

# **Sorvin karojen mittamuutoksien hallittavuuden parantaminen lämpökäsittelyssä**

**Raute Oyj**

LAB-ammattikorkeakoulu  
Insinööri (AMK), Puutekniikka  
2021  
Lenne Lehtinen

## Tiivistelmä

Tekijä(t) Lehtinen, Lenne	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Valmistumisaika 2021
	Sivumäärä 25	
Työn nimi <b>Sorvin karojen mittamuutoksien hallittavuuden parantaminen lämpökäsittelyssä</b> Raute Oyj		
Tutkinto Insinööri (AMK)		
Toimeksiantajan nimi, titteli ja organisaatio Joona Vähä-Antila, Manager, Production, Raute Oyj		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön idea syntyi Rautella, kun sorvin karojen poikkeamien juurisyitä tutkittiin. Juurisyyn tutkimuksen tulokset kohdistuivat lähes poikkeuksetta nitrauksesta syntyviin mittamuutoksiin. Poikkeamia havaittiin toistuvasti, joten tätä haluttiin kehittää parempaan suuntaan.</p> <p>Opinnäytetyö toteutettiin teoreettisena tutkimuksena. Työssä hyödynnettiin Rauten karoista tehtyjä mittapöytäkirjoja. Työhön arvokasta tukea antoivat niin Rauten kuin Bodycotenkin henkilöstö.</p> <p>Työn tuloksena selvisi muutamia kehitysehdotuksia. Rauten lämpökäsittelyuunin toimivuus tulisi tarkastaa. Mittapöytäkirjojen avulla voitaisiin koostaa Excel-taulukko, mitä voitaisiin tulevaisuudessa hyödyntää mittamuutoksien arvioinnissa. Lisäksi Thelningin kaavan toimivuus voidaan varmentaa mittamuutosten keskiarvojen avulla.</p>		
Asiasanat Vaneri, Sorvaus, Nitraus		

## Abstract

Author(s) Lehtinen, Lenne	Type of Publication Thesis, UAS	Published 2021
	Number of Pages 25	
Title of Publication <b>Improving the controllability of lathe spindles dimensional changes in heat treatment</b> Raute Oyj		
Name of Degree Engineer (UAS)		
Name, title and organization of the client Joon Vähä-Antila, Manager, Production, Raute Oyj		
Abstract <p>The idea of the thesis was born in Raute, when the root causes of lathe spindle were investigated. The results of the investigation focused almost invariably on dimensional changes due to nitration. Deviations were repeatedly observed, so there was a desire to develop this in a better direction.</p> <p>The thesis was carried out as a theoretical research. Measurement reports made from Raute's spindles were utilized in the work. Valuable support for the work was provided by the staff of both Raute and Bodycote.</p> <p>As a result of the work, a few development proposals emerged. The functionality of Raute's heat treatment furnace should be checked. Measurement reports could be used to compile an Excel spreadsheet, which could be used in the future to assess dimensional changes. In addition, the functionality of Thelning's formula can be decomposed by using the average of the dimensional changes.</p>		
Keywords Plywood, Turning, Nitriding		

## Sisällys

1	Johdanto.....	1
2	Raute Oyj.....	2
3	Vaneri ja LVL.....	3
3.1	Sorvaus .....	15
3.2	Karat.....	17
4	Haasteet.....	19
4.1	Mittamuutokset .....	19
4.2	Epäkeskoisuus .....	20
5	Pintakäsittely .....	21
5.1	Karojen pintakäsittelymenetelmät .....	21
5.2	Nitrauksen vaikutus karojen mittoihin.....	21
6	Yhteenveto .....	23
6.1	Pohdinta .....	23
6.2	Kehitysehdotukset .....	24
	Lähteet .....	25

# 1 Johdanto

Raute Oyj on maailmanlaajuinen markkinajohtaja vaneriteollisuudessa 15-20 % markkinaosuudella. Myös LVL-teollisuudessa Rautella on vahva markkina-asema, sillä yli puolet maailman LVL:stä tuotetaan Rauten toimittamilla koneilla. Rauten teknologia kattaa viilun, vanerin ja LVL:n koko tuotantoprosessin, sekä erityismittalaitteita sahatavaralle.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on parantaa viilusorvin karojen mittamuutoksien hallittavuutta typetyksessä eli nitrauksessa. Raute valmistaa sorvin karoja kokoonpantaviin sorveihin. Sen lisäksi karoja toimitetaan paljon varaosina asiakkaille. Sorvin karoista tehdään aina koneistusvaiheessa mittapöytäkirjat, jonka jälkeen karat sekä pöytäkirjat menevät vielä tarkastuspisteelle, jossa karat mitataan ja tarkastetaan. Karojen tarkastuksen jälkeen ne lähetetään Bodycote Lämpökäsittely Oy:lle, jossa karoille tehdään typetyksessä eli nitraus lämpökäsittely. Nitrauksen jälkeen karat tulevat Rauten tarkastuspisteelle, missä mittamuutoksien on havaittu olevan erilaisia eri suuruisissa ja pituisissa olakkeissa ja rei'issä. Lisäksi on havaittu, että varsinkin pitempiin karoihin tulee nitrauksen jälkeen heittoa. Pahimmassa tapauksessa koko karojen tuotantoerä joudutaan hylkäämään, koska karat käyttäytyvät nitrauksessa eri tavoin kuin on oletettu. (Raute Oyj, 2021)

## 2 Raute Oyj

Raute on puutuotetotalaa maailmanlaajuisesti palveleva teknologia- ja palveluyritys, jonka tärkeimmät asiakasteollisuudet ovat vaneri- ja LVL-teollisuus. Rauten asiakkaat ovat puutuoteteollisuudessa toimivia yrityksiä, joiden valmistamia puutuotteita ovat viilu, vaneri, LVL (Laminated Veneer Lumber, viilupalkki) ja sahatavara. Uusiutuvien raaka-aineiden ja materiaalien suosiminen mm. rakentamisessa kasvattaa puutuoteteollisuutta. Globaalin puutuoteteollisuuden markkinoiden koko on noin 150 miljardia euroa.

Maailmanlaajuisen viilu-, vaneri- ja LVL-teollisuuden tuotantoteknologian investointien kokonaisarvon arvioidaan olevan noin 600-750 miljoonaa euroa vuodessa normaalin suhdanetilanteen aikana.

Tehdaslaajusten kokonaisuuksien toimittajana Raute on maailmanlaajuinen markkinajohtaja niin vaneri- kuin LVL-teollisuudessa. Rauten teknologiatarjonta kattaa viilun, vanerin ja LVL:n koko tuotantoprosessin sekä erityismittalaitteita sahatavaralle. Kokonaispalvelukonseptiin kuuluvat lisäksi teknologiapalvelut varaosatoimituksista säännölliseen kunnossapitoon ja konekannan modernisointeihin. Projektityyppiselle liiketoiminnalle tyypillistä on investointipäätösten herkkyys talouden suhdanteille ja ajoituksen vaikea ennakoitavuus.

Asiakaskuntaa palvelee Rauten noin 700 osaaajaa kymmenessä eri maassa. Tuotantolaitokset sijaitsevat Suomessa Lahden Nastolassa ja Kajaanissa, Kanadassa Vancouverin alueella, Kiinassa Shanghaiin alueella sekä Pullmanissa, Washingtonin osavaltiossa Yhdysvalloissa. Myyntiverkosto on maailmanlaajuinen. Huolto ja varaosapalveluita tarjotaan enenevässä määrin myös paikallisesti. (Raute Oyj, 2021) Vuodesta 1994 lähtien Rauten (kuva 1) A-osake on noteerattu Nasdaq Helsinki Oy:ssä.



