Vaneripuristimen sulkuliikkeen sähköistäminen

LAB-ammattikorkeakoulu
Insinööri (AMK), Puutekniikka
2021
Henri Venäläinen

Tiivistelmä

Tekijä	Julkaisun laji	Valmistumisaika
Venäläinen Henri	Opinnäytetyö, AMK	2021
	Sivumäärä 40	

Työn nimi

Vaneripuristimen sulkuliikkeen sähköistäminen

Tutkinto

Insinööri (AMK)

Toimeksiantajan nimi, titteli ja organisaatio

Roope Eskola, Manager R&D Tekniikan lisensiaatti, Raute Oyj

Tiivistelmä

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää Raute Oyj:n valmistaman vanerin kuumapuristimen toimintaperiaatteen teknisiä vaihtoehtoja. Nykyinen toimintaperiaate kuumapuristimessa perustuu hydrauliikkaan, jonka käyttöä teollisuudessa pyritään yleisesti vähentämään. Uuden toimintamallin tarkoituksena on perustua kokonaan tai osittain sähkökäyttöön.

Tavoitteena oli löytää ratkaisu, jonka avulla voidaan luopua kuumapuristimen sulku- ja puristusliikkeen suorittavista pitkistä hydraulisylintereistä sekä niitä ohjaavasta hydrauliikkakoneikosta. Työn tavoitteena oli löytää kustannustehokas sekä toteutuskelpoinen sähkötoiminen ratkaisu puristimen sulkuliikkeen tekemiseen.

Opinnäytetyössä käsitellään vanerin valmistusprosessi ja kuumapuristimen toimintaperiaate, jossa todennetaan laskukaavojen avulla puristimen rakenteelliset määritelmät. Uusien vaihtoehtojen ideointi sekä tulostentarkastelu ovat myös osana tutkimusta. Uusien vaihtoehtojen 3D-malien avulla havainnollistetaan niiden rakenteet sekä toimintaperiaate.

Asiasanat

kuumapuristin, vaneri, sähkökäyttö

Abstract

Author	Type of Publication	Published
Venäläinen Henri	Thesis, UAS	2021
	Number of Pages	
	40	

Title of Publication

Electrification of the closing motion of the plywood press

Name of Degree

Engineer (UAS)

Name, title and organization of the client

Roope Eskola, Manager R&D Lic. Sc. (Tech), Raute Oyj

Abstract

The target of the study was to find out technical solution for the operation principle of plywood hot presses manufactured by Raute Oyj. The current operation principle in hot press is based on hydraulics which is generally reducing in the plywood industry. The new operating model is intended to be fully or partly based on electricity.

The target was to find a solution to replace the long hydraulic cylinders that perform the closing movement and the pressing in the hot press, as well as the hydraulic unit that controls them. The goal of the work was to find a cost-effective, as well as an implementation-eligible electrical solution for making the press closing movement.

The thesis includes the description of plywood manufacturing process, the application of the hot-press, in which the structural definitions of the press are proved with formulas. New design options, as well as clarifications of the results are a part of the thesis. With the help of new options 3D-models, the structures are illustrated, as well as the operation principle.

Keywords

hot pressing, plywood, electric drive

Sisällys

1 Johdanto ... 3
2 Raute Oyj ... 4
3 Työ, tavoitteet ja rajaus ... 6
3.1 Työn esittely ... 6
3.2 Tarkoitus ja tavoite ... 6
3.3 Rajaus ... 7
4 Vaneriteollisuus ... 8
4.1 Vanerin tuotantoprosessi ... 8
4.2 Kuumapuristimen toimintaperiaate ... 18
4.3 Puristusliikkeen vaikutukset levyn ominaisuuksiin ja tuotantokapasiteettiin ... 20
5 Käyttövoiman vertailu ... 22
5.1 Hydrauliikka ... 22
5.2 Sähkömoottori ... 23
6 Uudet toimilaitteen mallit ... 25
6.1 Uudet toimilaitteen malliehdotukset ... 25
6.2 Vaijerikäyttö ... 26
6.3 Nostoliinakäyttö ... 27
6.4 Hihna- ja ketjukäyttö ... 28
6.5 Ruuvikäyttö ... 29
6.6 Hammastankokäyttö ... 30
6.7 Ostokomponentti ... 31
6.8 Uusien toimilaitteiden vertailu ... 32
7 Suunnittelu ... 35
8 Tulosten tarkastelu ... 36
9 Yhteenveto ... 39
Lähteet ... 40

Liitteet

Liite 1. Sähköisen kuumapuristimen vaatimuslista

Sanasto ja käsitteet

Avoinaika	Aika alimman viilun liimoituksesta esipuristuksen alkuun
FT	Pituuden mittayksikkö jalka, 1ft = 305 mm
Hartsi	Kaksikomponettisen liiman puolivalmiste
Jälsi	Ohut solukerros kasvien ulkokuoren alla,
Konenäkö	Digitaaliseen kameranäköön perustuva tunnistus
Ladelma	Liimoitettu levyaihio ennen kuumapuristusta
Lineaarinen	Suoraviivainen
LVL	Laminated veneer lumber, viilusta liimaamalla valmistettu teollinen puutuote
Plastisoituu	Pysyvä muodonmuutos
Purilas	Tukista sorvauksen jälkeen jäänyt pyöreä kappale
Rata-aika	Aika, esipuristuksen loppumisesta kuumapuristuksen alkuun
Toisiovälitys	Välityssuhde, jolla muutetaan haluttua vääntömomenttia tai kierrosnopeutta
Vaneri	Ristikkäin liimatuista puuviiluista valmistettu levy
Vertikaalinen	Pystysuuntainen
Viilu	Tukista leikkaamalla tai sorvaamalla valmistettu ohut puulevy
Zero Waste-ajattelu	Pyritään hyötykäyttämään kaikki materiaali
3D-mallinnus	Kolmiulotteisen tuotteen suunnittelu

1 Johdanto

Tämän opinnäytetyön toimeksiantajana toimii Raute Oyj. Raute on maailmanlaajuinen markkinajohtaja vaneri-, viilu- sekä LVL-toimilaitteiden valmistajana. Työssä perehdytään mahdollisuuteen muuttaa Rauten valmistaman vanerin kuumapuristin joko kokonaan tai osittain sähkötoimiseksi. Kuumapuristimen nykyinen toimintaperiaate perustuu hydrauliikkaan, jonka tilalle etsitään korvaavaa kustannustehokkaampaa sekä ekologisempaa ratkaisua.

Kuumapuristimen toteuttamista sähkökäytöllä on tutkittu Rautella aiemminkin. Erilaisista toimintamalleista on tehty suunnitelmia sekä laskelmia. Kaupallisten ostokomponenttien rajallinen tarjonta vaadittavassa kokoluokassa luo haasteen uusille ratkaisuille. Opinnäytetyön yhteydessä saatuja ratkaisuja verrataan nykyiseen sekä jo aikaisemmin selvitettyyn ostokomponenttiin perustuvaan ratkaisuun. Ostokomponentti on yhteistyökumppanin räätälöimä tuote, joka on yksi varteenotettava vaihtoehto puristimen uudeksi toimilaitteeksi.

Opinnäytetyö koostuu teoriaosuudesta, jossa perehdytään vanerin valmistusprosessin eri vaiheisiin. Puristusliikkeen toteuttamisesta erilaisilla toimintamalleilla, sekä niiden suunnittelusta, soveltuvuuden arvioinnista, puristimen liikkeen sekä liikevoimien laskennasta sekä vaihtoehtojen karkeasta 3D-mallinnuksesta. Toimilaitteita verrataan toisiinsa sekä nykyiseen ratkaisuun pisteytys menetelmän perusteella.

2 Raute Oyj

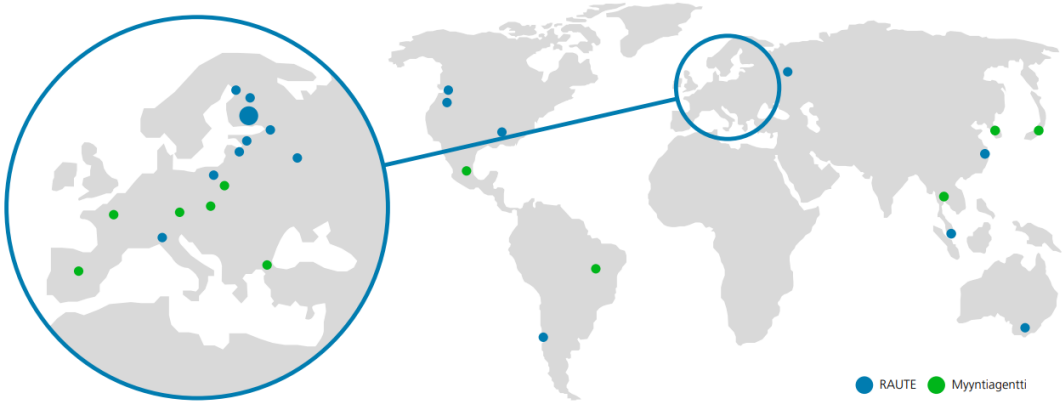
Raute on suomalainen vaneri-, viilu- ja LVL-teollisuuslaitteita valmistava yritys, jonka historia ulottuu 1900 luvun alkuun. Vuonna 1906 P. Kuivalainen perusti konepajan vanhan splinttitehtaan tiloihin Lahden Vesijärvenkadulle. Tämä aloitti Rauten pitkän taipaleen kohti puuteollisuus alan suurinta toimijaa. Vuodesta 1908 lähtien Lahden Rauta- ja metalliteollisuus alkoi valmistaa muiden konepajatöiden lisäksi myös sisävesilaivoja sekä höyrykattiloita. Konepajan päätuotteeksi 1930 luvulla tulivat kehä- ja vannesahat, höyläkoneet sekä vanerikoneiden valmistus. Sodan aikaisten ammus sekä sotakorvaustuotteiden valmistuksessa Lahden Rautateollisuus loi hyvät suhteet naapurimaa Neuvostoliittoon. (Arkistonmuodostaja 2021.)

1980-luvulle asti Lahden rautateollisuus oli ollut vahvasti Mustakallioiden suvun omistuksessa. Heikki Mustakallion aikakaudella yhtiö kasvoi ja konsernin rakennetta oli uudistettava, jotta sen kasvun sekä kehityksen olisi mahdollista jatkua. Vuonna 1983 yhtiön nimi lyheni Lahden rautateollisuudesta Raute Oy:ksi ja ensimmäinen suvun ulkopuolinen toimitusjohtaja palkattiin tehtävään 1985. (Hassinen 2016.)

Raute Oy listautui Helsingin arvopaperipörssiin vuonna 1994 (Salo 2019). Raute Oyj:n A-osakkeen arvo 19.4.2020 on 24,00 euroa. A-osakkeiden lukumäärä on 3 272 033 kappaletta ja K-osakkeiden 991 161 kappaletta. Yhtiön osakepääoma on 8 256 316 euroa. (Raute Oyj 2021a.)

Tänä päivänä Raute Oyj on kansainvälinen alansa johtava teknologia- ja palveluyritys. Rauten asiakkaat ovat kotimaisia ja kansainvälisiä puutuoteteollisuuden toimijoita, jotka jatkojalostavat puuta vaneri sekä LVL- tuotteiksi. Raute suunnittelee sekä valmistaa LVL- ja vaneriteollisuudelle yksittäisiä laitteita sekä kokonaisia tuotantolinjoja. Raute onkin maailmanlaajuisesti johtavassa asemassa tällä toimialueella. Koko maailman vaneriteollisuuden koneista Raute valmistaa 15–20 prosenttia ja LVL-tuotannossa käytettävistä koneista yli puolet. (Raute Oyj 2021b.)

Rauten toimipisteitä on maailmaanlaajuisesti kymmenessä maassa, joiden globaali sijoittuminen on esitetty kuvassa 1. Toimipisteitä on mm. Kanadan Vancouverissa, Kiinan Shanghaissa, USA:n Pullmanissa sekä Suomessa Kajaanissa ja Lahdessa. Lahdessa sijaitsee yhtiön pääkonttori. (Raute Oyj 2021b.) Rauten henkilöstön määrä vuonna 2020 oli yli 750 henkilöä, josta suurin osa työskentelee yrityksen Lahden Nastolassa sijaitsevassa toimipisteessä. Yhtiön liikevaihto oli vuonna 2020 115 miljoonaa euroa. (Raute Oyj 2021c.)



Kuva 1. Rauten toimipisteet ja myyntiagentit

3 Työ, tavoitteet ja rajaus

3.1 Työn esittely

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin Raute Oyj:n valmistaman vanerin kuumapuristimen mahdollista muutosta joko kokonaan tai osittain sähkötoimiseksi. Vaneritehtaan tuotantoprosessissa kuumapuristin on tärkeässä osassa, joten kuumapuristimen häiriötön toiminta takaa osaltaan koko tuotantoprosessin tehokkaan toiminnan. Nykyisessä toimintamallissa kuumapuristimen avautuminen ja sulkeutuminen sekä levyjen puristamiseen tarvittava paine on toteutettu pelkästään hydraulisylintereillä. Hydraulisylintereiden määrä kuumapuristimessa määräytyy kuumapuristimen koon mukaan. Puristimissa, jossa puristetaan 4x8ft (1 300 x 2 600 mm) kokoisia aihioita on kaksi halkaisijaltaan 400 mm hydraulisylinteriä, 5x10ft (1 750 x 3 200 mm) puristimessa on neljä kappaletta 360 mm halkaisijaltaan olevia sylintereitä ja suurimmassa 7x13ft (2 200 x 4 100 mm) mallisessa puristimessa on kuusi hydraulisylinteriä, joiden halkaisija on 400 mm.

