

Mikko Raudasoja

ESIOIKAISUKONEEN KÄYTÖN OPTIMOINTI LEVYVALSSAAMOLLA

ESIOIKAISUKONEEN KÄYTÖN OPTIMOINTI LEVYVALSSAAMOLLA

Mikko Raudasoja
Opinnäytetyö
Kevät 2014
Kone- ja tuotantotekniikka
Oulun ammattikorkeakoulu

ALKULAUSE

Opinnäytetyö on tehty Rautaruukki Oyj:n Raahan tehtaassa toimeksiannosta keväällä 2014. Työelämäkoordinaattorina toimi Rautaruukki Oyj:n kehitysinsinööri Heikki Karjalainen. Työn valvojana toimi lehtori Matti Broström Oulun ammattikorkeakoulun Raahan tekniikan yksiköstä.

Tahdon kiittää avusta työn suorittamisessa Ruukki Metals Oy:n kehitysinsinööri Heikki Karjalaista, tuotantopäällikkö Pasi Luotoa sekä muuta Ruukki Metals Oy:n henkilöstöä, joiden kanssa olen ollut tekemisissä opinnäytetyöhöni liittyen. Kiitän myös lehtori Matti Broströmiä avustamisesta ja ohjaamisesta opinnäytetyön tekemisessä.

Raahessa 24.2.2014

Mikko Raudasoja

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikka

Tekijä: Mikko Raudasoja

Opinnäytetyön nimi: Esioikaisukoneen käytön optimointi levyvalssaamalla

Työn ohjaajat: Matti Broström, Heikki Karjalainen

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2014

Sivumäärä: 45 + 4 liitettä

Opinnäytetyö on tehty Rautaruukki Oyj:n toimeksiannosta. Työn aiheena on esioikaisukoneen käytön optimointi Ruukki Raahen tehtaassa levyvalssaamalla.

Esioikaisukonetta käytetään ainoastaan nopeutetusti jäähdytetyille levytuotteille. Tarve työn tekemiseen syntyi, kun käytännössä on ilmennyt tarvetta esioikaisukoneen käytölle myös muille tuotteille joko kuumaoikaisukone 1:n varakoneena tai muutoin kuumaoikaisun tukena.

Työssä käydään läpi oikaisun teoriaa, erityisesti rullaoikaisun näkökulmasta. Käytännön tutkimus on toteutettu testaamalla 8 mm, 10 mm ja 12 mm paksuja RAEX400-levyjä erilaisilla esioikaisukoneen oikaisuraon asetusarvoilla. Lisäksi osa levyistä kylmäoikaistiin ennen tasomaisuusmittausta ja tällä saatiin selville lopputuotteen tasomaisuus ilman kuumaoikaisukone 1:tä.

Työn tuloksena saatiin suositukset eri levytuotteiden rakoarvoille esioikaisukoneen käyttöpraktiikkaan. Optimaaliset rakoarvojen todettiin olevan samat kuin nykyisin käytössä olevat arvot. Tulosten perusteella voitiin todeta myös, että esioikaisukone näillä arvoilla on käyttökelpoinen kuumaoikaisukone 1:n varakoneena.

Asiasanat: esioikaisu, rakoarvo, tasomaisuus, rullaoikaisu

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree Programme in Mechanical and Production Engineering

Author: Mikko Raudasoja

Title of thesis: Optimizing the Use of a Pre Leveller in a Hot Plate Mill

Supervisors: Matti Broström, Heikki Karjalainen

Term and year of completion: Spring 2014

Number of pages: 45 + 4 appendices

This Bachelor's thesis was commissioned by Ruukki Metals Ltd Raahe. The main purpose of this thesis was to optimize the use of a pre leveler.

The pre leveler is currently used only on accelerated cooled plate products. The need for this project came out from the notice that it is necessary to use pre leveler also for other products, either instead of the hot plate leveler 1 or otherwise to support the hot plate levelling.

The thesis was based on the theory of levelling, in particular, the roll levelling. The practical research was carried out by testing 8-mm, 10-mm and 12-mm (RAEX400) thick plates with different levelling gap adjustments with the pre leveler. In addition, some of the plates were cold plate levelled before their flatness were measured. This was the way to find out the flatness of the final product without using the hot plate leveler 1.

As a result of this thesis we have recommendations for the leveling gap values of different plate products. The optimal values of the gap were found to be the same as the currently used values. As another result, it was found out that the pre leveler can be used as a substitute for the hot plate leveler 1.