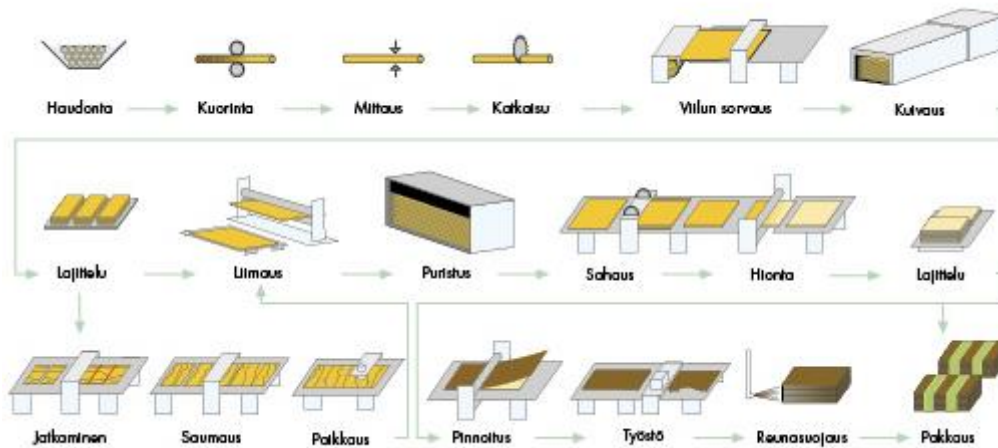
Kuva 1. Raute Oyj:n logo (Raute 2021)

### 3 Vaneri ja LVL

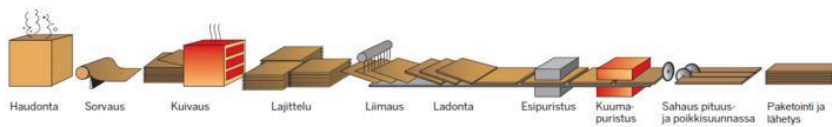
Vaneri valmistetaan ohuista puuviiluista liimaamalla. Yksittäisen viilun paksuus vaihtelee 0,2 – 3,2 mm välillä. Viilut ladotaan siten, että päällekkäisten viilujen syysuunnat ovat yleensä kohtisuorassa toisiaan vasten. Koivuvanerilevyssä viiluja on aina pariton määrä, kuitenkin vähintään 3 kappaletta, jotta pinta viilujen syysuunta on sama. Havuvanerissa taas voi olla myös parillinen määrä viiluja. Viilut liimataan useimmiten säänkestävällä fenoli-hartsiliimalla, joka on väriltään puuviiluja selvästi tummempaa. Vanerin valmistustavan takia se on erityisen lujaa, tiivistä ja iskunkestävää. Tästä syystä vaneria voidaan käyttää moniin eri käyttökohteisiin. Havuvaneria käytetään useimmiten rakentamisessa, esimerkiksi kantavissa rakenneosissa ala-, väli- ja yläpohjarakenteissa sekä levyjäykisteenä seinärakenteissa. Koivuvaneria käytetään taas erittäin suurta lujuutta tai korkeaa laatua vaativissa kohteissa, kuten erikoislattioissa, vaativissa sisäverhouksissa, huonekaluteollisuudessa, kuljetusvälineiteollisuudessa ja betonimuotteissa. Lisäksi on olemassa kolmea erilaista sekavaneria. Combivanerissa molemmat pinnat ovat koivuviilua ja sisäviilut ovat vuorotellen koivua ja havupuuta. Peilikuva-combivanerissa pintaviilut ovat koivua ja sisäviilut ovat vuorotellen havupuuta ja koivua. Twinvanerissa pintaviilut ovat koivua ja sisäviilut havupuuta. Sekavanereilla on samat laatuluokat kuin koivuvanerilla, koska niiden pinta on aina koivua. Sekavanerit ovat monikäyttöisiä, niitä käytetään esimerkiksi jalosteiden ja erikoisvanereiden peruslevyinä ja betonimuotteina. Pinnoituksella voidaan parantaa vanerin teknistä suorituskykyä ja ominaisuuksia. Pinnoituksen tarkoituksena on parantaa vanerin kulutuksen-, iskun-, sään- ja kemikaalinkestävyyttä sekä kitkaominaisuuksia. Pinnoitettua vaneria käytetään esimerkiksi maatilarakentamisessa, perävaunujen lattioissa sekä korkealaatuisissa betonivaluissa. (Puuinfo Oy, 2020)

Viilupuu (LVL – Laminated Veneer Lumber) valmistetaan sorvatuista kuusiviiluista liimaamalla. Suomalainen viilupuu valmistetaan liimaamalla 3 mm paksuisia kuusiviiluja yhteen. Käyttökohteen mukaan viilujen syysuunta on joko pituussuuntaan tai osa viiluista on liimattu ristiin. Tavallisesti viiluja ei hiota eikä paikata, mutta joskus lapepinnat voidaan hioa. Lisäksi tietyissä erikoistapauksissa voidaan pintaviilu hioa. Viilupuun enimmäisleveys on 2,5 metriä ja enimmäispituus kuljetuksen kannalta tyypillisesti noin 25 metriä. Palkkien paksuus vaihtelee 27 – 75 mm välillä. Korkeudet vaihtelevat valmistajakohtaisesti. LVL-levyistä voidaan valmistaa paksuja rakenteellisia levyjäisiä rakennusosia. Viilupuuta käytetään aukko- ja tukipalkkeina sekä rakennuksen jäykistävinä osina. Palotilanteessa viilupalkkien nimellinen hiiltymänopeus on 0,7 mm/min ja yksidimensionaalinen hiiltymänopeus 0,65 mm/min. Suomessa viilupuuta valmistavat Metsä Wood ja Stora Enso. (Puuinfo Oy, 2020)

Vanerin (kuva 2) ja LVL:n (kuva 3) valmistusprosessi on monivaiheinen. Tuotantoprosessi on automatisoitu, joten operaattoreiden tehtävä on suurimmaksi osaksi tuotantoprosessin valvonta ja toiminnan varmistaminen. Vanerin ja LVL:n valmistusprosessit ovat hyvin samankaltaisia.



Kuva 2. Vanerin valmistusprosessin periaatekaavio (Varis 2017, luku 4)



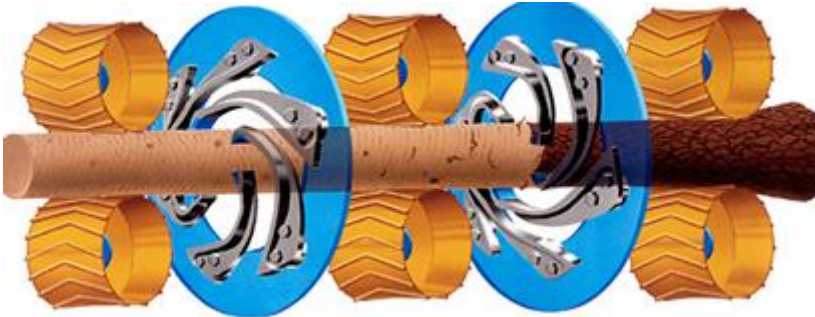
Kuva 3. LVL:n valmistus (Metsä Wood 2021)

Vaneri- ja LVL prosessissa ensimmäisenä vaiheena on tukkien haudonta (kuva 4). Haudonnan tarkoituksena on nostaa tukin sisälämpötilaa ja pehmittää tukkia. Sisälämpötilan nostaminen parantaa sorvauksen ja viilun laatua. Lämpö ja kosteus lisäävät puun elastisuutta, jolloin puuaines leikkautuu parhaiten. Suomessa yleisin haudontamenetelmä on lämminvesihautomoallas, jossa veden lämpötila on 40-85 °C. Tukat haudotetaan aina nip-puina, jotka puretaan vasta syöttövaiheessa. Yleinen haudonta-aika on noin vuorokausi.