Kuumapuristin on vaneritehtaan yksi suurimmista laitteista, jonka perustuksiin pitää kiinnittää erityistä huomiota. Kuumapuristimessa liikkuvat suuret massat. Massa, jota puristusliikkeessä joudutaan liikuttamaan, vaihtelee tyypillisesti 70 000 kilosta yli 90 000 kiloon. Liikuteltavat massat muodostuvat puristimen lämpölevyistä, alajäykistepöydästä sekä puristettavista aihioista. Uutta ja korvaavaa vaihtoehtoa kartoittaessa puristimen lämpölevyjen vertikaaliseen liikuttamiseen pitää huomioida suuret massat, joita puristimessa liikutetaan.

3.2 Tarkoitus ja tavoite

Opinnäytetyön tarkoituksena on tarkastella mahdollisia uusia vaihtoehtoja kuumapuristimen avaus- ja sulkeutumisliikkeen eli niin sanotun pikaliikkeen toteuttamiseksi. Vaadittava puristuspaine levyjen valmistuksessa on saavutettava myös uudessa toimintaperiaatteessa. Ekologisuus on nykyteknologiassa näkyvä arvo, jota laitetoimittajat pyrkivät omalta osaltaan edistämään.

Työn tavoitteena on löytää toteutuskelpoinen toimintaperiaate, jolla saavutetaan samat ominaisuudet kuin nykyiselläkin toimintatavalla. Uuden toimintaperiaatteen pitää vastata sille asetettuihin tarkkoihin parametreihin. Uuden toimintaperiaatteen pitää pystyä myös tuottamaan lisäarvoa, jotta se voi edetä aina tuotantoon saakka. Tavoitteena uudelle toimintaperiaatteelle on teknisesti toteutettava, kokonaiskustannuksiltaan edullisempi, nopeampi puristimen pikaliikkeen nopeus, joka mahdollistaa tehtaan tuotantokapasiteetin kasvamisen.

3.3 Rajaus

Vanerituotannossa kuumapuristin on tärkeässä osassa tuotantoprosessia. Kuumapuristusyksikkö käsittää levyaihioita täyttöhissiin syöttävän syöttölaitteen, täyttöhissin, kuumapuristimen sekä purkuhissin ja purkupuolen levykuljettimet. Tästä opinnäytetyöstä on rajattu pois kuumapuristimen ympärillä olevat toimilaitteet ja keskitytty pelkästään puristimen puristus ja pikaliikkeen toteutukseen sähköisillä toimilaitteilla.

Opinnäytetyössä tarkastelussa olevat kuumapuristimet ovat Rauten valmistamia monivälipuristimia. Väliluku puristimissa vaihtelee 15–50 välin välillä. Puristimen tyypilliset koot ovat 4x8ft, 5x10ft ja 7x13ft. Sähköisen toimilaitteen on oltava soveltuva kaikille puristinmalleille.

Suunnittelussa ja mitoituksessa otetaan huomioon kaikki laitteeseen kohdistuvat rajoitteet sekä vaatimukset niin hyvin kuin ne tehtävän kannalta on mahdollista. Eri toimilaiteratkaisuista laaditaan kustannusarviot pyydettyjen tarjousten perusteella ja mallinnetaan karkeat 3D-mallit. Toimilaite suunnitellaan teoriatasolla, joten siitä ei valmisteta fyysistä tuotetta, jonka toimintaa voitaisiin käytännössä testata ja tarkastella.

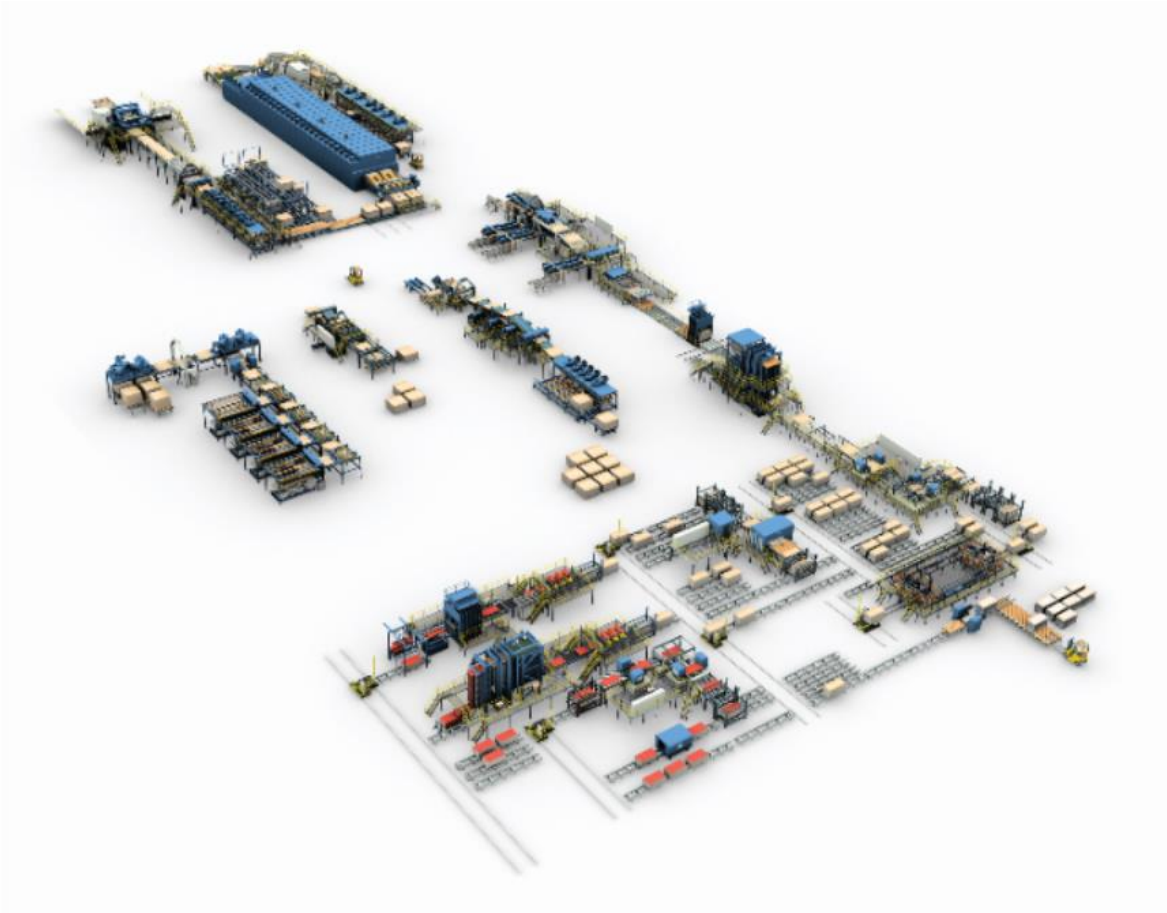
4 Vaneriteollisuus

4.1 Vanerin tuotantoprosessi

Vanerin valmistus etenee tarkasti suunnitellussa prosesseissa tuotantovaiheesta seuraavaan. Kuvassa 2 on esitetty tyypillinen Rauten laitteista koostuva vaneritehtaan tuotantolinja kokonaisuudessaan. Jokaisella tuotannon eri vaiheella on merkitystä lopullisen tuotteen laadun kannalta, jokaisessa prosessin vaiheessa onkin varmistuttava lujuuden sekä muiden laatuvaatimusten täyttymisestä. (Varis 2017, 47.)

Vaneritehtaiden automatisointi on parantanut vaneritehtaiden käyttösuhdetta. Käyttösuhde on prosentuaalinen luku. Se kertoo, kuinka paljon valmista vaneria saadaan tehtaaseen syötettyä tukki kuutiota kohden. Keskimääräinen saanto koivuvanerilla on 35 % ja havuvanerilla 45 %. Se tarkoittaa, että jokaista valmista koivuvaneri kuutiota kohden tarvitaan 2,9 kuutiometriä tukkeja ja havuvanerilla tarvittava määrä on 2,2 kuutiometrejä tukkeja. Tukkikuutiometrien mittaus tapahtuu kuoren päältä, joten kuorikin lasketaan osaksi puusta saatavaa saantoa. (Varis 2017, 47.) Kuori on osa vaneritehtaan sivutuotteita, jotka yhdessä muiden sivutuotteiden kanssa muodostavat 7–12 prosentin osuuden vaneritehtaan liikevaihdosta (Varis 2017, 106).

Vanerin valmistuksessa syntyvät sivutuotteet pyritään hyödyntämään kokonaisuudessaan Zero Waste-ajatteluksi teollisuuden toimialoilla. Valmistusprosessissa syntyviä sivutuotteita ovat kuori, pöllin tasauksesta sekä oikaisusta syntyvät kappaleet, purilas, puru sekä viilujen leikkaamisesta ja levyjen sahaamisesta tulevat kappaleet. Vaneritehtaan sivutuotteita voidaan hyödyntää energiatuotannon lisäksi myös jatkojalostettuna muilla teollisuuden aloilla. (Varis 2017, 106.) Hakkeen suurin käyttö on sellun sekä paperin tuotannossa. Purun käyttö jakautuu tasaisesti energia-, sellu- ja levyteollisuuden tarpeisiin. Tukin kuorta käytetään energiatuotannon lisäksi, myös maisemointiin. (Sahateollisuus 2017, 46–47.) Tukin sorvauksesta syntyvä purilas hyödynnetään usein myös aluspuina erilaisissa teollisuuden pakkauksissa (Varis 2017, 106).



Kuva 2. Tyypillisen koivuvaneritehtaan tehdaslayout Raute Oyj

Tukin hankinta

Puun korjuu on ensimmäinen askel puuraaka-aineeseen perustuvassa tuotannossa. Raaka-aineen hankinnassa vastuullisuuden merkitys on kasvanut. Kansallinen FFCS (The Finnish Forest Certification System) sertifiointi järjestelmä on puolueeton sertifikaatti, jonka perustana on metsien kestävä hoito. Suomalainen FFCS- järjestelmä kuuluu yleiseurooppalaiseen PEFC-järjestelmään (The Pan European Forest Certification). PEFC merkintä puutuotteessa tai sen pakkauksessa kertoo metsän vastuullisesta hoidosta. (Vanerikäsikirja 2006, 5–8.)

Vaneritehtaiden puunkäyttö on normaalitilanteissa tasaista, jonka vuoksi puun käyttö voidaan ennakoida tehtaalla hyvin. Korjuun operatiivinen suunnittelun pohjana on vastaanoton sekä kuljetuksen suunnitelmallisuus. Oikean varastotason pitäminen niin pysty-, tienvarsi- kuin tehdasvarastoissakin on tavoite, johon pyritään suunnitelmallisella puunkäytön ohjauksella. (Varis 2017, 21.)

Haudonta

Tukkien haudonta ennen sorvausta parantaa viilujen laatua. Tätä menetelmää käytetään vaneri- ja LVL-teollisuudessa. Haudonnassa tukin sisälämpötilaa nostetaan, lämmön ja kosteuden vaikutuksesta puun elastisuus paranee, joka edesauttaa viilun leikkautumista. Elastinen puuaines on pinnaltaan sileämpää, joka parantaa lopputuotetta. Samalla sileämpi viilu vähentää liimankulutusta ja loppuhionnan tarvetta. Hyvällä haudonnalla on myös merkitystä sorvaushalkeamiin. Alapinnan sorvaushalkeamat pienenevät, minkä vuoksi viilujen laatu paranee sekä liiman kulutus vähenee. Haudonta lisää myös viilun poikittaisvetolujuutta. Tämä mahdollistaa viilujen nopeamman käsittelyn linjastolla ilman viilujen vaurioitumista. (Varis 2017, 49–50.)

Tukkien hautomisella on myös vaikutusta sorvin toimivuuteen sekä huoltoon. Pehmeä ja elastinen tukki sorvautuu helpommin, mikä vaatii vähemmän käyttövoimaa sorvilta. Myös tiukkasyiset oksat pehmenevät ja näin ollen sorvautuvat paremmin. Tämä vähentää terien kulutusta. Terähuolto muiden huoltotöiden ohella heikentää tuotantokapasiteettiä. (Varis 2017, 50.)

Yleisin Suomessa käytetty malli on lämminvesihautomoallas. Hautomoaltaan veden lämpötila on keskimäärin yli 40 °C, mutta voidaan tarvittaessa nostaa jopa 85 °C lämpötilaan. Tätä korkeampaa lämpötilaa käytetään ohutlevyviilujen sorvauksen yhteydessä. Tällöin on huomioitava turvallisuusmääräysten erityisvaatimukset. Hautomoaltaassa olevat tukit ovat nipuissa koko haudonta-ajan, joka on noin vuorokausi. Haudontalämpötila on koivulla 50–50 °C ja havutukilla 40–55 °C. Hautomoaltaan veden lämmityksessä hyödynnetään viilunkuivaamisesta syntyvää lämpöä. Myös voimalaitosten savukaasupesureista saatua lämpöä hyödynnetään hautomoaltaan lämmityksessä. (Varis 2017, 50–51.)