Keywords: pre leveler, gap adjustment, flatness, roll levelling

Sisällys

1 JOHDANTO	6
2 RAUTARUUKKI OYJ JA RAAHEN TEHDAS	7
2.1 Raahen tehtaan levyvalssausprosessi	7
2.2 Levyvalssaamon esioikaisukone SMS Demag	9
2.2.1 Esioikaisukoneen käytöt	11
2.2.2 Esioikaisukoneen oikaisurullat	11
3 RULLAOIKAISUN TARKOITUS	13
3.1 Oikaisun vaikutus ja oikaisulaitteet	13
3.2 Rullaoikaisu	19
3.3 Rullaoikaisukoneen geometrian ja levyn paksuuden vaikutus plastisointiasteeseen	24
3.3.1 Ohjaus	26
3.3.2 Rullasto	27
4 TESTAUSSUUNNITELMA	29
5 TESTAUSTULOKSET	31
5.1 Esioikaisukoneen rakoarvojen suositukset	31
5.2 Esioikaisukoneen käyttö kuumaoikaisukone 1:n varakoneena	40
6 YHTEENVETO JA JATKOKEHITYSMAHDOLLISUUDET	42
LÄHTEET	43
LIITTEET	45

1 JOHDANTO

Rautaruukki Oyj:n Raahen terästehtaan levyvalssauslinjalla valmistetaan sekä suorasammutettuja Raex- ja Ramor-teräksiä että normaaliteräksiä. Levyvalssaamon esioikaisukonetta käytetään tällä hetkellä vain suorasammutettujen teräslaatuojen oikaisuun. Tämän työn tavoitteena on selvittää, voiko esioikaisukonetta käyttää myös muille tuotteille joko kuumaioikaisukone 1:n varakoneena tai muutoin kuumaioikaisun tukena. Työssä haetaan optimaaliset rakoarvot perustuotteille ja käydään läpi myös suorasammutettujen tuotteiden rakoarvot. Työn tuloksena saadaan rakoarvoille suositukset esioikaisukoneen käyttöpraktiikkaan.

Työn alussa käsitellään opinnäytetyön toimeksiantajaa Rautaruukki Oyj:tä ja sen Raahen tehdasta sekä tehtaalla tapahtuvaa kuumalevyvalssausprosessia. Kuumalevyvalssausprosessia, esioikaisukonetta ja oikaisun teoriaa on kuvattu tarkemmin myös seuraavissa luvuissa. Nämä pääluvut muodostavat opinnäytteen teoriaosuuden, johon tukeutuen kokeellinen osuus toteutetaan. Kokeellisen osuuden alussa on esitelty käytössä olevat testimenetelmät. Lopuksi tulokset on koottu taulukoksi ja analysoitu jatkokehitysmahdollisuuksineen.

2 RAUTARUUKKI OYJ JA RAAHEN TEHDAS

Ruukki on kansainvälisesti toimiva erikoisterästuotteiden valmistaja, jonka valikoimiin kuuluvat muun muassa erikoislujat, kulutusta kestävät ja erikoispinnoitetut tuotteet. *Erikoisterästuotteiden* lisäksi Ruukin toimintaa on organisoitu myös kahteen muuhun liiketoiminta-alueeseen: *rakentamisen tuotteet -liiketoiminta-alueeseen ja rakentamisen projektit -liiketoiminta-alueeseen.* (Ruukki Metals 2013b, hakupäivä 12.6.2013.)