Kuva 4. Koivunippuja hautomoaltaassa (Varis 2017, kappale 4.1)

Haudonnan jälkeen tukit siirretään kuljettimelle, joka kuljettaa tukit kuorintaan, suoraan katkontaan tai suoraan sorvaukseen, mikäli tukit on katkottu pölleiksi jo ennen haudontaa. Kuorinnan tarkoituksena on poistaa tukista kuori, kivet ja hiekka. Kuorinta on tehtävä siten, ettei tukin pinta vaurioidu, sillä sorvauksessa pinnasta syntyvät arvokkaimmat pintaviilut. Kuorinta tehdään ennen sorvausta, sillä muutoin se hidastaisi sorvausta, ja kivet sekä hiekka vaurioittaisivat sorvin teriä. Kuorimakoneet toimivat roottorimenetelmällä (kuva 5), jossa teräpaine tuotetaan hydraulisesti tai pneumaattisesti. Roottoripyörään on asennettu kuusi kuorintaterää, joita painetaan puun pintaa vasten. Terät kaapivat kuoren pois roottorin läpi syötettävästä tukista jälsikerrosta pitkin. (Varis 2017, kappale 4.1)



Kuva 5. Roottorikuorinnan periaate (Varis 2017, kappale 4.1)

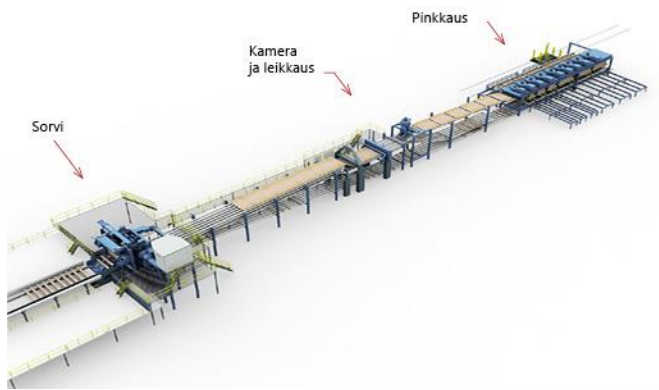
Kuorinnan jälkeen tukki kulkeutuu katkontaan. Katkonta suoritetaan automaattisesti toimivilla heilurisahoilla tai ketjusahoilla. Katkonnassa tukit katkotaan tarvittaviin sorvipöllipituuksiin. Jos tukin halkaisija on yli 800 mm, käytetään katkaisussa yksinomaan ketjusahoja. Katkaisussa on myös mahdollisuus oikaista pöllien vinopäisyys. Näin tehdään varsinkin, jos sorvilla ei käytetä reunapuukkoa, joka oikaisee viilumaton suorareunaiseksi heti sorvin jälkeen. (Varis 2017, kappale 4.1)

Näiden vaiheiden jälkeen tukista on muodostunut pölli ja se on valmiina siirtymään sorvaukseen. Sorvauksessa porrasannosnostin nostaa pöllin keskittäjälle (kuva 6), joka optimoi mittauksen perusteella edullisimman pöllin asennon ja vie pöllin siirtovarsilla sorvin karoihin. Karat pyörittävät pölliä pitämällä kehänopeuden vakiona samanaikaisesti, kun teräpenkkiä

syötetään kohti karakeskiötä. Teräpenkissä on kiinni leikkaava terä, joka leikkaa viilua pölistä. Viilu tulee ulos vastaterän ja leikkaavan terän muodostamasta raosta. Teräraon on oltava pienempi kuin viilun paksuus, jolloin teräosassa syntyvä puristus mahdollistaa viilun laadun. Sorvauslinjaan (kuva 7) kuuluu lisäksi viilunkuljetin, leikkuri, viilupinkkari ja pinkan poistokuljetin. Viilumatosta voidaan mitata viilun paksuuden lisäksi kosteus sekä laaduttaa viilumatto leikkausta varten. Koneenäkö ohjaa viilun kosteusmittausta, laadutusta ja leikkausta. Tavoitteena on maksimoida pintalaatujen määrä ja kaiken käyttökelpoisen viilunai-  
neksen mahdollisimman tarkka talteenotto. Värikameratekniikka on kehitetty tunnistamaan ja analysoimaan viilumatossa olevat pienetkin yksityiskohdat, kuten oksat, reiät, halkeamat, kuoret ja lahot. Järjestelmä optimoi leikkauskohdat viilusta analysoitujen tietojen perusteella ja ohjaa sen mukaisesti leikkurille, roskaluukulle ja pinkkaajille vieviä kuljettimia. Viilun laadutuksessa lajitellaan pintaan tulevat viilut standardin mukaisiin laatuihin, mutta yrityksillä on käytössä myös omia asiakaslaatuokkia. Viilumaton leikkaus alkaa alkukiilan leikkauksesta, jonka jälkeen leikataan kapeampia jonttikappaleita niin leveänä kuin mahdollista ja poistetaan välistä vialliset kohdat kuten halkeamat, rikkipäiset kohdat ja isot reiät. Viilun leikkaus suoritetaan pyöriväteräisellä leikkurilla (kuva 8), joka toimii sähköisesti tai hydraulisesti. Levyn sisään tulevat väliviilut leikataan joko leveinä tai suorakaiteen muotoisina arkkeina. (Varis 2017, kappale 4.2)



Kuva 6. Pölli sorvin keskittäjässä



Kuva 7. Sorvauslinjan layout (Varis 2017, kappale 4.2)



Kuva 8. Pyöriväteräinen viiluleikkuri (Varis 2017, kappale 4.2)

Leikkurin jälkeen viilusta mitataan kosteus, joka edesauttaa pinkkaamisen sujuvuutta, kuivauksen tehokkuutta, sekä oikeaan loppukosteuteen pääsemistä. Kosteusmittaus tapahtuu kapasitiivisella anturilla tai mikroaaltomittarilla. Koivuviilut lajitellaan 1 – 2 kosteusluokkaan ja havuviilut 2 – 3 luokkaan. Lajittelun ansiosta kuivauskapasiteetti kasvaa, koska ylikuivauksen määrä vähenee. Kosteuden mukaan säädetään myös pinkkausta. Mitä kosteampi viilu on, sitä enemmän se painaa. Imuhihnat kuljettavat viilut pinkkauspaikalle. Imuhihnojen välissä on imuraot, joiden avulla viilut imetään hihnaan kiinni kuljetettaessa. Viilu putoaa kuljettimesta, kun pinkkaajan aisa iskee viilun irti imusta. Viilut pinkataan joko aluslevyjen päälle tai ilman aluslevyjä. Ilman aluslevyjä siirrettävät pinkat vaativat tiheät rullakuljettimet, etteivät alimmaisat viilut vaurioidu. Pinkkojen siirrot hoidetaan automaattisesti toimivilla rullakuljettimilla. (Varis 2017, kappale 4.2)

Puu on materiaalina hygroσκοoppista eli ilmasta vettä imevää ainetta, jolloin sen kosteus tasapainottuu ilman lämpötilan ja ilman suhteellisen kosteuden mukaisesti. Puun kuivaus perustuu tähän ominaisuuteen. Vesi liikkuu puussa vapaasti soluonteloiden kautta joko

nesteenä kapillaarisesti tai höyrynä tai soluseinämässä sidottuna molekylaarisena diffuusiona. Vaneritehtailla on käytössä kahta erilaista kuivaajatyyppeä, joissa molemmissa on sama periaate eli veden poistaminen puusta lämmön ja ilmankierron avulla. Telakuivaajan rakenne muodostuu syöttölaitteesta, kuivauskoneesta ja purkulaitteesta. Telakuivaajassa (kuva 9) telaparit pyörivät hammaspyörä- ja ketjuvälityksellä siirtäen viilua koneessa tasaisesti eteenpäin. Kiertoilmapuhallin ohjaa poikittaisen ilman virtauksen suutinlaatikoiden kautta viilun pintaan. Viilut syötetään telakoneeseen syynsuuntaisesti niin, että viilun pituussuunta on kulkusuunta. Verkkokuivauskoneeseen viilumatot menevät kokonaisena suoraan sorvauslinjalta ilman lajittelua ja kosteusmittausta. Viilu kulkee teräsverkkojen välissä, jossa ilma kierrätetään puhaltimien avulla pattereiden läpi ja puhalletaan suutinlaatikosta viilun pintaan. Verkkokuivauksen etuna on parempi hyötysuhde ja tarkempi leikkausmitta, koska viilu leikataan vasta kuivattuna.

