Enamikes süsteemides sisestatakse primaarne ja kandegaas samast allikast. Plasmapihustusel kasutatakse nii üheaatomilisi (argoon, heelium) kui ka kaheaatomilisi (lämmastik, vesinik) gaase. Argoon ja heelium toodavad kõrgeimaid temperatuure, lämmastik ja vesinik toodavad jällegi kõrgeimat entalpiat. Kaheaatomilised gaasid mitte ainult ei vabasta ionisatsioonienergiat, vaid ka molekulide dissotsiatsiooni ja rekombineerumise energiat. Gaasivalikul on oluline mõju plasma omadustele. [14]

Argoon ja lämmastik on enamkasutatavad primaarsed gaasid. Heelium, vesinik ja lämmastik on tavalised sekundaarsed gaasid. Nendel neljal gaasil on vajalikud omadused edukaks plamapihustuseks. [14]

Argoon tagab suure plasma liikumiskiiruse. Seda gaasi kasutatakse selliste materjalide puhul, millele vesiniku või lämmastiku mõju oleks kahjulik. Karbiidid on kõrge temperatuuriga sulamid, mille puhul kasutatakse pihustusprotsessil argooni (lennukid). [14]



Lämmastik on laialdaselt levinud, kuna see on odav, kaheaatomiline ning võimaldab kiiret pihustuskiirust ning sadestuse kõrget tõhusust. Lämmastiku puhul kasutatavate otsikute eluiga on oluliselt lühem kui üheaatomiliste gaaside otsikutel. [14]

Heeliumit, argooniga segatult, kasutatakse sekundaarse gaasina. Heelium võib tõsta kaare pinget ja suurendab oluliselt gaasi ja osakeste liikumiskiirust ning see mõjutab vähem anoodi eluiga kui teised kaheaatomilised gaasid. [14]

Vesinikku võib kasutada sekundaarse gaasina segudes lämmastiku või argooniga. Vesiniku lisamine toob endaga kaasa kaare pingetõusu ning seega ka kaare võimsuse- ja soojusenergiatõusu. Nagu lämmastik, vesinik võib märkimisväärselt vähendada anoodi eluiga. [14]

## **7.5. Plasmapihustuse kontrollseadmed**

Täielikku plasmapihustussüsteemi, sealhulgas ka pihustusrobotit, saab kaugelt juhtida kontrollkonsooli abil. Konsooli abil on võimalik reguleerida primaarse ja sekundaarse gaasi voolukiirust, pulbri etteandesüsteemi voolukiirust, plasma voolu, alg- ja lõppfunktsioone. Plasmapihustuse kontrollseadmeid on erinevaid, alustades põhilisest ja suhteliselt odavast analoognäidikutega manuaalsest süsteemist ning lõpetades kõrgelt automatiseeritud, arvuti poolt juhitud süsteemiga, mis tagab kõrgemal tasemel automatiseeritud protsessi jälgimise ja juhtimise. [14]

## KOKKUVÕTE

Plasmatöötlus on muutumas järjest aktuaalsemaks, kuna see protsess võimaldab viia puidu omadused paremuse poole. Puidu märguvus, adhesioon erinevate pinnakatetega, vastupidavus ning paljud muud näitajad on suutelised tänu plasmatöötlusele saavutama märkimisväärseid tulemusi. Puit iseenesest on üpris kergesti töödeldav materjal, aga seda vaid teatud piirides, kuna puidu eripäraks on tema ebastabiilne struktuur ja omadused. Puit on üldjuhul vastuvõtlik samuti ka bioloogilistele teguritele, milleks võivad olla näiteks erinevad seenhaigused. Seda vastuvõtlikkust mõjutab kõige enam puidu niiskus, sest erinevad bioloogilised tegurid on suutelised asustama või lagundama ainult niiskunud puitu.

Plasmatöötlust kasutatakse tihti eeltöötlusena, millele võib järgneda näiteks pinnakatte pealekandmine. Tänu plasmatöötlusele on võimalik muuta puidupind vähem või rohkem vastuvõtlikumaks erinevate katete suhtes, jättes muud puidu omadused üldjuhul samaks. Adhesiooni vähendamise saab tagada puidu veekindluse ning seda tõstes saab tagada suurema vastuvõtlikkuse erinevate pinnakatete suhtes. Adhesiooni vähendamine toob kaasa ka seenhaiguste esinemise vähenemise, mis omakorda tõstab puidu eluiga.

Plasmatöötluse tõhusus sõltub mitmetest parameetritest: võimsus plasmatöötlusel, plasmatöötluse aeg, plasma ja puidu vahekaugus ning plasmatöötlusel kasutatav gaas. Võib väita, et suurema võimsuse, pikema plasmatöötluseaja ning väiksema plasma ja puidu vahekauguse korral on plasmatöötlus efektiivsem, kuid samuti mängib selle efektiivsuse juures tähtsat rolli ka kasutatav gaas ning töödeldav puit. Adhesiooni suurenemine on märgatavalt suurem okaspuude korral.

Üheks peamiseks plasmatöötlusprotsessiks on plasmapihustamine, mille osadeks on tavaliselt plasmapihusti, alalisvoolu toiteallikas, tootmisprotsessi gaasi kontrollseadis, elekter, jahutusvesi ja pulbri etteandesüsteemis, igal osal on omad ülesanded.