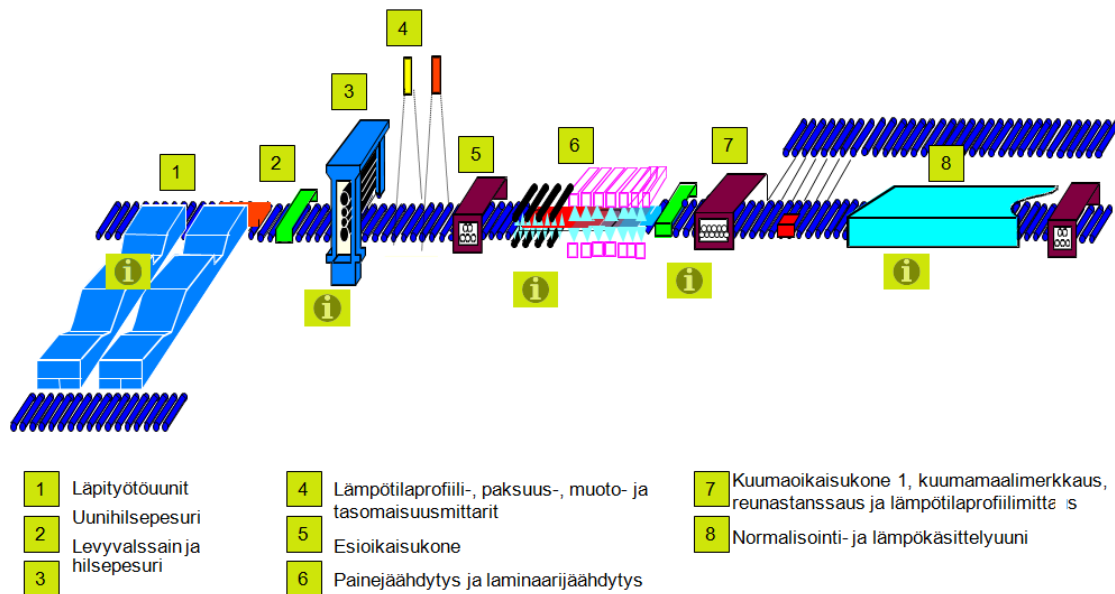
Ruukki Metals valmistaa ja toimittaa terästuotteita asiakkaan haluamalla tavalla tehdas- ja varastotoimituksina, esikäsiteltyinä tai osina. Sen tuotteita ovat muun muassa metalli- ja maalipinnoitetut teräkset, putket, tangot, palkit ja profiilit sekä ruostumattomat teräkset ja alumiini. Ruukki Metals -liiketoiminta-alue tarjoaa myös tuotteisiin liittyviä esikäsitely-, logistiikka- ja varastointipalveluja sekä vastaa yhtiön terästuotannosta ja teräspalvelukeskuksista. Yhtiön suurin tuotantolaitos sijaitsee Raahessa, johon on keskitetty konsernin terästuotanto ja kuumavalssattujen tuotteiden tuotanto. Vuonna 2012 Raahen tehtaalla tuotettiin terästä noin 2,3 miljoonaa tonnia. (Ruukki Metals 2013a, hakupäivä 10.6.2013; Ruukki Metals 2013b, hakupäivä 12.6.2013.)

2.1 Raahen tehtaan levyvalssausprosessi

Rautaruukin Raahen tehtaan kuumavalssaamolla on kaksi valssauslinjaa, levyvalssaamo ja nauhavalssaamo. Levyvalssaamon keskimääräinen raakalevytuotanto on 90 tonnia tunnissa. Keskimääräinen ahiopaino on 5,8 tonnia, ja raakalevyjen paksuus vaihtelee 4,7 millimetristä 150 millimetriin. (Ruukki Metals 2013b, hakupäivä 12.6.2013.)

Kvarttolevyn valmistus alkaa tuotannonsuunnittelusta, jossa asiakastilaukset kytketään asiakaslaadun vaatimukset täyttäviin ahiolaatuihin. Tuotannonsuunnittelija tilaa sulatolta valusarjan, joka täyttää asiakaslaadun vaatimukset. Terässulatolla ahiot valetaan jatkuvavalukoneessa, minkä jälkeen ne siirtyvät jatkokäsittelyyn levyaihiohalliin.

Aihiot leikataan ja kunnostetaan tarvittaessa aiholeikkaushallissa ja panostetaan levyvalssausprosessin (kuva 1) ensimmäiseen pisteeseen läpityöntöuuneihin hehkutettavaksi tuotannosuunnittelun suunnitteleman valssausjakson mukaan. Läpityöntöuunit lämmitetään koksikaasun avulla haluttuun lämpötilaan 1 100 - 1 280 °C, jossa aihioita hehkutetaan 3 - 5 tuntia lopputuotteen laadun mukaan.



KUVA 1. Levyvalssain (Ruukki Metals 2013b, hakupäivä 12.6.2013)

Läpityöntöuunista poiston jälkeen hehkutettu aihio siirretään hilsepesurille, joka poistaa hilseen aihion pinnasta. Hilsepesun jälkeen aihio siirtyy valssattavaksi valssaimelle, jossa siitä muodostuu erilaisia pistosarjoja käyttämällä halutun mittainen levy. Teoreettisesti kuvattuna metallia muokataan korkeassa lämpötilassa plastisesti kuljettamalla teräskappale valssien välistä niin, että sen poikkipinta ohenee ja kappale saadaan muokattua halutun kokoiseksi. (Aarnio 2008, 11.)