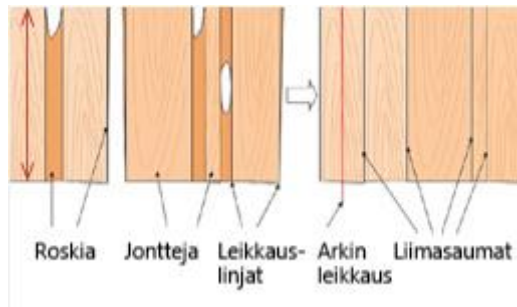


Kuva 9. Telakuivauskoneeseen viilut syötetään arkkeina

Kuivauksen jälkeen viilut lajitellaan lopullisen laadun mukaan. Verkkokuivaajan jälkeen linjassa on lisäksi leikkuri, jolla leikataan arkit ja jonttikappaleet kameralajittelun mukaan. Lajittelussa noudatetaan pintaviilujen laatuluokituksia. Suomalaisen koivuvanerin laatuluokittelu täyttää standardien EN 635 ja SFS 2413 vaatimukset. SFS 2413 ei ole enää voimassa, mutta on edelleen koivuvanerin pintalaatujen osalta käytössä. (Varis 2017, kappale 4.3)

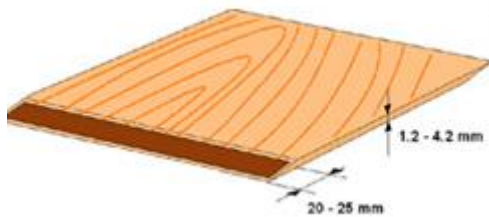
Lajittelun jälkeen viilut voivat mennä suoraan liimaukseen tai jatkolinjalle saumaukseen. Saamaamalla viilua erikokoisista viilun kappaleista saadaan halutun levyisiä arkkeja, joita käytetään pääasiassa sisäviiluina. Saumauksen päätavoitteena on hyödyntää sorvattu viilumateriaali mahdollisimman tarkasti ja kasvattaa näin viilusaantoa leikkaamalla liian isot viilut pois. Saumauksessa käytetään liimalankaa molemmin puolin, sekä tarvittaessa liimapi-saroita puskusaumassa. Kun arkki on saavuttanut halutun mitan, se leikataan arkkileikkurilla. Saumatun viilun pituusmitta on yleensä sorvattun pöllin mitta, mutta leveydeltään ne voidaan saumata portaattomasti mihin prosessin vaatimaan mitta tahansa. Vikojen poistamisen jälkeen jäljelle jää erilevyisiä viilukappaleita eli jontteja, joista saadaan

saumaamalla täyslevyisiä arkkeja. Punainen nuoli kuvassa 10 osoittaa viilun syynsuunnan. (Varis 2017, kappale 4.4)



Kuva 10. Saumauksen periaate (Varis 2017, kappale 4.4)

Viilun jatkolinjan tarkoituksena on saada halutun pituista liimaviilua jatkamalla sitä viistosaumoilla. Viiluarkista viistetään päät (KUVA 12) ja levitetään liima viisteisiin, jonka jälkeen viisteet puristetaan yhteen kuumapuristinpalkkien välissä ja jatkettu arkki leikataan haluttuun mittaan. Viisteen pituus riippuu viilun paksuudesta.



Kuva 11. Molemmista päistä viistetty viiluarkki (Varis 2017, kappale 4.4)

Automaattisella jatkolinjalla (kuva 12) viilut syötetään pinkoista imuhihnoilla kameralinjalle, josta arkit menevät risteysasemalle. Siinä hylätyt arkit poistetaan ja kelvolliset arkit jatkavat viistosahalle ja liimoitukseen. Kun arkki on jatkettu, se leikataan haluttuun mittaan ja pinkataan. (Varis 2017, kappale 4.5)



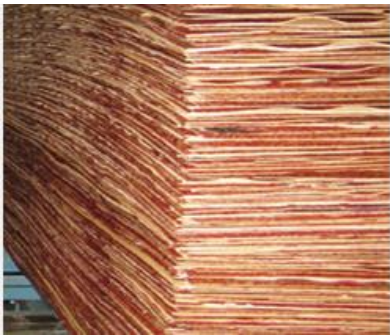
Kuva 12. Automaattinen jatkoslinja (Varis 2017, kappale 4.5)

Vanerin valmistuksessa pintaviilujen saanto ei riitä täyttämään tarvetta, ellei pintaviilujen määrää pystytä lisäämään korjaamalla puussa esiintyviä vikoja paikkaamalla. Koivuvaneria valmistavat tehtaot paikkaavat koko viiluvirrasta reilu kymmenesosan. Paikkauksessa arkissa olevat viat korjataan viilupaikalla. Korjattavia vikoja ovat tyypillisesti oksat, mekaaniset vauriot, kaarna- ja pihkakolot sekä pienet halkeamat. Paikkaamalla viiluja niiden laatuluokka tulee paremmaksi. Paikkauslinjassa viiluarkkien nosto tapahtuu myös imuhihoilla, joilta arkkit siirtyvät hihnakuuljettimelle. Kuvan 13 esittämässä linjassa paikattavat viilut syötetään vasemmalla olevista pinkoista linjalle, jossa ensimmäisenä on kamera. Seuraavaksi viilut ohjautuvat paikkausasemalle, jossa ne kohdistetaan robotin avulla ja paikataan automaattisesti kameralta saadun tiedon mukaan. Paikatut viilut pinkataan laadun ja koon mukaisesti. Konenäköjärjestelmä analysoi viilusta kuvatut viat annettujen parametrien perusteella. Järjestelmä ohjaa paikkauspäiden ja robottien toimintaa optimoiden niiden reitin. (Varis 2017, kappale 4.6)



Kuva 13. Paikkauslinja (Varis 2017, kappale 4.6)

Automaattinen ladontalinja koostuu viilujen syöttöjärjestelmästä ja verho- tai juovamaisesta liiman levityksestä. Linjassa on kamera, joka valvoo viilun laatua ja kokoa, sekä ohjaa viilun asemointia ladelmassa. Vanerin valmistuksessa käytetään pääasiassa fenoliformaldehydi- tai ureaformaldehydipohjaisia hartseja. Liiman valmistuksessa on huomioitava prosessikohtaisesti eri tekijöitä, joita ovat liiman viskositeetti, liimaseoksen ja hartsin ikä, imeytyminen viiluun, ladonta-aika, liiman avoin aika ladonnasta esipuristukseen, esipuristustartunta sekä rata-aika esipuristuksesta kuumapuristukseen. Ladonnassa vanerin rakenne muodostuu oikeasta viilukerrosten määrästä, laadusta ja koosta. Lademapinkkaan (kuva 14) ladotaan kuumapuristinväljen määrän tai välien kerrannaisten mukainen määrä levyaihiota. Vanerin ladelmassa toinen reuna ja toinen pää ovat ns. kovareunaa, jotka syntyvät ladottaessa vas- teita vasten. (Varis 2017, kappale 4.7)



Kuva 14. Vanerin ladelma (Varis 2017, kappale 4.7)

Ladonnan jälkeen ladotut levyt menevät esipuristukseen, jonka tarkoituksena on parantaa liimatartuntaa ja estää liiman kuivumista ennen kuumapuristusta. Ladotut levyt saavat esipuristuksessa levymäisen muodon. Esipuristuksessa käytetään hydraulisia sylintereitä. Puristin sulkeutuu ja avautuu automaattisesti. Esipuristetut levyaihiot syötetään kuumapuristimen täyttölaitteeseen, joka vie levyt puristimen sisään yhtäaikaaisesti. Kuumapuristuksessa viilut liimataan korkea lämpötilan ja paineen avulla yhteen. Puristimet on varusteltu hissitoimisilla täyttö- ja purkulaitteistoilla (kuva 15) ja niissä on 25-50 puristinväliä riippuen tehtaan kapasiteettitarpeista. (Varis 2017, kappale 4.7)