Myös kuorittujen tukkien hautominen on mahdollista. Kuori suojaa puuta värivioilta ja näin ollen puusta saatavien viilujen laatu on parempi. Hautomiseen on käytössä myös erilaisia kamarihautomoja. Näissä voidaan käyttää suoraa tai epäsuoraa höyrykuumennusta tai vesisuihkua sekä niiden yhdistelmiä. Etuna kamarihautomossa on lämminvesialtaita nopeampi haudonta-aika. (Varis 2017, 51.)

Kuorinta

Tukkien kuorinta ennen sorvausta nopeuttaa sorvausprosessia ja samalla tukin kuoressa olevat epäpuhtaudet saadaan poistettua. Tällä estetään terien vioittuminen. Kuori poistetaan mahdollisimman tarkasti tukkien pinnalta aina tukin jälsikerrosta myöden. Kuorinnassa on oltava erityisen varovainen, ettei tukin pintaa vahingoiteta, koska tukin pinnasta saadaan sorvauksessa sen arvokkaimmat pintaviilut. (Varis 2017, 52.)

Kuorintavastusta säädetään joko lisäämällä tai vähentämällä kuorinnassa vaadittavaa puristuspainetta. Tukkien kuorintavastuksissa on merkittäviä eroja eri puulajien sekä niiden lämpötilojen välillä. Puun lämpötila on suoraan verrannollinen puun ja kuoren sidoslujuuteen. Lämpötilan laskiessa sidoslujuus tukin ja kuoren välillä kasvaa. Kuoren jäätyessä kuorimisen vaikeus kasvaa merkittävästi. (Varis 2017, 52–53.)

Katkonta

Tukit katkotaan oikeisiin sorvipöllipituuksiin automatisoidusti toimivilla heiluri- tai ketjusahoilla. Sahat toimivat hydraulisesti ja niiden sahaussykli on keskimäärin 6 sekuntia. Halkaisijaltaan yli 800 mm olevilla tukeilla sahauksessa käytetään pelkästään ketjusahoja. (Varis 2017, 54.)

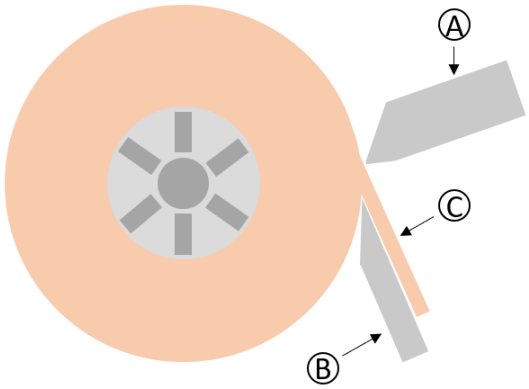
Sahauslinjassa on kiinteät vasteet yleisimmille pöllimitoille, jotka ovat 130, 160 ja 260 cm. Sahauslinjassa on myös servo-ohjattu vaste, jos halutun pöllin mittaa pitää muuttaa nopeasti. Katkonnan jälkeen pöllit siirtyvät pitkittäiskuljettimilla välivarastoon ennen sorvausta. (Varis 2017, 54.)

Sorvaus

Viilusorvi on yhdessä XY-keskittäjän kanssa sorvauslinjan ensimmäinen laite. XY-keskittäjä optimoi parhaan viilun saannon pöllistä ja on tämän vuoksi tärkeässä osassa vaneritehtaan tuotannossa. XY-keskittäjä mittaa pöllin ja laskee optimaalisimman asennon sorvaussaannin kannalta ja asettaa pöllin siirtokarojen avulla sorvin karoihin. Tarkan keskittämisen ansiosta pystytään minimoimaan pintaviilun hukka. (Varis 2017, 55–56.)

Karallisissa sorveissa sorvaus aloitetaan pöllin pyöristyksellä. Sorvin nopeus pyöristyksen aikana on usein nopeampi kuin sorvauksessa. Pyöristys nopeutena käytetään yleisesti 300–350 m/min ja sorvausnopeutena 250–300 m/min. Pyöristyksessä syntyvä hukka ohjataan roskaläpän kautta hihnakuljettimelle, joka kuljettaa jätteen hakkurille, josta ne menevät yleensä tehtaan omaan energiatuotantoon. Roskaläpän leikkaava reuna oikaisee sulkeutuessaan viilun reunan sekä ohjaa valmiin viilun viiluradalle. (Varis 2017, 58.)

Viilu sorvataan kuvan 3 mukaisesti, jossa valmis viilu C tulee leikkaavan terän B sekä vastaterän A välistä. Leikkaava terä sekä vastaterä ovat kiinni teräpenkissä, jota ohjataan asemaohjauksella. Tällä menetelmällä liikkeiden tarkkuudeksi saadaan 0,01 mm. Tukkien haudonnan korkea lämpötila voi aiheuttaa teräpenkin lämpöelämistä ja tästä johtuvia toleranssivaihteluita voidaan pienentää teräpenkin lämmityksellä. (Varis 2017, 58–59.)



Kuva 3. Viilun sorvauksen asetus ja toimintaperiaate

Viilun paksuuden säätäminen portaattomasti sorvauksen aikana mahdollistaa parhaan saannon pöllistä. 1,5 mm koivuviilulla paksuustoleranssi on ±0,05 mm. Jos valmistusprosessin seuraavat vaiheet sallivat nimellispaksuuden pienentämisen 0,01 mm lähemmäs alarajaa saadaan pöllistä keskimäärin 150 mm parempi viilusaanto. (Varis 2017, 59.)

Kuivaus

Viilujen kuivaamiseen on käytössä kahden tyyppisiä kuivaimia: telakuivain ja verkkokuivaaja. Molempien kuivaajien toimintaperiaate on sama, kuivausprosessissa lämmintä ilmaa puhalletaan viilun molemmille puolille. Ohuiden koivuviilujen kuivausaika on noin kolme minuuttia, kun vastaavasti paksummilla havuviiluilla kuivausaika on jopa viisinkertainen. (Varis 2017, 64.)

Puussa esiintyvä vesi on puun soluonteloissa sekä soluseinämiin sitoutuneena. Tuoreenpuun kuivaamisessa vesi poistuu ensimmäiseksi puun soluonteloista. Kuivauksen saavutettua puunsyiden kyllästymispisteen, alkaa soluseinämiin varastoitunut vesi poistumaan puusta. Kyllästymispiste on tyypillisesti suomalaisilla puulajeilla noin 30 %. (Koponen 2002, 50.)

Viilun kutistuminen kuivauksen aikana on otettava huomioon jo viilun sorvausvaiheessa. Sorvatun viilun kutistuma tangentin suunnassa on koivuviilulla 8 % ja havuviilulla 6 %, viilun loppukosteuden ollessa 5 %. Säteensuuntainen kutistuminen on pienempi. (Koponen 2002, 51.)

Kuivausprosessia on ohjattava hallitusti. Jos veisi poistuu liian nopeasti puusta voi se aiheuttaa jännityksiä ja vahingoittaa viilua. Kuivauksen kosteutta säädelläänkin parhaan viilulaadun saamiseksi. Kuivausprosessi käyttää yli puolet vaneritehtaan lämpöenergiasta,

joten oikein optimoitu kuivausilman kosteus pienentää myös energian tarvetta. Kuivauksessa syntyvä hukkaenergia ohjataan vaihtimien kautta tuotantotilojen sekä hautomoaltaan lämmitykseen. (Varis 2017, 64–65.)

Viilujen lajittelu

Viilut lajitellaan kuivausprosessin jälkeen lopullisen laadun mukaan. Jokaiselle viilulaadulle on asetettu omat laatukriteerit, jonka perusteella viilut lajitellaan. Konenäkö viilujen lajittelun perustana takaa yhdenmukaisen sekä tasaisen laadun viilujen lajittelussa. Konenäkö pystyy havaitsemaan viilusta erilaiset vikaisuudet kuten oksat, pihkakolot, halkeamat ja repeämät. Lahot ja sinistymät sekä erilaiset pinnan värivikaisuudet voidaan havaita viilusta prosessin aikana. (Varis 2017, 67.)

Vaneri luokitellaan sen pintaviilun mukaisesti. Luokittelussa käytetään EN-625-normia. Eri laadun määritteet perustuvat ISO 2426-standatdiin. Viilut lajitellaan neljään eri laatuluokkaan, jotka ovat koivuviiluilla B, S, BB ja WG. Koivuviiluilla on myös harvemmin käytetty luokka A, joka on täysin virheetön viilulaatu. Myös havuvaneri lajitellaan pintaviilun mukaisesti luokkiin I, II, III ja IV. (Vanerikäsikirja 2006, 9–11). Vanerin sisäviiluilla ei ole visuaalisuuteen perustuvaa standardia, vaan lopullinen käyttötarkoitus määrää sisäviilujen laadun sekä niiden tekniset ominaisuudet. (Varis 2017, 69.)

Saumaus, jatkaminen ja paikkaus

Viilun saumaaminen lisää huomattavasti pöllistä saatua viilun saantoa. Saumaamisessa viilusta leikataan ne viat pois, jotka ovat liian isoja paikkauksessa korjattaviksi. Sisäviiluiksi menevät viilut saumataan liimalangalla, joka mahdollistaa jopa 50 mm levyisten kappaleiden saumauksen. Pintaviilujen saumauksessa viilun saumattavat sivut höylätään, jonka jälkeen viilun höylätyt sivut liimataan. Puskusaumassa oleva arkki puristetaan paineilmatoimisessa kuumapuristimessa valmiiksi.

Viilun jatkamisen tarkoitus on saada vanerin keskiviilujen syysuunnan pituus valmiin levyn leveysmitan mukaiseksi. Koivuvanerin valmistuksessa käytettyjen tukkien mitat eivät suoraan riitä näihin mittoihin, jonka vuoksi viiluja on jatkettava. Jopa 45 prosenttia koivuviiluista joudutaan jatkamaan vanerin ristiin liimatun rakenteen vuoksi. Havutukkien pituus on riittävän pitkä, jonka vuoksi niiden jatkamiseen ei yleensä ole tarvetta. (Varis 2017, 74.)

Viilun jatkamisessa viiluarkin päät viistetään molemmista päistä 20–25 mm matkalta. Viisteen pituus määräytyy viilun paksuuden mukaan. Viilun jatkamisessa puskusaumalla ei saavuteta tarpeeksi suurta lujuutta, jonka vuoksi viilun jatkamisessa käytetään viistettä. Viilu viistetään pyörösahoilla, jonka jälkeen viiste liimoitetaan. Liimoittamisessa käytetään

samaa liimaa, jolla viilut liimataan ennen kuumapuristusta. Liimoituksen jälkeen viilujen jatkoskohta puristetaan kuumapuristimella. (Varis 2017, 74–75.)

Viilujen paikkauksella voidaan nostaa pintaviilun laatuluokkaa ja lisätä pintaviilujen määrää, jonka saannosta on usein pulaa vaneriteollisuudessa. Ainoastaan parhaimmissa A ja B luokissa ei sallita pintaviilussa olevia paikkoja. (Varis 2017, 76.)

Kehittyneen kameratekniikan ansiosta viilujen analysointi on nopeutunut ja laatustandardi on vakioitunut. Automatisoituun paikkauslinjaan on asetettu parametrit, joiden mukaan viiluissa olevat viat korjataan. Manuaalisissa paikkausyksiköissä pintaviilujen paikkaus tarve perustuu operaattorin havaintoihin, joka voi vaihdella eri operaattoreiden välillä. (Varis 2017, 77–79.)

Liimaus

Vanerilevyjen liimauksessa käytetään pääasiassa fenoliformaldehydi- sekä ureaformaldehydipohjaisia hartseja. Liimat koostuvat hartsista, kovetteesta sekä vedestä. Kovete on jauhemaista, joka sisältää kovettavia-, täyte- ja jatkosaineita. Täyte- ja jatkojalostusaineiden avulla liiman ominaisuuksia voidaan säädellä. Liiman valmistuksessa on otettava huomioon monia eri tekijöitä, joilla on vaikutusta liimausprosessiin. Vaikuttavia tekijöitä liiman valmistuksessa ovat hartsin ikä, liiman imeytyminen viiluun, viilujen ladonta-aika, viilujen avoin aika ennen esipuristusta sekä aika esipuristuksen ja kuumapuristuksen välillä. Myös vuodenaikojen kosteusvaihtelut on otettava huomioon liiman valmistuksessa. (Varis 2017, 81.)

Yleisempi liimatyyppi suomalaisessa vaneri- ja LVL-teollisuudessa on fenoliformaldehydihartsi. Ureaformaldehydihartsipohjaisia liimoja käytetään, kun vanerilevyltä vaaditaan väritön liimaussauma. Ureaformaldehydihartsipohjaiset liimat täyttävät eurooppalaisen EN-314-2 standardin käyttöluokissa 1 (kuivat olosuhteet) ja 2 (kosteat olosuhteet, suojatuissa ulko-olosuhteissa). Kuumapuristuksessa ureaformaldehydihartsipohjaisilla liimoilla puristuslämpötila on matalampi ja puristuksen perusaika noin puolet lyhyempi kuin fenoliliimalla. Liimoitettujen levyjen rata-aika on puolet lyhyempi, joka on siten otettava tehdassuunnittelussa huomioon. (Varis 2017, 238–239.)

Fenoliformaldehydihartsipohjaiset liimat täyttävät myös eurooppalaisen standardin EN-314-2 käyttöluokan 3 (ulkokäyttövaatimukset täyttävä). Fenoliformaldehydiliima täyttää saksalaisten DIN 68705, BFU 100 ja BFU 100G sekä brittiläisen BS 6566 WBP- ja MR-standardien vaatimukset. (Varis 2017, 235–239.)