Plasmatöötlus on üks tõhus viis puidupinna modifitseerimiseks, millega on võimalik saavutada puidupinna omaduste muutus, üldjuhul parandus, olgu selleks siis näiteks adhesiooni või märguvuse suurendamine või vähendamine.

## KASUTATUD KIRJANDUS

- 1) Deckers, J. (2011). Incineration and plasma processes and technology for treatment and conditioning of radioactive waste – *Handbook of Advanced Radioactive Waste Conditioning Technologies*, 12, 55-56.
- 2) Bräuer, G., Diehl, W., Frach, P., Kirchhoff, V., Sittinger, V., Szyszka, B., Vergöhl, M. (2007). Plasma for Surface Technology – Examples of Current Developments – *SVC - 50th Annual Technical Conference Proceedings*, 427-430.
- 3) Podgorski, L., Chevet, B., Onic, L., Merlin, A. (2000). Modification of wood wettability by plasma and corona treatments – *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 20 (2), 103-111.
- 4) Belgacem, M. N., Gandini, A. (2008). Chemical Modification of Wood – *Monomers, Polymers and Composites from Renewable Resources*, 1, 419-421.
- 5) Busnel, F., Blanchard, V., Prégent, J., Stafford, L., Riedl, B., Blancet, P., Sarkissian, A. (2010). Modification of Sugar Maple (*Acer saccharum*) and Black Spruce (*Picea mariana*) Wood Surfaces in a Dielectric Barrier Discharge (DBD) at Atmospheric Pressure – *Journal of Adhesion Science and Technology*, 24, 1401-1413.
- 6) Petrič, M., Knehtl, B., Krause, A., Militz, H., Pavlič, M., Pétrissans, M., Rapp, A., Tomažič, M., Welzbacher, C., Gérardin, P., Coat, J. (2007). *Crystal Research and Technology*, 4, 203.
- 7) Podgorski, L., Chevet, B., Onic, L., Merlin, A. (2000). *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 20, 102.
- 8) Jie-Rong, C., Xue-Yan, W., Tomiji, W. (1999). *Journal of Applied Polymer Science*, 72, 1327.
- 9) Drnovksa, H., Lapcik, L., Bursikova, V., Zemek, J., Barros-Timmons, A. M. (2003). *Colloid and Polymer Science*, 281, 1025.
- 10) Blanchard, V., Blanchet, P., Riedl, B. (2009). *Wood and Fiber Science*, 41, 245.
- 11) Durawood (2010). Plasma technology for solvent-free wood preservatives. [WWW] <http://www.ttz-bremerhaven.de/en/component/content/article/103-english/press->

[relations/press-releases/1052-plasma-technology-for-solvent-free-wood-preservatives.html](#) (10.05.2015)

- 12) Rehn, P., Wolkenhauer, A., Bente, M., Förster, S., Viöl, W. (2003). Wood surface modification in dielectric barrier discharges at atmospheric pressure – *Surface and Coatings Technology*, 174-175, 515-518.
- 13) Viöl, W. (2004). Method for modifying wooden surfaces by electrical discharges at atmospheric pressure : Ameerika patent US6818102 B1. [*Online*] esp@cenet (16.11.2004)
- 14) O'Brien, A., Guzman, C. (2007). *Welding Handbook - Welding Processes*, Part 2, 3, 392-393.

## SUMMARY

Wood is one of the oldest resources which is renewable. It is used by human activity in the form of shelter, source of energy, timber, etc. Wood itself is a rather easily processed material, but to an extent, due to the irregularity of wood's structure and characteristics, which often cause a longstanding source of problems. In order to overcome these problems, wood needs to be modified. The goal of this bachelor thesis is to describe and analyze plasma treatment of wood, considering which kind of results can be achieved and how different factors influence this modification process.

Plasma treatment is an efficient way to modify wood's wettability and adhesion. Increasing or decreasing the wettability or the adhesion of wood results in wood's surface becoming more water-resistant or more receptive to different coatings. The durability of wood is also affected by the water-resistance of the wood's surface, the higher resistance it has to water, the higher the durability is. Lower water-resistance levels may lead to wood becoming more receptive to biological factors, such as fungi. Higher moisture levels of wood lead to a higher receptivity, as many biological factors are capable of inhabiting or decomposing damp woods. Modifying these characteristics do not affect other important characteristics of wood.

The efficiency of plasma treatment depends on several different parameters: the power of plasma treatment, the duration of plasma treatment, the distance between plasma and wood and the gas used in the plasma treatment. Higher power, longer duration of the treatment and a smaller gap between plasma and wood's surface usually lead to a more efficient plasma treatment. The gas used in the plasma treatment also has a remarkable effect on the efficiency.

Plasma treatments differ among soft- and hardwoods. Researches show that plasma treatments of softwood lead to a better improvement of adhesion, which also leads to a higher water-resistance. This difference depends on the different structures of both soft- and hardwood.

It can be stated that plasma treatment has brought about an effective method to modify the surface of wood. Plasma treatment is a rather complex process, but looking past that complexity, substantial results can be achieved.