Kuva 15. Puristetut vanerilevyt purkulaitteessa (Varis 2017, kappale 4.7)

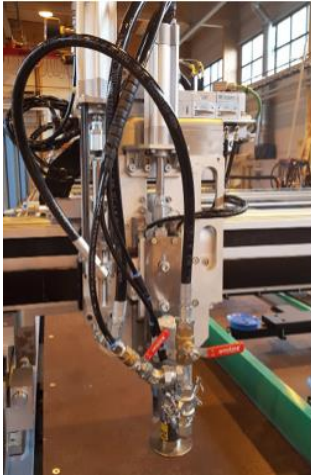
Puristuksen jälkeen vanerilevyjen reunoissa on viilusäleitä ja niissä on liimapurseita. Laddonnassa aihioihin syntyy kova reuna lyhyelle ja pitkälle sivulle, jonka mukaan levyt asemoidaan sahaukseen. Levyt pinkataan puristimelta nipuiksi, joista ne syötetään sahauslinjalle. Sahauksen jälkeen levyt tarkastetaan, korjataan, hiotaan, lajitellaan ja pakataan toimitettavaksi asiakkaalle. Sahauksessa levyt saavat lopullisen mittansa, kun ne sahataan suorareunaisiksi ja suorakulmaisiksi. Mikäli levyn jatkokäyttö on pinnoitus, sahaus tehdään pinnoiteaihion mittaan ja lopullinen sahaus vasta pinnoituksen jälkeen. Sahauslinjan ensimmäinen yksikkö sahaa levyn pituuden samanaikaisesti kahdelta sivulta ja toinen yksikkö sahaa levyn leveyden. Sahausyksikkö (kuva 16) voidaan varustaa piirtoterällä sekä varsinaisella leikkaavalla terällä. Piirtoterän tarkoituksena on estää levyn pinnan repeämistä, jolloin se parantaa sahauksen laatua. Pyöröterät ovat paloitettuja kovametalliteriä, jotka vaihdetaan parin viikon välein sahaustarkkuuden ja hyvän sahausjäljen ylläpitämiseksi. (Varis 2017, kappale 4.8)



Kuva 16. Sahausyksikkö (Varis 2017, kappale 4.8)

Kittilinja muodostuu jyrsinpäästä (kuva 17), sekä kittausportaalista (kuva 18). Kittilinjalla voidaan korjata vanerilevyjen pintavikoja. Linjan toiminta perustuu kamerateknologiaan, jolla levyssä olevat viat tunnistetaan ja analysoidaan. Kittaussolu jyrsii vikakohtaan auki ja levittää kitin aukkoon. Kittinä käytetään tavallista puukittiä, joka kuivuu nopeasti, mutta

teollisuusrobotin avulla voidaan käyttää myös 2-komponenttista polyuretaani- tai epoksikit-  
tiä. Kamera pystyy havaitsemaan pienimmillään 0,3 mm:n halkeamat sekä viilupinnassa  
olevat karkeat alueet. (Varis 2017, kappale 4.8)



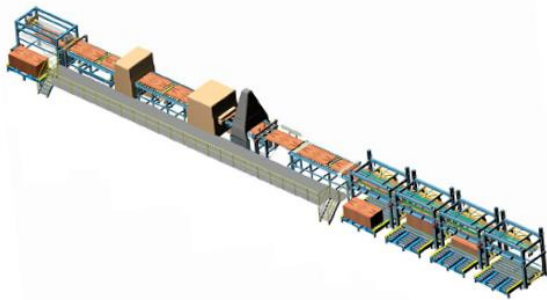
Kuva 17. Kittausrobotin jyrsinpää (Varis 2017, kappale 4.8)



Kuva 18. Kittausportaali (Varis 2017, kappale 4.8)

Sahatut ja kitatut vanerilevyt menevät seuraavaksi hiontalinjalle. Hionnan avulla saadaan  
levyn pinta sileäksi, sekä levy haluttuun paksuuteen. Hiontalinja koostuu levyjen syötöstä,  
hiomakoneesta ja levyjen pinkkauksesta. Linjaan voidaan myös liittää lajittelulinja. Levyjen  
syöttö tapahtuu imukuppitarttujilla pinkasta yksi kerrallaan. Hiomakoneessa on 3 tai 4 hion-  
taysikköä, joissa on hiomapäät ylä- ja alapuolista hiontaa varten. Hiomanauha pyörii hio-  
mapään kontaktirummun tai tallan ja ulomman kääntötelan kautta ympäri. (Varis 2017, kap-  
pale 4.8)

Ennen pakkausta on vuorossa levyjen lajittelu. Lajittelu voidaan tehdä hionta-, kittaus- tai sahauslinjan jatkeena tai se voi olla kuvan 19 mukaisesti erillinen linjasto. Prosessi alkaa levyjen automaattisesta syötöstä hiomakoneelle, jossa levyt oikaistaan ennen hiontaa. Levyt tarkastetaan molemmin puolin joko standardin mukaan tai asiakkaan kanssa sovittujen erikoisvaatimusten mukaan. Levyistä tarkastetaan visuaalinen ulkonäkö sekä liimauksen laatu. Hionnan jälkeen on kameranäköä hyödyntävä laadun tarkastus, minkä perusteella levyt lajitellaan oikeisiin pinkkoihin. Automaattinen levyn lajittelu toimii 3D kameranäöllä, joka pystyy havaitsemaan pienimmätkin virheet levyn pinnasta. (Varis 2017, kappale 4.8)



KUVA 20. Hionta- ja lajittelulinja (Varis 2017, kappale 4.8)

Viimeisessä prosessivaiheessa levyt pakataan asianmukaisesti ja laadukkaasti. Hyvin pakattuna levyihin ei pääse likaa tai kosteutta, eikä levyihin tule käsittelyvaurioita toimituksen vaiheissa. Lisäksi levyt ovat helposti käsiteltäviä ja varastoitavia. Levyjen pakkaus voidaan suorittaa käsin, puoliautomaattisesti tai kokonaan automaattisesti. Täysautomaattisilla pakkauslinjoilla vanerilevyt kääritään kaikilta sivuilta kutistekalvolla tiukaksi paaliksi. Levyjen ympärille kierrytetään moninkertainen, ristiin kääritty suojamuovi. Sitomiseen ei tarvita van-teita eikä kulmasuojia, mutta esimerkiksi pontattujen levyjen pakkauksessa tulee käyttää suojalevyjä reunoissa. Hyvin pakatut levyt säilyttävät lähtökosteutensa, paksuutensa ja suorituutensa. Standardin mukaan levyjen CE-merkintä tulee olla leimattuna tuotteeseen tai siihen liimattuun tarraan. Merkinnästä selviää tuotteen paksuus, valmistaja, sertifioijan tunnus, suoristustasoilmoituksen numero, tuotettava koskeva standardi ja käyttöluokka sekä formaldehydiluoikka. Valmiit vaneripaalit kuljetaan asiakkaille auto-, juna- ja laivakuljetuksina (kuva 20). (Varis 2017, kappale 4.8)



Kuva 20. Valmiit vaneripaalit lähdössä kuljetukseen (Varis 2017, kappale 4.8)

### 3.1 Sorvaus

Vaneri- ja LVL-teollisuudessa käytetty viilu valmistetaan viilusorvilla. Sorvissa pölliä pyöritetään karoilla pitämällä kehänopeus vakiona samanaikaisesti, kun teräpenkkiä syötetään kohti karakeskiötä. Sorvauksen tavoitteena on saavuttaa mahdollisimman hyvä saanto arvon ja määrän suhteen korkealla kapasiteetillä. (Varis 2017, kappale 4.1)