Liiman levitystapoina käytetään useimmiten tela- verho- tai juovalevitystä. Ruisku- ja vaahtolevityksen käyttö viilujen liimoituksessa on vähäistä. Tela- eli valssilevitys on perinteinen viilujen liimoituksessa käytetty liimaustapa. Viilu syötetään telojen lävitse, jotka levittävät

liiman viilun molemmille puolille. Valssilevityksessä liiman kulutus on noin 150–250 g/m^2. Verho- ja juovalevityksessä viilu liimoitetaan yksipuoleisesti viilun yläpuolelta. Liiman levitysmäärä verholevittimessä on pienin 125–170 g/m^2 ja juovalevittimessä 140–170 g/m^2. Verho- ja juovalevittimen etuina ovat, että ne soveltuvat myös LVL- teollisuudessa viilujen liimoitukseen. (Varis 2017, 82–83.)

Vanerilevyn rakenteessa joka toisen viilun syysuunta on ristikkäin. Valmis vanerilevy koostuukin pintaviilusta sekä pitkästä ja lyhyestä sisäviilusta. Viilujen syysuuntaa kuvataankin viilun rakenteessa I ja – symboleilla. (Varis 2017, 80.) Viilujen ladonta tapahtuu joko operaattorin toimesta tai moderneissa tuotantolaitoksissa automatisoidusti. Ladonnassa viilut tulevat automatisoidusti oikeassa järjestyksessä. Kone syöttää oikean määrän väliviiluja pintaviilujen väliin, jotta haluttu levypaksuus saavutetaan. (Varis 2017, 84.)

Esipuristaminen

Esipuristuksella estetään liiman kuivumista viiluissa ennen levyjen kuumapuristusta. Myös liiman tarttuvuus viiluun paranee esipuristuksen aikana. Esipuristus mahdollistaa liimoitetuille aihioille pidemmän rata-ajan, joka vaihtelee liiman ominaisuuksista riippuen kahdesta neljään tuntiin. Onnistuneen liimauksen saavuttamiseksi liima ei saa kuivua ladonnan ja esipuristuksen välillä. (Varis 2017, 86.)

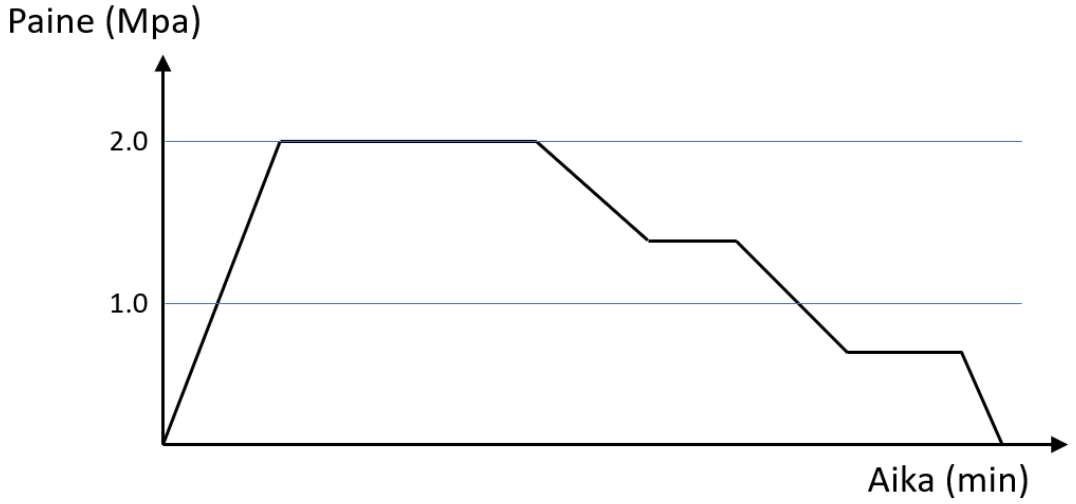
Liimoitettujen viilujen ladelmapinkka syötetään esipuristimeen, joka puristaa koko ladelmapinkan yhtäaikaisesti. Esipuristukseen käytetty aika määräytyy puristettavan materiaalin mukaan. Puristusaika on keskimäärin 6–10 minuuttia. Esipuristimessa puristuspainen on kuumapuristinta pienempi, keskimääräinen puristuspaine esipuristuksessa on 1,0 MPa (10 bar). (Varis 2017, 86.)

Kuumapuristaminen

Esipuristetun vaneriaihion siirryttyä lämpölevyn päälle alkaa lämmönjohtuminen levyyn. Levyn lämpeneminen voimistuu puristimen sulkeuduttua ja puristuspaineen noustessa. Puristuspaineen ja lämpötilan vaikutuksesta fenoli- ja urealiimojen viskositeetti laskee. Liiman viskositeetin laskemisen myötä liima alkaa imeytymään viiluihin. Liimasauman saavutettua riittävä lämpötila alkaa liimassa kondensaatioreaktio. (Koponen 2002, 71.) Fenoliformaldehydi- ja ureaformaldehydiliimat vaativat kovettuakseen 100 °C lämpötilan (Varis 2017, 86). Kondensaatiossa liiman viskositeetti alkaa kasvamaan ja liimasaumat kovettuvat. Puristuspaineessa olevassa levyssä tapahtuu kosteuden siirtymistä levyn pinnoilta levyn keskiosiin, jonka seurauksena puu plastisoituu. Puristuspaineen laskeminen puristuksen loppupuolella vähentää levyn kokoonpuristumista ja levyn plastisointumista. Levyjen rikkoutumisen estämiseksi puristimen painetta lasketaan vähitellen, jotta vesihöyry vapautuu hallitusti pois

levystä. Levyissä oleva vesi höyrystyy puristimen avautuessa, jonka vuoksi liiallinen vapautuva höyry voi rikkoa levyn liimasaumoja. (Koponen 2002, 71.)

Koivuvanerin kuumapuristuksen puristuskäyrä on tyypillisesti kuvan 4 mukainen. Puristimen paine nostetaan maksimiarvoon, joka on koivuvanerilla 1,5–2,0 MPa ja havuvanerilla 1,0–1,5 MPa. Levyn puristusaika määräytyy levyn paksuuden ja käytettävän liiman mukaan. Fenoliliimalla puristuksen perusaika on 2–3 minuuttia, johon lisätään 30 sekuntia jokaista levyn paksuusmillimetriä kohden. Urealiimoilla sekä muilla voimakkaasti reaktiivisilla liimoilla kuumapuristuksen perusaika on tyypillisesti lyhyempi. (Varis 2017,86.)



Kuva 4. Koivuvanerin puristuskäyrä

Ohuempia levyjä puristettaessa tuotannon kapasiteettia on mahdollista lisätä puristamalla kahta levyä samanaikaisesti. Tällöin levyjen välisen sauman ei tarvitse saavuttaa puristus ohjeen mukaista lämpötilaa, jolloin puristus aika on lyhyempi kuin vastaavan paksuisella yksittäisellä levyllä. (Varis 2017, 88.)

Sahaus

Kuumapuristuksen jälkeen koivuvanerit sahataan oikeaan mittaansa. Jos tehtaalla on käytössään automatisoitu kittaus, niin silloin havuvanerin sahaus tapahtuu pääsääntöisesti vasta kittauksen jälkeen. Ladonta vaiheessa vaneriaihioon on muodostunut ns. kova reuna, jonka mukaan levy asemoidaan sahauslinjaan. Sahausvaraa levyaihioissa on yleisesti 40–100 mm. Pinnoitukseen menevät koivuvaneri sahataan pinnoitusaihion mukaan ja levyjen lopullinen sahaus tapahtuu vasta pinnoituksen jälkeen. (Varis 2017, 90.)

Sahalinjojen kapasiteetti on tyypillisesti 15–20 levyä minuutissa. Sahauksen toleranssiksi on asetettu ±1.0 mm / m, mutta uusilla sahoilla päästään jopa ±0.3 mm / m. Sahausyksiköihin voidaan asentaa piirtoterä, jonka avulla varsinkin vanereiden reunan sahauslaatu paranee. Levyn sahauksessa käytettävien terien halkaisijat ovat tyypillisesti piirtoterällä 300 mm ja leikkuuterällä 400 mm ja terien pyörimisnopeus 3 000–4 000 rpm. (Varis 2017, 90.)

Kittaus

Kittauksen tarkoituksena on parantaa vanerin pintalaatua. Levystä korjataan oksanreiät, pihka- ja kaarnakolot, liiman läpilyönnit, painaumat, halkeamat sekä limittymät. (Varis 2017, 91.) Koivuvanerien kittausprosessi on pääosin vielä manuaalista. Se tehdään operaattorin toimesta levyn kummallekin puolille. Havuvanerin tuotannossa automatisoidut linjat ovat yleistyneet ja havuvanerin pinta korjataankin pääsääntöisesti vain toiselta puolelta. (Mäkinen 2021.) Korjattavia kohtia koivuvanerissa on keskimäärin alle viisi kappaletta. Havuvanerissa korjaustenmäärä on kaksin- tai kolminkertainen (Varis 2017, 92).

Automatisoidussa kittauslinjassa konenäkö kuvaa levyn yläpinnan ja alipainekuljetin ohjaa levyyn kittausasemalle. Automatisoidun kittauslinjan toiminta perustuu konenäköön, joka tunnistaa korjattavat virheet ennalta määritettyjen laatuvaatimusten perusteella. Kittaussoluissa käytettyjen 3D-kameroiden avulla levystä voidaan erottaa jopa 0.3 mm kokoiset halkeamat. (Varis 2017, 91–92.)

Hionta

Hionnassa levyn paksuus kalibroidaan oikeaan paksuuteen ja levyn pinta hiotaan sileäksi. Levyt siirretään levypinnoista hiontalinjalle yksi levy kerrallaan imukuppitarttujalla. Vaneritehtaan hiontalinjan kapasiteetti on keskimäärin 10–30 levyä minuutissa. (Varis 2017, 93.)

Vaneriteollisuudessa käytetyt hiontakoneet ovat tyypillisimmin leveänauhahiomakoneita. Hiontakoneessa on 1–4 hiontayksikköä, jotka hiovat levyn sekä ala- että yläpuolelta. Ensimmäinen hiontayksikkö kalibroi levyn paksuuden ja käytetty hiomanauhan karkeus on tyypillisesti 60. Toisessa yksikössä nauhan karkeus on tyypillisesti 80 ja levyn pinnan viimeistelevissä kolmannessa sekä neljännessä yksikössä nauhan karkeus 100–120. Hiomanauhoissa oleva karkeusluku kertoo hiomanauhassa olevien rakeiden määrän pinta-alaa kohden. Karkeuden määrittävä mesh-arvo on sitä suurempi mitä hienompi on hiomapaperi. (Varis 2017, 93–94.)

Pinnoittaminen

Teknisten ominaisuuksien parantamiseksi levyt voidaan pinnoittaa erityyppisillä materiaaleilla, kuten fenolifilmillä, melamiinilla ja muilla erikoistuotteilla. Pinnoituksessa koivuvaneri

on yleisin materiaali, mutta combi- peilicombi- ja havuvaneri voidaan myös pinnoittaa. Tummanruskea on pinnoituskalvoissa yleisin väri, mutta kalvoja on saatavissa myös harmaana, keltaisena, punaisena, vihreänä, mustana sekä vaaleanruskeana. Levyn pinnoitteen paksuus ilmoitetaan yksiköllä g / m^2. Yleisin pinnoituskalvon paksuus on 120 g / m^2, mutta levyjä on saatavana myös 170, 220 ja 440 g /m^2 olevilla pinnoitteilla. (Vanerikäsikirja 2006. 14–15.)

Pinnoitus tapahtuu joko moniväli- tai pikatahtipuristimilla. Pinnoituksen vaatima puristuspaine on noin kymmenen prosenttia suurempi kuin tavallisessa kuumapuristimessa. Moniväli puristimessa puristimen lämpötila on 130–140°C ja puristus aika 4–7 minuuttia. Pikatahtipuristimen lämpötila on puolestaan korkeampi noin 165–200 °C ja puristus aika 30–90 sekuntia riippuen pinnoitteen paksuudesta. Levyn pintaan levitetty pinnoitusarkki kiinnitetään levyyn kolvaamalla. Levyn molemmille puolille tehdään sähkövaraus, mikä pitää pinnoitteen paikallaan ennen puristusta. Pinnoituspuristimen sulkeutumisajalla on suuri merkitys pinnoituksen onnistumisen kannalta. Pinnoituspuristimessa voidaan käyttää viiraverkkoa tai manttelilevyä, joilla levyn pintaan saadaan karhea kuvio. (Varis 2017, 117–118.)

4.2 Kuumapuristimen toimintaperiaate

Kuumapuristimen asento on yleisesti vertikaalinen. Puristettavat levyt syötetään puristimeen vaakatasossa, kuten on esitetty kuvassa 5, jossa on Rauten valmistama vanerin esi- ja kuumapuristin linja. Tämä mahdollistaa erikokoisten levyaihioiden tasaisen puristamisen yhdellä puristin koolla. Puristimen koko ja sen välien lukumäärä riippuu valmistettavasta tuotteesta ja tehtaan kapasiteetista. Esipuristetut levyt syötetään syöttölaitteeseen, josta ne ohjataan yhtäaikaisesti kuumapuristimeen. Syöttölaitteen siirtäessä esipuristetut levyt kuumapuristimeen, työntää syöttölaitteen tabletin etureuna puristetun levyn pois kuumapuristimesta. Puristettu levy työnnetään toisella puolella olevaan purkuhissiin, josta ne edelleen menevät reunasahaukseen sekä tarvittaviin pintakäsittelyihin. Syöttölaitteen poistuessa puristimen sisältä pitävät pidätysvasteet levyn paikallaan puristimessa. Pidätinvasteiden paikka säädetään jokaisen levykoon mukaan, jotta puristettava aihio olisi keskellä lämpölevyjä. Näin puristuspaine saadaan jakautumaan tasaisesti levyyn, mikä pienentää levyn paksuuseroja.

Kuumapuristimen avoimen ajan pituus on keskimäärin noin yksi minuutti. Avoin aika on hukka-aikaa, joka pyritään minimoimaan kuumapuristusprosessissa (Suomalainen 2021). Avoinaika alkaa puristuspaineen päätyttyä, jolloin puristin alkaa aukeamaan ja päättyy puristimen sulkeuduttua ja paineen taas noustessa puristimessa. Puristimen ollessa auki syöttölaite syöttää uudet aihiot puristimeen mihin kuluu keskimäärin noin 30 sekuntia avonaisesta ajasta.

Kuumapuristin suljetaan samoilla hydraulisylintereillä, joilla muodostetaan paine levyn puristuksessa. Puristimen sulkuliikkeen pituus määräytyy puristimen väliluvun sekä avauman mukaan. Esimerkiksi 48 välisellä puristimella, jolla avauma on 90 mm nostoliike on suurimmillaan 4 320 mm.

Kuumapuristuksessa vaneriaihion tulee saavuttaa sille vaadittu lämpötila sekä paine. Lämpölevyistä puristuspaineessa siirtyvän lämmön tulee saavuttaa levyn keskisaumassa fenoli- sekä urealiimoilla 100 °C lämpötila (Varis 2017, 86). Puristimen sylinterit tulee mitoittaa siten, että niillä saavutetaan vaadittava paine puristettavassa levyssä. Koivuvanerin puristuspaine on 1.5–2.0 MPa ja havuvanerilla hieman matalampi 1.0–1.5 MPa (Varis 2017, 86). Puristimen toiminnan tekniset vaatimukset kuten sylinterien mitoitus, hydrauliikalta vaadittava paine sekä puristusliikkeen toteuttamiseen vaaditun voiman mitoitus, voidaan johtaa paineen laskentakaavasta $p = \frac{F}{A}$ (Kauranne, Kajaste, Vilenius 2003, 20).

Puristusliikkeen toteuttamiseen vaadittavan voiman laskentakaava on $F_1 = p_1 * A_1$

Sylinterinmännän halkaisijan pinta-alan laskentakaava on $A_2 = \frac{F_1}{p_2}$

Puristusliikkeen hydrauliikan paineen laskentakaava on $p_2 = \frac{F_2}{A_2}$

A_1 = puristettavan aihion pinta-ala (m_2)

A_2 = hydraulisylinterin männän pinta-ala (m_2)

F_1 = puristusliikkeen vaadittava voima (N)

F_2 = hydraulisylintereiden kuormitus (N)

p_1 = vaadittava levyyn kohdistuva paine (Pa)

p_2 = hydrauliikkaliikkeen vaadittava paine (Pa)

Kuva 5. Vanerin esi- ja kuumapuristinlinja Raute Oyj

4.3 Puristusliikkeen vaikutukset levyn ominaisuuksiin ja tuotantokapasiteettiin

Levyn teknisiin ominaisuuksiin puristimen nopeammalla sulkeutumisliikkeellä ei löytynyt suoraa näyttöä. On toki mahdollista, että puristimen nopeampi sulkeutumisaika vaikuttaisi levyjen rakenteeseen ja ominaisuuksiin. Levystä tehtyjen tikkutestien perusteella viilun pintasaumojen välillä ei ole lujuuteen tai liimautuvuuteen viittaavia eroa (Hirvonen 2021). Tämän perusteella ajalla, jonka levy on avonaisessa puristimessa lämpölevyn päällä ennen puristusliikkeen alkamista, ei ole vaikutusta levyn tekniseen laatuun. Viilujen välisen liiman tasaista kovettumista kuumapuristimessa voidaan tarvittaessa kompensoida liiman eri levitysmäärillä (Hirvonen 2021). Levyn alemmille viiluille voidaan levittää verho- ja juovalevityksessä suurempi liimamäärä, joka mahdollistaa muun muassa ladelmalle pidemmän avoimen ajan (Allinen 2021).

Kuumapuristimen avoinaika on hukka-aikaa, joka pyritään minimoimaan mahdollisimman lyhyeksi. Avoimen ajan pituuteen vaikuttaa muun muassa puristimen välien lukumäärä ja linjan automatisointiaste. (Suomalainen 2021.) Koivuvaneritehtaalla, jonka vuotuinen vanerin tuotanto on 100 000 m^3 sulkeutumisliikkeen nopeuttaminen kahdella sekunnilla ei lisää tuotantokapasiteettiä kuin 0,25 prosenttia. Kuitenkin jos pystytään optimoimaan koko kuumapuristusprosessi ja lyhentämään puristimen avointa aikaa viisi sekuntia saadaan tuotantokapasiteettia lisättyä kuusi prosenttia vuodessa. Nämä toimenpiteet sekä tuotannon optimointi vaativat usein laitepäivityksiä, pitkää kehitystyötä ja seurantaa. Laitteiden kuormitus

kuitenkin lisääntyy, kun liikenopeudet kasvavat. Tästä voi koitua uusia häiriöitä, jotka laskevat tuotantokapasiteettia osaltaan.

Tuotantokapasiteetin kasvun kannalta liiman laadulla on kuitenkin suurempi merkitys kuin pelkän puristusliikkeen nopeuttamisella. Laadukkaamman sekä nopeamman reaktiivisen liiman käyttö lyhentää levyn puristus aikaa, joka nostaa osaltaan tuotantokapasiteettia. (Allinen 2021.) Tavoitteena on saavuttaa mahdollisimman häiriötön prosessi. Liiman laadun sekä levitysmäärän optimointi tuotantonopeuden kanssa ovat kuumapuristuksen kannalta ratkaisevassa osassa.

5 Käyttövoiman vertailu

5.1 Hydrauliikka

Hydrostatiikka perustuu Pascalin lakiin, jonka määritelmä on:

> *”Voiman vaikutus levossa olevaan nesteeseen leviää tasaisesti kaikkiin suuntiin nesteen sisällä. Vallitsevan paineen suuruus nesteessä riippuu vaikuttavasta voimasta ja sen vaikutuspinta-alasta. Paine vaikuttaa kohtisuoraan säiliön seinämiä vastaan”*
>
> (Hydraulitekniikan perusteet 2003,19)

Hydraulitekniikassa nesteen oletetaan käyttäytyvän kiinteän kappaleen mukaisesti. Nesteessä olevat partikkelit ovat lepotilassa, eikä rinnakkaisten nestekerrosten välille synny kitka tai leikkuujännitettä. Tämän kaltaiseen nesteeseen voi vaikuttaa vain pintaelementtiä kohden tapahtuva puristus. Tätä puristusta kutsutaan paineeksi, joka vaikuttaa nesteessä yhtä suuresti kaikkiin suuntiin. (Kauranne ym. 2003, 19.)

Paine on nesteessä oleva vaikuttava voima, joka merkitään fysikaalisena suurena $p = \frac{\mathrm{F}}{A}$

P=paine [N/m^2]

F=voima [N]

A=pinta-ala [m^2]

SI-järjestelmässä paineen yksikkötunnus on Pascal (Pa). SI-järjestelmän mukaisesti 1 Pa = 1 N/m^2, pascal ilmoitetaan usein myös megapascaleina (MPa) jolloin 1 MPa = 10^6 Pa (Kauranne ym. 2003, 20.)

Hydrauliikan avulla toteutettu voimansiirto on monissa käyttökohteissa edullisempi vaihtoehto muihin voimansiirron vaihtoehtoihin verrattuna. Kappaleiden pyörivät- ja lineaariset liikkeet on mahdollisia toteuttaa hydrauliikan avulla. Hydrauliikan etuina voidaan pitää sen liikenopeuden ja voiman helppoa säädettävyyttä paineen avulla. Myös hydraulijärjestelmän ylikuormitus ja siitä johtuvat hydrauliikkayksikön, koneikon tai tuotteen rikkoutuminen on estettävissä varoventtiileillä.

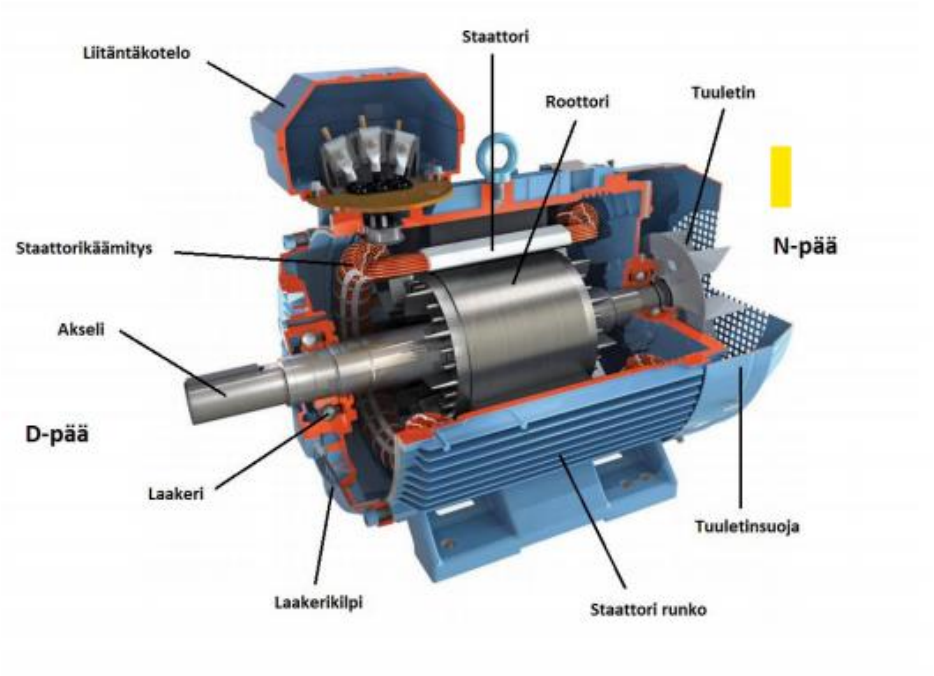
Suurimpana haittapuolena hydrauliikalle pidetään sen väliaineena olevaa nestettä. Hydrauliikkajärjestelmissä käytettyjen nesteiden ominaisuuksissa haittana on lämpötilariippuvuus ja kokoonpuristuvuus. Järjestelmän ulkopuolella ne ovat likaavia sekä palavia. (Kauranne ym. 2003, 12.) Paloherkkyyden vuoksi veden käyttämistä hydraulijärjestelmässä yhtenä partikkelina tutkitaan paljon (Hydrauliikan perusteet 2002).

5.2 Sähkömoottori

Oikosulkumoottorin (AC) avulla voidaan sähköenergia muuntaa mekaaniseksi energiaksi, jonka toiminta perustuu sähkömagneettiseen induktioon (ABB, 2021.) Oikosulkumoottori on kolmivaiheinen vaihtovirtasähkömoottori, jonka toimintaperiaate on kehitetty jo 1880- luvulla. Oikosulkumoottoria kutsutaan toiselta nimeltään myös epätahtimoottoriksi. Oikosulkumoottorin magneettikentän pyörimisnopeus on aina roottorin pyörimisnopeutta suurempi. Oikosulkumoottoria ohjataan taajuusmuuntajalla tai suoralla kolmivaihevirralla. (Ohlis 2019, 12.)

Rakenteeltaan oikosulkumoottorin on yksinkertainen. Moottorin aktiivisiin osiin lukeutuu staattori, roottori, käämit ja magneettipiiri. Muut moottorin komponentit ovat niin kutsuttuja passiivisia osia. Muihin sähkömoottoreihin verrattuna oikosulkumoottorit ovat yksinkertaisempia ja näin ollen vähiten huoltoa vaativia moottoreita. Yksinkertaisen rakenteen sekä huoltovarmuuden vuoksi moottorit ovat yleisiä teollisuudessa. (Ohlis 2019, 12.)

Kuvassa 6 on kuvattu oikosulkumoottorin rakenne ja siihen liittyvät komponentit. Toimintaperiaate oikosulkumoottorissa perustuu staattorin sekä roottorin väliseen magneettikenttään. Staattorin sekä roottorin välinen magneettikenttä syntyy, kun moottorin kytkentäjännite kytketään päälle. Magneettikentän sekä roottorivirran välissä vaikuttavat voimat saavat roottorin pyörimään, kun sähköinen vääntömomentti ylittää roottorin pyörimistä vastustavana voimaan. Oikosulkumoottorin toimintaperiaate on yksinkertaistettuna muuntaa staattorikäämitykseen ohjatun sähkön teho roottorin mekaaniseksi voimaksi. (Ohlis 2019, 13.)



Kuva 6. Oikosulkumoottorin rakenne (Ohlis 2019.)