Sorvatun viilun on oltava teknisesti laadukasta. Teknisen laadun kriteereitä ovat poikittaisvetolujuus, paksuus, tasomaisuus sekä pinnansileys. Nämä ominaisuudet ovat tärkeitä lopputuotteen laadun, lujuuden, sekä sorvauksen jälkeen tapahtuvan viilun käsittelyn ja hävikin kannalta. (Varis 2017, kappale 4.2)

Viilun mitat ilmoitetaan syysuunnan mukaan siten, että viilun pituussuunta on sama kuin pöllin pituussuunta. Leveys puolestaan syntyy leikatun tai saumatun arkkimitan mukaan. Pöllin ja viilun mitoista voidaan puhua myös jalka- tai tuumamittoina metrisen järjestelmän sijasta tai rinnalla. Viilun paksuus määräytyy sorvin teräkelkan liikkuma-alueesta yhtä pöllin pyörähdystä kohti. Koivuvanerin yleisin nimellispaksuus sorvattuna on 1,5 mm, märkäpaksuutena 1,50 – 1,57 mm väliltä. Viilun nimellispaksuus kuivana valmiissa levyssä on 1,4 mm. Havuviilun yleisimmät nimellispaksuudet vaneriteollisuudessa ovat 2,0, 2,6, 3,0 ja 3,3 mm. LVL teollisuudessa havuviilun nimellispaksuus on 3,0 – 3,4 mm välillä. Vaneritehtailla viilun paksuuksia voi olla useita levyn rakenteesta riippuen, kun taas LVL-tehtaalla käytetään useimmiten vain yhtä viilun paksuutta. (Varis 2017, kappale 4.2)

Keskittäjä on isossa roolissa vaneritehtaan raaka-aineen kulutuksen sekä viilun arvosaannon optimoinnissa. Kun pöllistä halutaan mahdollisimman paljon viilua, tulee se keskittää optimaalisesti sorvin karoihin. Sorvissa keskittäminen tapahtuu automaattisella XY-keskittäjällä, joka optimoi mittauksen perusteella pöllille tuottavimman asennon ja vie sen siirtovarsilla sorvin karoihin. Ensimmäisessä vaiheessa tapahtuu esikeskitys, jolloin pöllistä mitataan halkaisija. Halkaisijatiedon perusteella mittakarvat tarttuvat pölliin mahdollisimman

läheltä keskipistettä. Pölli pyörii mittakaroissa lasermittauksen ajan, jonka perusteella lasketaan optimaalinen sorvasausasento. Se määräytyy suurimman pöllin sisään mahtuvan ympyrälieriön perusteella. Mittakarat suorittavat tarvittavat korjausliikkeet, jonka jälkeen siirtovarret siirtävät pöllin sorvin karoille. Tällä tavalla pöllin pyöritys- ja viulun leikkausvaiheissa menetetään mahdollisimman vähän arvokkainta pintaviilua hakkeeksi sekä optimoidaan valmiiden arkkien saanto. (Varis 2017, kappale 4.2)

Vielä 1980-luvun lopulla käytettiin mekaanista kolmen pisteen keskittäjää, jonka jälkeen se korvattiin automaattisella XY-keskittäjällä. Ensimmäisissä laserskannausta käyttävissä keskittäjissä oli pistemäiset laserit, joiden mittauspisteiden väli oli noin 300 mm. Tällä keinolla saatiin tuotettua pöllistä karkeahko profiili. Seuraava kehitysaskel otettiin, kun käyttöön tuli verholaser. Verholaserilla pystyttiin mittaamaan pölli tuuman tarkkuudella pituussuunnassa. Uusimmat versiot käyttävät HD-viuhkalaseria, jonka mittauspisteet ovat noin 3 mm:n välein. Tämä tarkoittaa, että mittauspisteitä on satojatuhansia, jolloin pöllistä syntyy todellinen 3D-kuva. 3D-kuvan perusteella penkin palautus sekä optimointi on parantunut merkittävästi. Tämän avulla saadaan paras mahdollinen raaka-aineen käyttösuhde, sekä korkeampi kapasiteetti koko tehtaassa. Tarkka mittaus on mahdollistanut sorvin teräpenkin palautumisen mahdollisimman tarkasti halutulle kohdalle. Teräpenkkiä ei haluta liian kauas pöllistä, eikä myöskään liian lähelle, koska silloin terä vuolee välittömästi puuta. Optimaalinen teräpenkin sijainti on n. 2 mm päässä pöllistä, jolloin se ei ota välittömästi kiinni pölliin, mutta viulun sorvasaus voidaan aloittaa nopeasti. (Varis 2017, kappale 4.2)

Viulusorvi on vaneri- ja LVL-prosessien pääkone (kuva 21). Suurikokoinen sorvilaitteisto vaatii järeän perustuksen. Sorvin tehtävä on pyörittää pölliä karoissa samalla, kun teräpenkki liikkuu keskiötä kohti. Käytössä on myös karattomia sorveja. Karallisten sorvien purilaan paksuus on vähintään 55 mm, kun taas karattomien sorvien purilaan paksuus on vähintään 30mm. Tällöin viilusaanto paranee. Karallisessa sorvissa pölli pyöristetään lieriönmuotoiseksi. Pyöritysvaiheessa pyörimisnopeus on usein nopeampi kuin sorvasnopeus ja siitä syntyvä viilujäte sorvataan paksumpana kuin varsinainen viilu. Pyöritysnopeus on yleisesti 300 – 350 m/min ja sorvasnopeus 250 – 300m/min. Pyöritysjäte ohjataan suoraan hakkurille vievälle kuljettimelle, kun taas viilumatto ohjataan viiluradalle. Pyöritys lopetetaan heti, kun siinä alkaa syntymään yhtenäistä viilumattoa. Viilu sorvataan leikkaavan terän ja yläpuolella olevan vastaterän muodostamasta raosta. Leikkaava terä ja vastaterä ovat molemmat kiinni teräpenkissä, joka liikkuu eteenpäin viulunpaksuuden verran pyöritystä kohti. Teräraon on oltava pienempi kuin viulun paksuus, jolloin teräraossa syntyvä puristus mahdollistaa paremman viulun laadun. Vastaterä voi olla joko kiinteä tai pyörivä. Havupuuta sorvatessa käytetään useimmiten pyörivää vastaterää, kun taas koivua sorvatessa käytetään kiinteää vastaterää. (Varis 2017, kappale 4.2)



Kuva 21. Rauten sorvi. (Varis 2017, kappale 4.2)

Sorvauslinjan operaattorin työ on pitkälti valvontatyötä, jossa operaattori valvoo sorvausleikkaus-pinkkaus-linjan toimintaa valvomosta käsin. Operaattori vastaa sorvauksen teknisestä laadusta, terän vaihdoista sekä laitteiden käyttövarmuudesta. Säädot tapahtuvat sauvaohjainta ja graafista, kosketusnäyttöllistä käyttöliittymää käyttäen. Teränvaihdossa käytetään apuna erilaisia nostimia, joissain tilanteissa on myös mahdollista käyttää apuna teränvaihtorobottia. (Varis 2017, kappale 4.2)

### 3.2 Karat

Sorvin karojen tehtävänä on pyörittää pölliä viulun sorvauksen aikana. Hydraulisesti toimivia karoja voi olla kahdet tai kolmet sisäkkäin, jolloin ulommat vetäytyvät pois pöllin halkaisijan pienentyessä. Tällä tavalla pystytään sorvaamaan enemmän viilua ja minimoimaan hukka. Lyhyempiä koivupöllejä sorvattaessa käytetään yleensä kaksoiskaroja, mutta pitemmällä koivupölleillä ja havupölleillä varsinkin LVL-tehtaissa käytetään kolmoiskaroja. Ulkokara on halkaisijaltaan isoin kara, joka vetäytyy ensimmäisenä. Kolmoiskarallisissa sorveissa keskimäinen kara on nimeltään välikara. Ulkokaran vetäydyttyä pölli jää pyörimään välikaran ja sisäkaran varaan, kunnes halkaisija pienenee entisestään. Tällöin myös välikara vetäytyy pois ja pölli on ainoastaan sisäkaran varassa. Kaksikaraisissa (kuva 22) sorveissa on vain ulkokara ja sisäkara. Karojen raaka-aineena käytetään nuorrutusterästä 42CrMo4. (Lenne Lehtinen)