Sähkökäytön hyötyinä voidaan pitää sen helpompaa huollettavuutta, siisteyttä, ympäristöystävällisyyttä, käyttöturvallisuutta, pienempää melutasoa ja tarkkaa asemaohjattavuutta. Myös automatiikkaan ja turvajärjestelmiin liitettävyys on helppo toteuttaa. Käyttöturvallisuus on sähkökäytön etu. Laite saadaan sähköttömäksi ja siten turvalliseksi kun sähkönsyöttö laitteelle katkaistaan. Sähköisen turvaoven aukaiseminen kesken toiminnan muuttaa laitteen sähköttömäksi ja turvalliseksi. Huoltotöiden ajaksi on huomioitava laitteen turvallisuus, joka pitää olla mekaanisesti varmistettu laitteiston niin vaatiessa.

6 Uudet toimilaitteen mallit

6.1 Uudet toimilaitteen malliehdotukset

Kuumapuristimen sulku- ja puristusliikkeen toteuttamiseksi, tarkasteltiin laajasti erilaisia toimintamalleja. Vastaavia ratkaisuja muista puristimista tutkittiin ja valmiiden sähkösylintereiden, sekä erilaisten lineaarinostolaitteiden mahdollisuuksia selvitettiin. Toimittajien tarjoamat vakiovaihtoehdot kuularuuvi- tai hammastankokäytölle eivät saavuttaneet puristimelle vaadittuja voimia tai nopeuksia. Aiemmin selvitetty ostokomponentti on kuumapuristimen tarpeille suunniteltu erikoistuote. Ostokomponentti on yhtenä vertailtavana tuotteena tässä tutkimuksessa. Puristimen pikaliike ja puristusliike päädyttiin eriyttämään omille toimilaitteille, jotta pikaliikkeen toiminta olisi mahdollista sähköistää. Vanerin tuotanto tarvitsee kuumapuristuksessa 1.0–2.0 MPa:n paineen, jotta levyn rakenteelle haluttu lujuus saavutetaan. Uuden toimilaitteen suunnittelun tueksi laadittiin vaatimuslista, jotta vaaditut tavoitteet sekä rajoitteet uudelle toimilaitteelle tiedetään. Laadittu vaatimuslista on esitetty liitteessä 1.

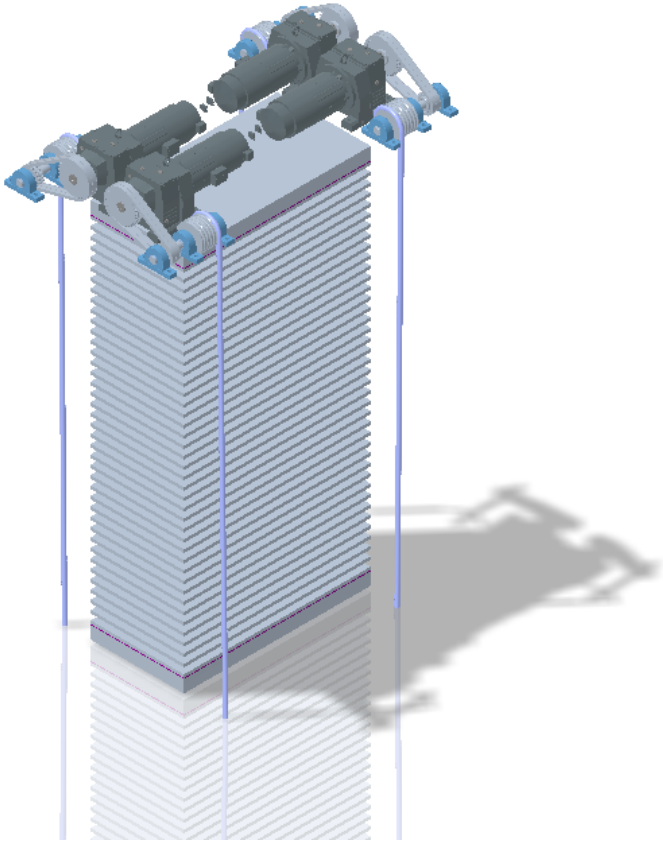
Pidemmälle selvitystyöhön puristimen pikasulkuratkaisuksi päätyivät vaijeri-, nostoliina-, hihna-, ketju-, ruuvi- ja hammastankokäyttö. Kaikissa ratkaisuissa pikaliike toteutetaan sähkömoottoreiden avulla. Pikaliikkeen moottoreiden ja toimilaitteiden mitoituksessa toiminta suunnalla ei ole merkitystä toimilaitteiden mitoituksessa. Pikaliikkeessä sähkömoottori joutuu nostamaan lämpölevyistä sekä puristettavista aihioista muodostuvan massan. Lämpölevyjen massojen suuren kuormituksen takia myös alas suuntautuvaa liikettä tulee kontrolloida, ettei puristin ja toimilaitteet rikkoudu.

Puristusliikkeen toteuttaminen on mahdollista pienillä sähköhydraulisilla sylintereillä tai hydrauliikkasylintereillä. Erona aikaisempaan hydrauliikkamalliin on sylinterin iskunpituus. Lyhyempi iskuisen hydraulisylinterin etuina ovat pienempi hydrauliikkakoneikko ja huomattavasti pienempi hydraulinesteen määrä.

6.2 Vaijerikäyttö

Vaijerikäytön toimintaperiaatteessa sähkömoottorit sekä vaijerikelat on asennettu puristimen päälle. Pikaliikkeessä sähkömoottori kelaa vaijerin vaijerikelalle, joka sulkee puristimen. Puristimen alajäykistepöydässä olevat puristussylinterit nousevat pikaliikkeen mukana ylös.

Puristimen ollessa yläasennossa alajäykistepöytä lukittuu nostojohteisiin puristuksen ajaksi, jotta vaadittu puristuspaine saavutetaan. Puristus ajan päätyttyä lineaarinen lukitus vapautuu ja puristin aukeaa kontrolloidusti ala-asentoon. Ala-asentoon mentäessä voidaan moottoria ajaa taajuusmuuntajaohjatusti suuremmalla, esimerkiksi 75Hz taajuudella, joka mahdollistaa nopeamman pikaliikkeen. Kuvassa 7 on havainne kuva vaijerikäytöstä.

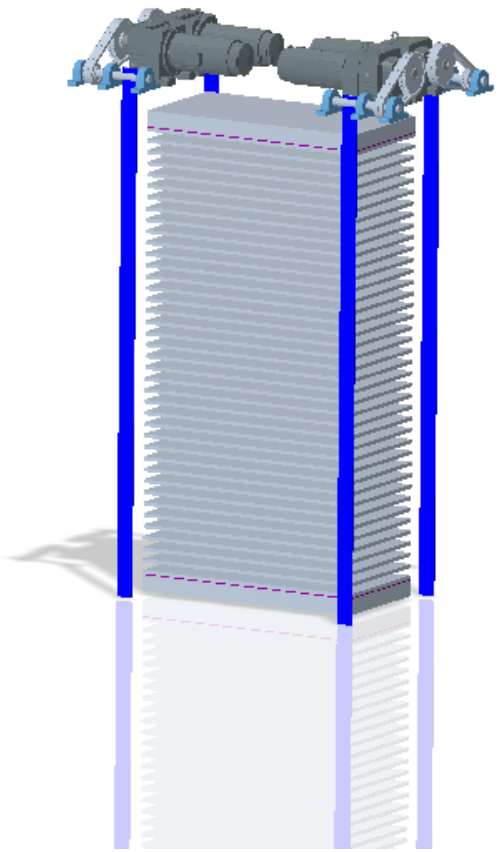


Kuva 7. Vaijerikäyttöinen kuumapuristin

6.3 Nostoliinakäyttö

Nostoliinan toimintaperiaate on samankaltainen vaijerikäytön kanssa. Sähkömoottorit on sijoitettu puristimen päälle. Puristimen sulkeutuessa lämpölevyt ja alajäykistepöytä nostetaan yläasentoon, jossa puristus tapahtuu.

Nostoliina kelautuu sitä pyörittävän akselin ympärille puristimen sulkeutuessa. Akselin halkaisija kasvaa liinan kelautuessa sen ympärille, mikä muuttaa nostoliikkeen nopeutta sekä nostoliikkeeseen kohdistuvaa voimaa. Liinan kelautumisesta akselin ympärille johtuvaa akselin halkaisijan muutosta pitää tarkastella etenkin puristimissa, joissa pikaliikkeen matka on pidempi. Kuvassa 8 on havainne kuva nostoliinakäytöstä.

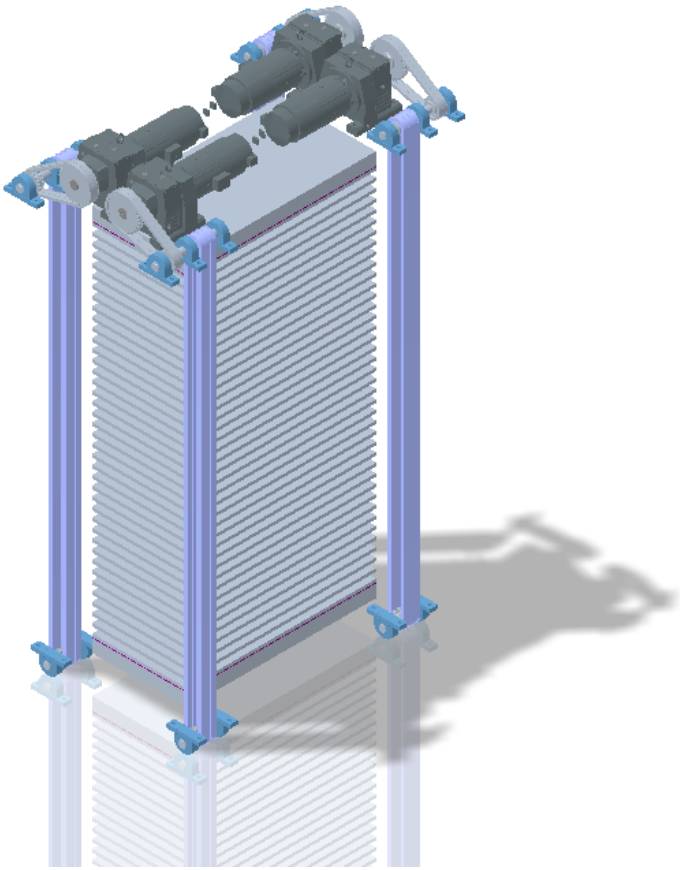


Kuva 8. Nostoliinakäyttöinen kuumapuristin

6.4 Hihna- ja ketjukäyttö

Hihna- ja ketjukäyttö ovat toimintaperiaatteeltaan samankaltaiset. Sähkömoottorit on sijoitettu puristimen päälle ja nostoketjut tai hihnat liikuttavat lämpölevyjä. Nostoliikkeessä oleva hihna tai ketju on lenkitetty, jotta liike on kontrolloidumpi, kuten kuvassa 9 on esitetty.

Lämpölevyt nostetaan sähkömoottoreilla yläasentoon missä puristus tapahtuu. Puristin lukitaan hihna- ja ketjukäytössä alajäykistepöydästä nostojohteisiin. Puristuspaine tuotetaan joko hydrauliikka- tai sähköhydraulisylintereillä, jotka ovat kiinni jäykistepöydässä.

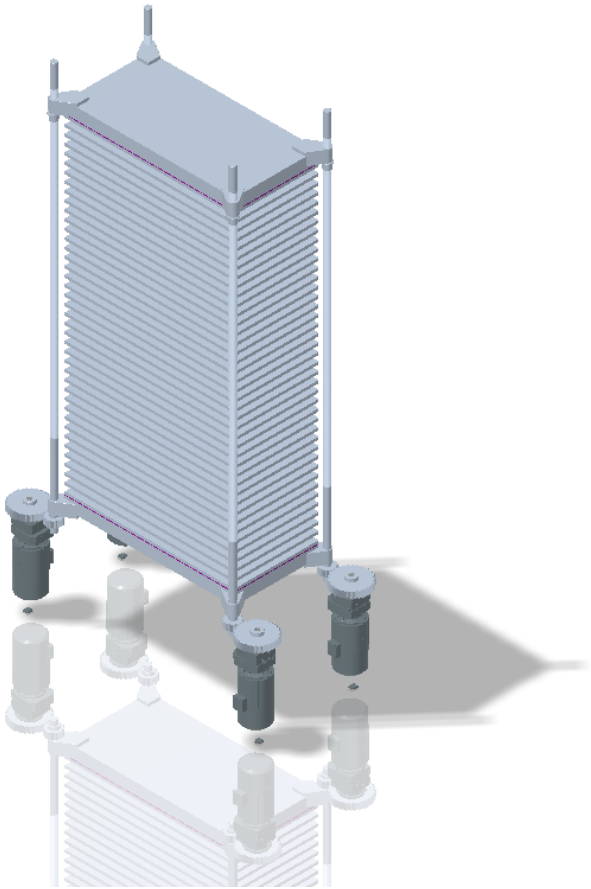


Kuva 9. Hihna- ja ketjukäyttöinen kuumapuristin

6.5 Ruuvikäyttö

Ruuvikäytössä lämpölevyjä liikutetaan lineaarisesti kuularuuvin avulla. Sähkömoottorit on sijoitettu puristimen alle, josta ne ohjaavat ruuveja. Moottorit on asennettu puristimen alapuolelle ruuviin kohdistuvan vääntömomentin pienentämiseksi. Jäykistepöydässä kiinni oleva mutteri liikkuu moottorin pyörittäessä ruuvia ja ohjaa puristimen asentoa.

Puristimen sulkeuduttua jäykistepöytä lukitaan ruuviin, joka toimii samalla nostoliikkeen johteena. Puristimen puristuspaine tuotetaan hydrauliikka- tai sähköhydraulisylintereillä, jotka ovat kiinteänä jäykistepöydässä. Kuvassa 10 on havainne kuva ruuvikäytöstä.