Kuva 22. Rauten kaksikaraisen sorvin ulko- ja sisäkara

## 4 Haasteet

Rauten haasteena on karojen mittamuutoksien arvioiminen. Aiemmin on käytetty sääntöä, jonka mukaan karojen kaikkien pintojen paksuudet kasvavat 0,02 milliiä. Tämä on kuitenkin todettu vääräksi, kun karoista on tehty mittapöytäkirjoja, sekä kun ne on tarkastettu ennen nitraukseen lähetystä ja sen jälkeen. Karoissa huomattut mittavaihtelut ovat olleet jopa päinvastaisia. Sisähalkaisijat ovat saattaneet suurentua, vaikka on arvioitu, että sisähalkaisijat pienenevät. Ulkopinnoissa halkaisijan suurentumista on ollut jopa 0,1 mm. Karoissa olevat pinnat ovat tarkkoja laakeripintoja, ohjauspintoja, sekä liukupintoja, joten niissä vaaditut toleranssit ovat tarkkoja. Liian suuret mittamuutokset aiheuttavat karojen korjaamistarvetta pintakäsittelyn jälkeen tai pahimmassa tapauksessa jopa karojen hylkäämistä ja kokonaan uudelleen valmistamista. Karojen valmistaminen kestää useita päiviä, koska niissä on useita eri työvaiheita. Yhden karan valmistaminen vaihtelee 8 – 30 tunnin välillä sisältäen ainoastaan aktiivista työaikaa. Tähän aikaan tulee lisätä vielä jännityksen poistohehkus sekä mahdolliset odotusajat.

### 4.1 Mittamuutokset

Mittamuutokset vaihtelevat karoissa suuresti, eivätkä täsmää tuohon 0,02 millin sääntöön. Tarkasteluun otettiin 2 samanlaista ulkokaraa, joista molemmista on tehty mittapöytäkirjat. Ensimmäinen mitta 155 n6 oli molemmissa karoissa ajettu 0,04 mm plussalle ennen nitrausta. Nitrauksen jälkeen ensimmäisessä karassa tuo mitta oli +0,14 mm ja toisessa karassa +0,11 mm. Ensimmäisessä karassa mittamuutos oli siis 0,1 mm ja toisessa karassa 0,07 mm. Kyseinen olake on seinämäpaksuudeltaan 15 mm, halkaisijaltaan 155 mm ja pituudeltaan 10 mm. Toinen mitta 180 f7 oli molemmissa karoissa ajettu 0,08 mm miinukselle ennen nitrausta. Nitrauksen jälkeen molempien karojen mitat olivat 179,96 mm, eli mittamuutos molemmissa karoissa +0,04 mm. Kyseinen olake on seinämäpaksuudeltaan 40 mm, halkaisijaltaan 180 mm ja pituudeltaan 100mm. Kolmas mitta 200 f7 oli molemmissa karoissa ajettu 0,08 mm miinukselle ennen nitrausta. Nitrauksen jälkeen molempien karojen mitat olivat 199,94 mm, eli mittamuutos molemmissa karoissa +0,02 mm. Kyseinen olake on seinämäpaksuudeltaan 40 mm, halkaisijaltaan 200 mm ja pituudeltaan 1270 mm.

Näiden kahden karan mittapöytäkirjojen mukaan voidaan tehdä seuraavia päätelmiä: Mitä pienempi seinämävahvuus, halkaisija ja pituus, sitä suurempi mittamuutos on. Tämä sääntö ei ole absoluuttinen, mutta näiden karojen tarkastelussa se täsmää. Mittamuutokset karoissa olivat hyvinkin erilaisia, 0,1 – 0,02 mm välillä.

## 4.2 Epäkeskoisuus

Sisäkaroissa on huomattu myös epäkeskoisuutta. Sisäkaroista on tarkastettu epäkeskoisuus ennen nitrausta ja tulokset ovat olleet 0 – 0,02 mm väliltä. Kuitenkin nitrauksen jälkeen karoissa on ilmennyt jopa yli 0,1 mm heittoa. Tämä on tarkoittanut sitä, että karoja on täytynyt oikoa kuumentamalla pintakäsittelyn jälkeen. Kuumentamisen seurauksena karioihin jää lämmöstä aiheutuneita jälkiä, joita ei pystytä täysin poistamaan.

## 5 Pintakäsittely

Pintakäsittely eli tässä asiayhteydessä lämpökäsittely on ohjattu prosessi, jota käytetään eri materiaalien, kuten metallien ja seosten mikrorakenteen muuttamiseksi. Lämpökäsittelyllä haetaan materiaaliin pysyviä muutoksia, jotka vaikuttavat materiaalin kovuuteen, lujuuteen, sitkeyteen ja kulutuksen kestävyys. Käsittelyn kestosta ja tyypistä riippuen sen vaikutukset voivat ulottua koko kappaleeseen tai rajoittua vain sen pintaan tai rajattuun osaan. (Stén & Co Oy Ab)

### 5.1 Karojen pintakäsittelymenetelmät

Sorvin karojen pintakäsittelyn menetelmänä toimii hiilitypetys eli nitraus. Hiilitypetys on pintakarkaisuprosessin muunnos. Siinä lämpökemiallinen diffuusioprosessi, jossa typpi-, hiili-, ja erittäin pieni määrä happiatomeita diffusoidaan teräsosan pintaan, niin että siihen muodostuu yhdistekerros sekä diffuusiokerros. Hiilitypetyksen pääasiallinen tehtävä on pinnan kulumisenkeston sekä väsymislajuuden parantaminen. Hiilitypetyksen etuja ovat hinta, hyvä kulumisen kestävyys, naarmuuntumisen ja kiinnileikkautumisen kesto, väsymisominaisuuksien parantuminen, korroosionkesto ja pinnanlaatu. Hiilitypetys suoritetaan matalassa 570 °C lämpötilassa. (Bodycote Oy, 2019)

### 5.2 Nitrauksen vaikutus karojen mittoihin

Typetyksen mitta- ja muodonmuutokset ovat erittäin vähäisiä. Käsittely suoritetaan niin matalassa lämpötilassa, ettei teräksessä tapahdu faasimuutoksia. Pääosin nitrauskäsittelyyn tulevat kappaleet ovat työstettyjä lopullisiin mittoihin, eikä kallista jälkityöstöä tarvita.

Kun halutaan saada aikaan mahdollisimman pienet mittamuutokset, se edellyttää, että käsitellyt ennen typetystä on tehty oikein. Typetyksessä työstöjännitykset kappaleessa laukeavat, mikä voi johtaa mittamuutoksiin. Näitä jännityksiä voidaan vähentää karkeatyöstön jälkeisellä jännityksenpoistohehkuksella. Jännityksenpoistohehkuksen lämpötila tulisi olla 10 – 20 °C + typetyslämpötila, eli tässä tilanteessa hehkuksen tulisi suorittaa vähintään 580 °C lämpötilassa. Kun kappaleelta vaaditaan tiukat toleranssit, oikea valmistuksen järjestys ennen typetystä on karkeatyöstö, jännityksenpoistohehkuksen ja hienotyöstö. Tällä tavalla mittamuutokset pystytään rajaamaan vain muutamiin tekijöihin.

Typetykskerros aiheuttaa kappaleen pintaan puristusjännitystä. Kun kappaleen seinämävahvuus on pieni suhteessa typetykskerroksen paksuuteen, tulee huomioida myös mittamuutos, jonka suuruus typetykskerroksen ja sydänaineen poikkipinta-ala määräävät. Esimerkiksi pitkä ja ohut kappale kasvaa pituussuunnassa ja holkkien halkaisijat muuttuvat.

Mittamuutoksille ei ole valmisteltu kovinkaan montaa matemaattista mallia, mutta ”Bofors Handbok” käsikirjasta ja sen uusista painoksista ”Steel and it’s Heat treatment” löytyy mielenkiintoinen malli. Malli ei ole absoluuttinen, mutta se kuitenkin antaa hyvän kuvan siitä, miten mittamuutokset tyytetyksessä muodostuvat. (Erik Saviranta, 2021))

Karl-Erik Thelningin kirjasta ”Steel and it’s heat treatment” löytyy seuraava kaava nitrauksen pituusmuutoksiin:

$$\Delta l = k \times N/K \% \text{ (Kaava 1)}$$

jossa

$\Delta l$  = pituusmuutos (%)

k = vakio

N = tyytetykskerroksen poikkipinta-ala

K = loput poikkipinta-alasta.

Kaava pätee ensisijaisesti, kun  $N/K < 0,7$ .

k:lla on seuraavia arvoja (taulukko 1):

Poikkipinta-ala	Typetysteräs	Nuorrutusteräs
Pyöreä	0,3	0,15
Nelikulmainen	0,4	0,2

Taulukko 1. Vakion k arvot eri teräksille (Erik Saviranta, 2001)

Halkaisijan muutoksia laskiessa hyödynnetään pituusmuutosprosenttia. Kaava ulkohalkaisijan muutokselle on pituusmuutosprosentti x keskihalkaisija + 2 x pintakerroksen paisuminen (kaava2). Sisähalkaisijalle kaava on pituusmuutosprosentti x keskihalkaisija – 2 x pintakerroksen paisuminen (Kaava 3). (Thelning K.E, 2013, 530-531)

## 6 Yhteenveto

Mittamuutoksien hallittavuus nitrauskäsittelyssä on hankalaa, sillä mittamuutoksiin vaikuttaa myös prosessi, joka on tehty ennen nitrausta. Esimerkiksi jännityksenpoistohehkutus on hyvin suuressa roolissa prosessissa ja sen lämpötila tulisi olla 10-20 °C suurempi kuin tyytetyksen lämpötila, jotta vältetään mahdollisilta jännityksien laukeamisilta. Prosessi on tärkeää suorittaa oikeassa järjestyksessä: Karkeatyöstö, jännityksenpoistohehkutus ja lopuksi hienotyöstö. Mittamuutoksiin vaikuttaa myös olakkeen halkaisija, pituus ja seinämävahvuus.

### 6.1 Pohdinta

Opinnäytetyön tavoitteena oli parantaa sorvin karojen mittamuutoksien hallittavuutta lämpökäsittelyssä. Nitraus lämpökäsittelyllä mittamuutokset ovat maltillisia. Sorvin karoissa on erittäin tarkat toleranssit, ja se on huomioitava. Mittamuutoksien hallittavuuteen löytyi muutamia vaihtoehtoja, jotka ovat kokeilemisen arvoisia. K.E Thelningin kaavan avulla pystytään laskemaan karojen pituuden ja halkaisijan muutoksia. Vaikkei kaava olekaan täysin absoluuttinen, antaa se varmasti oikeaa suuntaa ja on siten kokeilemisen arvoinen.

Mittapöytäkirjoja on tehty karoista yli vuoden ajalta. Näitä hyödyntäen voidaan koota Excel-tilukko, johon merkataan jokaisen karan mittamuutokset jokaiselle mitalle ja lasketaan näiden keskiarvo. Tämän avulla on mahdollisuus saada hyvinkin luotettava mittamuutoksen arvo. Excel-tilukosta tulee selvittää karan piirustusnumero, mitan halkaisija sekä sen mittamuutos ja näiden keskiarvo.

Tällä hetkellä piirustuksissa on ilmoitettu valmiin tuotteen mitat. Nitrauksen huomioiminen jää koneistajan vastuulle. Piirustuksessa ainoastaan mainitaan, että nitrauskäsittely on huomioitava mitoissa.

Karojen epäkeskoisuus voi johtua karkeatyöstön jälkeisestä lämpökäsittelystä, jos lämpötila on ollut liian alhainen tai lämpötila uunissa ei ole tasainen. Rauten oma lämpökäsittelyuuni tulisi tarkastaa lämpötilojen ja tasalämpöisyyden osalta.

Tämä opinnäytetyö oli teoreettinen tutkimus, joten näitä menetelmiä ei ole kokeiltu käytännössä. On kuitenkin todennäköistä, että tämän työn pohjalta päästään erilaisia parannusehdotuksia kokeilemaan käytännössä. Sen jälkeen voidaan todeta, että oliko niistä apua.

## 6.2 Kehitysehdotukset

Opinnäytetyön pohjalta ensimmäisenä ehdotuksena olisi tutkia Rauten oman lämpökäsittelyuunin tasalämpöisyys, sekä lämpötilan paikkansa pitävyys. Tämän avulla voitaisiin mahdollisesti sulkea pois karoissa tapahtuva jännityksien laukeaminen nitrauksessa.

Mittapöytäkirjoja kannattaisi hyödyntää niin, että niistä tehtäisiin Excel-taulukko, johon koottaisiin karojen piirustusnumerot, mittojen halkaisijat, mittojen muutokset sekä mittamuutoksien keskiarvot. Tämän avulla tiedettäisiin keskimääräinen mittamuutos mitasta, jolla on sama seinämävahvuus, pituus ja halkaisija. Excelistä olisi tehtävä sellainen, että sitä on helppo hyödyntää jatkossa. Excelin avulla voisi tehdä myös piirustuksiin muutoksia. Piirustukseen kannattaisi merkata mitta, mihin kara pitää koneistaa. Näin ollen koneistajan vastuulle ei jäisi tuon nitrauksen arviointi, vaan Exceliä hyödyntämällä suunnittelussa tehtäisiin piirustusmuutokset.

Excelin teon jälkeen kannattaisi K.E Thelningin kaavan avulla laskea mittamuutoksia, ja verrata niitä mittapöytäkirjoista saatuihin tuloksiin. Tämän avulla voitaisiin jatkossa hyödyntää K.E Thelningin kaavaa, kun tulee uusia erikokoisia karoja valmistukseen. Näillä muutoksilla karojen valmistuksen laatupoikkeamat varmasti vähenisivät huomattavasti.

## Lähteet

Bodycote. 2019. Hiilitypetys. Viitattu 24.08.2021 Saatavissa <https://www.bodycote.com/fi/palvelut/lampokasittely/pintakarkaisu-ilman-sammutuskarkaisua/hiilitypetys/>

Bodycote. 2001. Erik Saviranta. Esite.

Erik Saviranta. 2021. Myyntijohtaja. Bodycote Oy. Haastattelu 03.11.2021

Puuinfo. 2020. Insinööripuutuotteet. Viitattu 11.08.2021. Saatavissa <https://puuinfo.fi/puu-tieto/insinoorituotteet/viilupuu-lvl/>

Raute. 2021. Raute globally. Viitattu 16.08.2021. Saatavissa <https://www.raute.com/company/raute-globally>

Stén & Co Oy Ab. Teräksellä tulokseen. Viitattu 13.09.2021. Saatavissa [https://www.sten.fi/document/1/45/6d4cd48/muuram\\_b97595d\\_lampokasittelyesite.pdf](https://www.sten.fi/document/1/45/6d4cd48/muuram_b97595d_lampokasittelyesite.pdf)

Thelning K.E. 2013. Steel and its heat treatment. Elsevier Science [Viitattu: 22.11.2021]  
Saatavissa: <https://www.perlego.com/book/1885101/steel-and-its-heat-treatment-bofors-handbook-pdf>

Varis. R 2017. Puulevyteollisuus. E-kirja. Viitattu 8.9.2021 Saatavissa <https://www.finna.fi/Record/fikka.4283777>