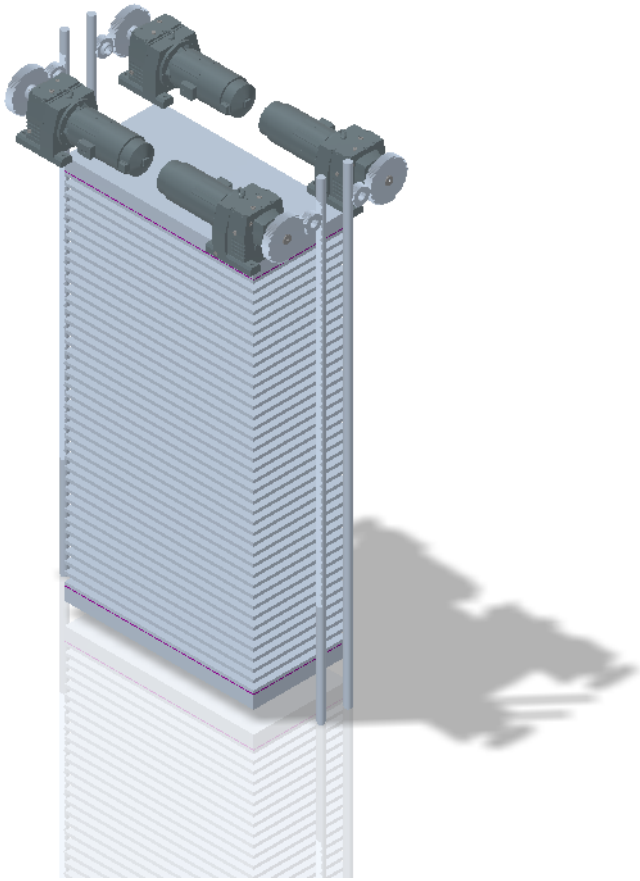


Kuva 10. Ruuvikäyttöinen kuumapuristin

6.6 Hammastankokäyttö

Hammastankokäytössä lämpölevyjen lineaarinen liike tehdään hammastangon ja -pyörän avulla. Muista malleista poiketen hammastankokäytössä sähkömoottorit ovat asennettu jäykistepöytään kiinni, jossa ne liikkuvat puristimen mukana auki ja kiinni liikkeessä. Moottori pyörittää hammasratasta, joka liikuttaa puristinta.

Lukitusta varten puristimessa ei tarvita erillisiä lineaariliikkeen johteita. Puristimen jäykistepöytä lukitaan hammastankoon puristuksen ajaksi. Puristus toteutetaan jäykistepöydästä hydrauli- tai sähköhydraulisylintereillä. Kuvassa 11 on havainnekuva hammastankokäytöstä.



Kuva 11. Hammastankokäyttöinen kuumapuristin

6.7 Ostokomponentti

Ostokomponentti on kuumapuristimen voimia sekä muita vaatimuksia varten räätälöity tuote. Tuote perustuu ruuvikäyttöön, jonka liikettä ohjataan kahdella moottorilla. Pikaliikkeessä moottori ajaa puristimen nopeasti kiinni ja puristusliikkeessä toinen moottori tuottaa voiman, jotta vaadittava paine saavutetaan puristettavassa aihiossa.

Ostokomponentin toimintaperiaate on vastaava kuin tavallisessa hydraulisylinterissä. Ruuvi liikkuu hydraulisylinterin männän tavoin ylös ja sulkee puristimen. Uuden sylinterimallin etuina on samankaltainen toimintaperiaate nykyisen mallin kanssa, minkä vuoksi puristimen konstruktiossa tehtävät muutokset ovat pieniä. Kuvassa 12 havainnekuva osto

Kuva 12. Ostokomponentti

6.8 Uusien toimilaitteiden vertailu

Uusien toimilaitteiden valinnassa on niiden tekniset ominaisuudet selvitettävä tarkasti. Teknisten ominaisuuksien lisäksi vertailussa pitää huomioida valmistuskustannukset, soveltuvuus kaikkiin puristin kokoihin, kokoonpano ja sen kustannukset, kapasiteetti, käyttöturvallisuus sekä huolto ja huollon varmuus maailmanlaajuisesti.

Uusien vaihtoehtojen vertailussa käytetään yleisesti pisteytysarviointia, jonka avulla voidaan konkreettisesti verrata eri vaihtoehtoja toisiinsa. Pistearvioinnin periaatteena on uuden ratkaisun vertaaminen ennalta määriteltyihin vaatimuksiin. Ennalta märitellyt vaatimukset ovat jokaiselle ratkaisulle samat. Vaatimusten avulla voidaan verrata niin teknisiä kuin taloudellisiakin eroja eri vaihtoehtojen välillä. (Mäkinen 2007.)

Arvioidessa uutta toimintamallia pisteytysarvioinnilla on keskityttävä laajempaan kokonaisuuteen. Tarkempi pienien yksityiskohtien tarkastelu tehdään vasta laajemman arvioinnin jälkeen, jos ratkaisu koetaan mahdolliseksi toteuttaa. Kriteerejä arviointia varten valittaessa on huomioitava niiden painoarvo lopullisessa arvioinnissa, jotta tuotteen kannalta vähemmän merkittävät asiat eivät vaikuta liikaa pisteytyksen tulokseen. Arvioinnissa käytetään valittuja kriteerejä sekä arvoasteikkoa. (Mäkinen 2007.) Taulukossa 1 on esitetty esimerkki arvoasteikosta hyötyanalyysin ja ohjeiston Richtlinie VDI 2225 mukaan.

Arvoasteikko			
Hyötyarvoanalyysi		Ohjeisto VDI 2225	
pist.	merkityksellisyys	pist.	merkityksellisyys
0	täysin käyttökelvoton ratkaisu		
1	hyvin puutteellinen ratkaisu	0	epätyydyttävä
2	heikko ratkaisu		
3	siedettävä ratkaisu	1	vielä juuri siedettävä
4	riittävä ratkaisu		
5	tyydyttävä ratkaisu	2	riittävä
6	hyvä ratkaisu pienin puuttein		
7	hyvä ratkaisu	3	hyvä
8	hyvin hyvä ratkaisu		
9	tavoitteet ylittävä ratkaisu		erittäin hyvä
10	ideaaliratkaisu	4	(ideaalinen)

Taulukko 1. Arvoasteikko (Pahl & Beltz 1990.)

Ratkaisusuunnitelmia arvioidessa, saadaan niiden välille konkreettinen ero pisteytysarvioinnilla. Pisteytysarviointi sopii luonnosten valintapäätöksen tekoon, ja muihinkin valintoihin konstruktion eri vaiheissa. Pistearvioinnilla esitetään uuden ratkaisun arvo, hyöty tai vahvuus ennalta määriteltyyn tavoitteeseen. Ennalta määritellyt tavoitteet ovat arvioinnin kannalta välttämättömiä, koska uusia malleja on aina verrattava konkreettisiin arvoihin tai vaatimuksiin. (Pahl & Beitz 1990, 140.)

Pistearviointia tehdessä on huomioitava, ettei voida keskittyä pelkästään pistemäisiin tarkastelukohtiin, kuten valmistuksessa syntyviin kustannuksiin, ergonomiaan, varmuus- tai ympäristönäkökohtiin. Arvioinnissa on otettava laajemmin huomioon myös kaikki siihen vaikuttavat yleiset tavoitteet sekä ehdot. Ratkaisun täyttävät ehdot voivat olla suoraan tehtävänasettelusta tai yleisluonteisia ja ne voidaan luokitella havainnollisesti sekä yleispätevästi Taulukossa 2 esitettyjen tunnusten avulla.

Turvallisuus	Myös luotettavuuden mielestä
Ergonomia	Ihminen-kone-suhde, myös teollinen muotoilu
Valmistus	Osavalmistuksen valmistustavat ja -välineet
Tarkastus	Tuotteen vaatimuksen aikana kaikkina tarvittavina ajankohtina
Kokoonpano	Osavalmistuksen aikana, sen jälkeen ja sen ulkopuolella
Kuljetus	Yrityksen sisä- ja ulkopuolella
Käyttö	Käyttäminen ja käsittely
Kunnossapito	Huolto, tarkastus ja kunnostaminen
Kierrätys	Jälleenkäyttö, jälleen hyödyntäminen, loppuvarastointi tai hävittäminen
Panostus	Kustannukset, ajankäyttö, määräajat

Taulukko 2. Arviointitunnukset

Näiden tunnusten avulla voidaan luoda ehdot, jotka toimivat suuntaviittoina suunnittelussa. Ehdot toimivat vaatimuksina sekä vaikuttavat toiminta- ja kokoonpanorakenteisiin. (Pahl & Beitz 1990, 33,140.)

Taulukossa 3 on esitetty kolmen potenttialisemman vaihtoehdon sekä kaupallisen ostokomponentin ja nykyisentoimintamallin vertailu pistearvioinnilla. Pistearvioinnissa käytettiin VDI 2225 menetelmää, jossa eri vaihtoehtoja arvioidaan asteikolla 0–4. Arvioinnin kohteena eri vaihtoehdoissa olivat hinta, turvallisuus, kokoonpano, huolto ja kapasiteetti.

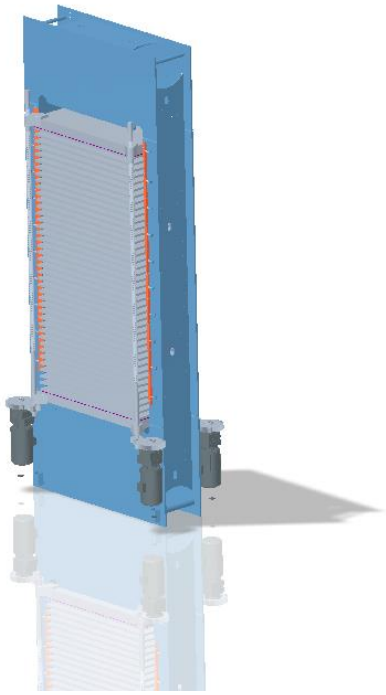
Pistearviointi	Nykyinentoimintamalli	Ketjukäyttö	Ruuvikäyttö	Hammastankokäyttö	Ostokomponentti
Vaatimus	Arvo	Arvo	Arvo	Arvo	Arvo
Hinta	3	2	2	1	0
Turvallisuus	2	1	3	2	3
Kokoonpano	4	3	3	3	3
Huolto	3	2	3	3	3
Kapasiteetti	2	2	2	2	2
Yhteensä	**14**	**10**	**13**	**11**	**11**

Taulukko 3. Toimintamallien pistearviointi

7 Suunnittelu

Uusien toimilaite vaihtoehtojen suunnittelun yhteydessä laadittiin eri vaihtoehdoista karkeat 3D-mallit. Mallinnuksessa laitteet ja komponentit mallinnettiin oikeassa mittasuhteessa vastaamaan niiden oikeaa kokoa. Oikean mittasuhteen vuoksi puristimen ja eri komponenttien koko selkiytyy. Mallien avulla pystytään havainnollistamaan komponenttien sijoittelua puristimessa.

3D-mallit suunniteltiin Rauten käyttämällä Creo Engineering 3D-mallinnusohjelmalla. Malleja varten suunnitellut osat, kuten ketjut, ketju- ja hammaspyörät, kuularuuvit sekä niiden johteet, mallinnettiin valmistajan mittojen mukaisesti. Valmistettavista osista laadittiin myös työpiirustukset, jotta niiden valmistus olisi mahdollista toteuttaa. Kuvassa 13 viimeisin versio puristimesta, jossa sulkuliikettä ohjataan ruuvikäytöllä.



Kuva 13. Kuularuuvikäyttöinen vanerinkuumapuristin

8 Tulosten tarkastelu

Uusien toimilaitteiden vertailussa käytettiin jo tuotannossa olevien kuumapuristimien mittoja sekä massoja, jotta saatiin oikea käsitys vaadittavista voimista. Kaikille puristin tyypeille laskettiin sulkeutumiseen ja puristuspaineen muodostamiseen vaadittavat voimat. Pikaliikkeen nopeus määräytyy avoimen ajan sekä puristimen avauman perusteella.

Tarkastelussa kävi esille, että puristimen sulkuliikkeen tekeminen sille määrätyn ajan puitteissa ei ole mahdollista toteuttaa suoralla moottorivedolla. Moottorilta vaadittavat vääntömomentit olivat liian suuria sallittuihin kierrosnopeuksiin nähden. Suurien vaadittavien voimien vuoksi moottoreiden nostoliike joudutaan toteuttamaan toisiovälityksellä. Toisivälityksen avulla pystytään optimoimaan oikeankokoinen moottori puristimen pikaliikkeen nopeuden ja nostettavien massojen mukaan.

Eri toimilatteiden soveltuvuutta tarkasteltiin monella eri tavalla. Kaikkien toimintamallien komponenttitiedot kerättiin, ja niiden mukaan pystyttiin pyytämään tarkat tarjoukset eri toimittajilta. Tarjousten perusteella laadittiin budjetit jokaiselle toimintamalleille. Saatujen tarjousten sekä tuoteominaisuuksien perusteella pystyttiin sulkemaan pois eri vaihtoehtoja.

Vaijerikäytön poissulkeminen johtui monesta tekijästä. Vaijerikelan halkaisija johon vaijeri kelautuu puristimen sulkeutuessa kasvaa vaaditulla vaijerityypillä liian suureksi. Vaijerikelan halkaisijan laskentakaava on 20 x vaijerin halkaisija, joka puristimen vaatimilla painoluokituksilla on 30 mm. Vaijerikelan halkaisijan ollessa 600 mm, nostonopeus ei olisi ollut riittävä. Turvallisuuden sekä laitteen visuaalisenkaan puolen kannalta ei vaijerikäyttö ollut hyvä vaihtoehto. Vaijeri vaatii säännöllisen tarkastuksen, jonka asiakas joutuu maksamaan. Tämä tuo asiakkaalle lisää vastuuta sekä kustannuksia laitteen ylläpitoon.

Nostoliinan käyttö puristimen sulkuliikkeen tekemisessä olisi yksinkertainen ratkaisu. Nostoliina suljettiin kuitenkin pois sen ominaisuuksien perusteella. Liinan suurin käyttölämpötila on +100 °C. Vaikka liina ei olekaan kiinni lämpölevyissä on kuitenkin vaarana, että lämpötila nostoliinalle on liian korkea. Myös liinan hallittavuus venymän vuoksi voi olla hankala, koska nostoliinan venymäksi on ilmoitettu 3 %. 50- välisessä puristimessa, jossa lämpölevyjen avauma on 90 mm on nostoliike 4 500 mm. Tällöin liinan venymä olisi 125 mm, mikä on vaikea hallittava.

Hihnakäyttö olisi kevyempi versio ketjukäytölle. Hihnakäytön etuina on hihnan keveys, jonka painoa ei tarvitsisi huomioida rakenteissa ja nostovoimassa. Teollisuudessa käytettyjen hihnojen ominaisuudet eivät kuitenkaan riitä puristimen suurien massojen liikuttamiseen, jonka vuoksi se suljettiin pois nostoliikevertailusta.

Ketjukäyttö puristimen sulkuliikkeen tekemisessä vaikuttaa toteutettavalta ratkaisulta. Nostoketjuissa on huomioitava konedirektiivissä 2006/42/EY asetettu ketjujen varmuuskerroin. Konedirektiivissä on määritelty kappaleessa 4.1.2.4 nostoketjujen käyttökerroin. Asetuksessa on maininta että, on saavutettava riittävä turvallisuuden taso, jonka vuoksi käyttökertoimeksi on asetettu neljä. (EUR-Lex 2021.) Nostoketjuina käytetyn 48B-2 ketjun murtolujuus on riittävä ja täyttää ketjulle asetetun nelinkertaisen varmuuskertoimen. Ketjukäytön turvallisuus on kuitenkin asia, joka täytyy huomioida. Ketjujen tarkistuksesta sekä huollosta koituvat kustannukset ovat asiakkaalle ylimääräinen kuluerä, joihin asiakkaan on kuitenkin sitouduttava taatakseen laitteen häiriötön toiminta.

Kuularuuvi puristimen pikaliikkeen toimintamallina vaikuttaa lupaavimmalta ratkaisulta. Kuularuuvimallissa moottoreiden sijoitus alas puristimen viereen helpottaa moottoreihin kohdistuvia huoltotoimia. Myös puristimesta johtuva lämpö vaikuttaa vähemmän moottoriin. Kuularuuvin ohjaus on tarkka, jonka vuoksi lämpölevyt sekä jäykistepöydät liikkuvat tasaisesti puristimessa. Kustannuksiltaan kuularuuvi- ja ketjukäyttö ovat hyvin lähellä toisiaan. Ketjujen tarkistuksesta ja huollosta muodostuvien velvoitteiden ja lisäkulujen perusteella kuularuuvi parempi ratkaisu sulkuliikkeen toteuttamiseen. Kuularuuvin kulumista pystytään seuraamaan tarkkailemalla ruuvin vierintävastusta, joten esimerkiksi huollon ennakointi on mahdollista.

Hammastankokäyttö poikkesi muista toimintamalleista siten, että siinä puristimen auki- ja kiinniliikkeen tekevät moottorit on sijoitettu jäykistepöytään, missä ne liikkuivat puristimen liikkeen mukana. Moottoreiden sijoitus osaksi liikuteltavaa massaa lisää kuitenkin osaltaan kokonaiskuormaa. Yhden 55 kW oikosulkumoottorin omamassa on yli 1 100 kg, johon on lisättävä vielä toisiovälityksestä muodostuvat hammasrattaiden massat. Neljän sulkumoottorin toiminta periaatteella lisäkuormaa puristimen nosto liikkeeseen tulisi noin 5 000 kg. Lisäksi hammastanko käytön kokonaiskustannukset nousevat liian suuriksi muihin toimintamalleihin verrattuna. Edellä mainittujen syiden vuoksi hammastankokäyttö ei ole ideaali vaihtoehto kuumapuristimen sulkuliikkeen toteuttamiseen.

Opinnäytetyön perusteella tehdyssä tarkastelussa voidaan todeta, että nykyisen toimintamallin korvaaminen uudella sähköisellä on teoriassa mahdollista. Toiminta voidaan toteuttaa joko ennalta selvitetyllä ostokomponentilla tai ruuvi- ja ketjukäytöllä. Näistä ruuvikäyttö olisi pistearvioinnin perusteella paras vaihtoehto, mutta johtuen suurien massojen aiheuttamasta kuormituksesta komponenttien hinnat ovat korkeat eikä kustannussäästöissä näin ollen päästä riittävälle tasolle.

Loppupäätelmänä toimilaitteiden vertailusta voidaan todeta, että uusien ratkaisujen komponentit ovat erikoisvalmisteisia tai muuten marginaalituotteita. Vähäinen kysyntä nostaa

niiden hintaa ja hankaloittaa niiden saatavuutta. Näiden tulosten perusteella näillä komponenteilla ja toimintamalleilla ei ole järkevää muuttaa toimintaperiaatetta sähköiseksi, jos siihen ei ole muuta pakottavaa tekijää kuten lainsäädäntö tai muu vastaava syy. On kuitenkin huomioitava, että tämä tutkimus tehtiin opinnäytetyönä ja niitä materiaaleja sekä tietoja käyttäen mitä oli mahdollisuus tällä aikataululla hyödyntää.

9 Yhteenveto

Työn tavoitteena oli löytää Rauten valmistamille vanerin kuumapuristimille sähköinen toimilaiteratkaisu. Nykyisen hydraulisen toimintamallin tilalle pyritään löytämään uusi sähköinen ratkaisu. Uuden ratkaisun vaatimuksina olivat muun muassa soveltuvuus jokaiselle puristinmallille sekä kustannukset. Nykyinen toimintamalli perustuu hydrauliikkaan, jossa isot hydraulisylinterit sulkevat puristimen sekä muodostavat vaadittavan puristuspaineen.

Työssä käsitellään vanerin valmistusprosessi aina metsästä valmiiksi tuotteeksi. Myös kuumapuristimen merkitys vanerin valmistuksessa ja sen vaikutus levyn rakenteeseen ja tuotantokapasiteettiin selvitetään. Opinnäytetyössä analysoidaan kuumapuristimen nykyistä hydraulista toimintamallia, sähkö- ja hydrauliikkatekniikan toimintaperiaatteita sekä tehdään niiden keskinäinen vertailu.

Tutkimustyön aluksi oli taustoitettava kuumapuristimen toimintaperiaate. Puristimen toimintaperiaatteen ja puristimen koon ja liikuteltavien massojen perusteella pystyttiin tekemään suunnitelmia sulkuliikkeen toteuttamiseksi. Uusia sähköisiä toimintamalleja suunnitellessa kävi ilmi, että sekä pikaliikkeen että puristusliikkeen toteutus samalla toimilaitteella on haasteellinen toteuttaa. Pikaliikkeen vaatima nopeus sekä puristusliikkeeltä vaadittu voima ei ollut toteutettavissa samalla sähkömoottorilla. Tämän vuoksi toiminnot päätettiin eriyttämään toisistaan.

Sulkuliikevaihtoehtojen vertailussa koottiin erilaisia toimintaperiaatteita, joita arvioitiin niiden ominaisuuksien, teknisten vaatimusten ja kustannusten perusteella. Ensimmäisessä vaiheessa toimilaitteista poissuljettiin vaihtoehtoja, niiden teknisten puutteiden tai soveltumattomuuden vuoksi. Kolmelle jäljelle jääneelle toimilaitteelle suoritettiin pistearviointi, jossa niiden ominaisuuksia sekä kustannusrakennetta verrattiin keskenään. Pistearvioinnissa vertailussa mukana oli kaupallinen ostokomponentti, joka oli myös aiemman selvittelyn tuloksena havaittu teknisesti toimivaksi vaihtoehdoksi.

Teknologian jatkuvassa kehityksessä on uusien toimilaitteiden soveltuvuuksia sekä kustannuksia tarkasteltava säännöllisesti. Tekniikan kehityksen myötä uusien toimilaitteiden vaihtoehdot tulevat lisääntyvät. Tämä mahdollistaa osaltaan siirtymisen ekologisempiin sähköisiin toimilaitteisiin.

Lähteet

ABB. Tekninen opas nro 7. Sähkökäytön mitoitus. Viitattu 3.5.2021. Saatavissa https://library.e.abb.com/public/b11dafe92973be93c1256d2800415027/Tekninen_opasnro7.pdf

Allinen, R. 2021. Senior plywood specialist. Raute Oyj. Asiantuntija haastattelu. 12.05.2021.

Arkistonmuodostaja. Lahden Rautateollisus Oy. Viitattu 14.4.2021. Saatavissa http://www.narc.fi:8080/VakkaWWW/Selaus.action;jsessionid=C8647419FFC20469F147DC938F02760F?kuvailuTaso=AM&avain=3330.KA

EUR-LEX, 2006. Konedirektiivi. Viitattu 10.05.2021. Saatavissa https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/ALL/?uri=CELEX%3A32006L0042

Fluid, 2002. Hydrauliikan perusteet. Viitattu 25.3.2021. Saatavissa https://www.salhydro.fi/files/PDF/8.hydrauliikan-perusteet.pdf

Hannu Koponen 2002, Puulevytuotanto 4. 3. painos. Helsinki: Edita Oy.

Hassinen, E. 2016. Vuorineuvos Heikki Mustakallio. Viitattu 20.4.2021. Saatavissa https://kansallisbiografia.fi/talousvaikuttajat/henkilo/1604

Hirvonen, T. 2021. Technical sales manager. Prefere Resins Finland. Asiantuntija haastattelu. 14.05.2021.

Kauranne, H., Kajaste, J. & Vilenius, M 2003. Hydraulitekniikan perusteet. Helsinki: WSOY.

Mäkinen, A. 2007. Levynkäsittelyjärjestelmän suunnittelu. Tampereen teknillinen yliopisto. Diplomityö. Saatavissa Tampereen teknillinen yliopisto.

Mäkinen, A. 2021. Product manager. Raute Oyj. Asiantuntija haastattelu. 21.4 2021.

Ohlis, M. 2019. Oikosulkumoottorien liitännän ja staattorien kääminnän virheet. Vaasan ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. Viitattu 3.5.2021. Saatavissa https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/170195/Ohlis_Mikke.pdf?sequence=2&isAllowed=y

Pahl, G. Beltz, W. 1990. Konesuunnitteluoppi. 2 painos. Porvoo: Metalliteollisuuden kustannus Oy.

Raute Oyj 2021a. Sijoittajat. Viitattu 19.4.2021. Saatavissa https://www.raute.fi/sijoittajat/

Raute Oyj 2021b. Rauten vuosikertomus 2020. Viitattu 19.4.2021. Saatavissa https://www.raute.fi/sijoittajat/julkaisut/porssitiedotteet/tiedote/rauten-vuosikertomus-2020-julkaistu-2/

Raute Oyj 2021c. Rauten vuosikertumus PowerPoint 2020. viitattu 4.5.2021. Saatavissa https://materials.raute.com/file/dl/i/2JtuiA/RGAiPd_z5zi7kiJg41TmUA/RauteOyj_Vuosikertomus2020.pdf?t=1614755281

Salo, T. 2019. Kuukauden osake. Viisasraha. Viitattu 20.4.2021. Saatavissa https://viisasraha.fi/Markkinat/KUUKAUDEN-OSAKE-Raute

Suomalainen, K. 2021. Head of Plywood Technology. Raute Oyj. Asiantuntija haastattelu. 11.05.221.

Vanerikäsikirja, 2006. Metsäteollisuus Oy. Viitattu 26.5.2021. Saatavissa https://www.wisaplywood.com/siteassets/documents/brochures/handbook-fi.pdf

Varis, R. 2017. Puulevyteollisuus. Porvoo: Kirjakaari Oy.

Varis, R. 2017. Sahateollisuus. 2.Painos Porvoo: Kirjakaari Oy.

Liite 1. Sähköisen kuumapuristimen vaatimuslista

Sähköisen kuumapuristimen vaatimuslista

Pvm.	29.3.2021
Laatia	Henri Venäläinen
V / T	vaatimus (V), toivomus (T)

V	Mahdollisuus toteuttaa kaikilla puristin malleilla
T	Kokonaan hydrauliikasta luopuminen
V	Kustannuksiltaan edullisempi kuin nykyinen toimilaite
T	Tuotantokapasiteetin lisääminen
T	Yksinkertainen ja selkeä rakenne
T	Avoimen ajan lyhentäminen
V	Turvallinen käyttö
V	Pitää täyttää turvallisuusmääräykset maakohtaisesti
T	Puristimen alla olevasta perustusmontusta luopuminen