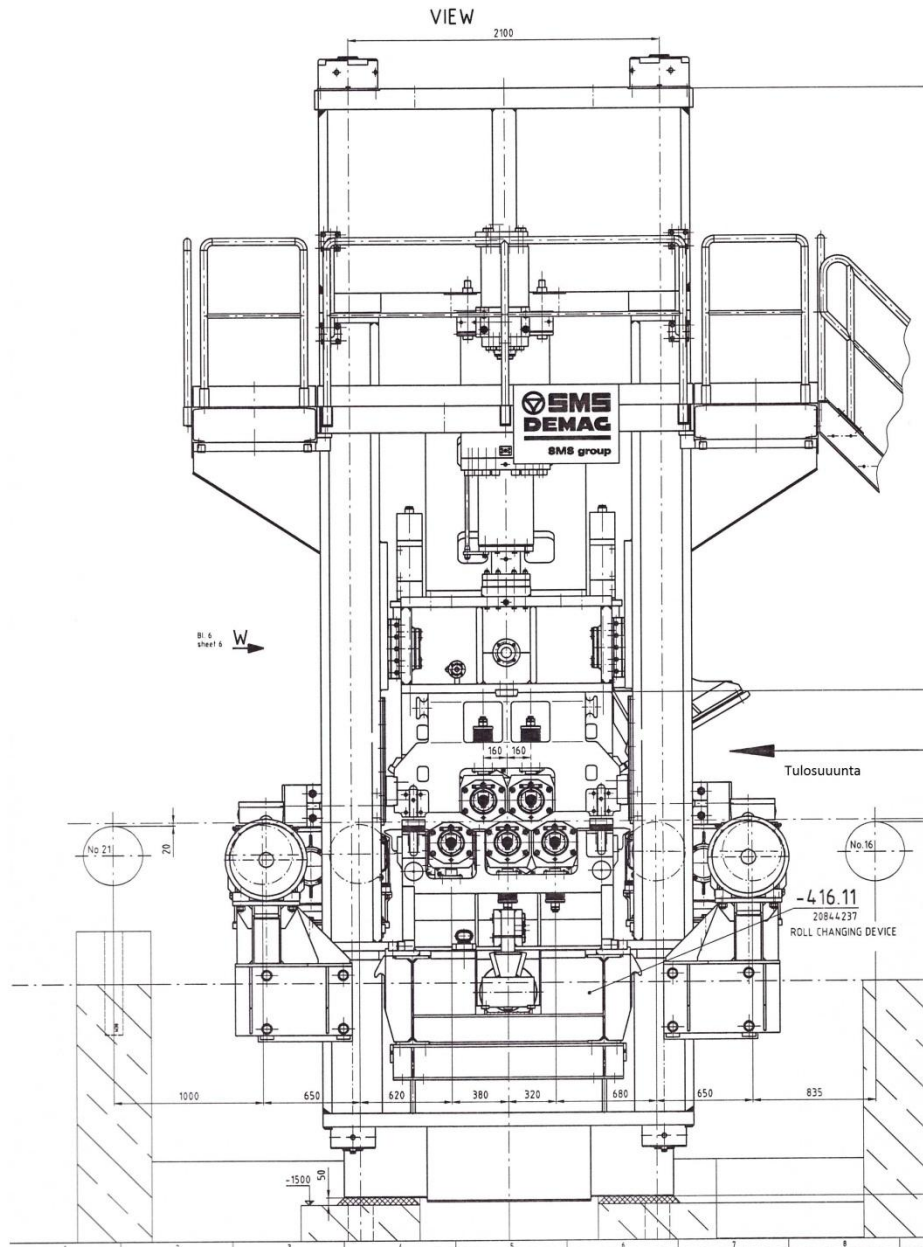
Levyille voidaan suorittaa valssauksen jälkeen erilaisia käsittelyjä lopputuotteen laadun mukaan. Näitä käsittelyjä ovat karkaistujen tuotteiden suorasammutus, normalisoitavien tuotteiden normalisointi ja nuorutusterästen päästö normalisointiuunissa. Levyjen oikaisu tapahtuu heti valssauksen ja suorasammutuksen jälkeen kuumaoikaisukoneella 1. Suorasammutetut ja nopeutetusti jäähdytetyt tuotteet esioikaistaan esioikaisukoneella ennen suorasammutusta ja nopeutettua jäähdytystä. Levyt siirtyvät jäähdytystasolle tarkastettavaksi lämpökäsittelyjen ja kuumaoikaisun jälkeen ja jäähdytystasolta konemerkkaukseen ja edelleen joko mekaaniseen leikkaukseen tai polttoleikkavaksi.

Levyn esioikaisulla valssauksen jälkeen ennen suorasammutusta ja nopeutettua jäähdytystä pyritään poistamaan valssauksessa syntyvät tasomaisuusvirheet poistamalla ja tasaamalla valssauksessa ja sitä edeltäneissä prosesseissa syntyneitä jäännösjännityksiä ja pitkittäissuuntaisia venymiä (Veijola 2012, 19; Tuovinen 1992, 13). Näin vähennetään oikaisun tarvetta loppupäässä prosessia. Kuuma-oikaisukone 1:n ja kylmäoikaisukoneen kuormitus vähenee ja levyissä esiintyy vähemmän tasomaisuusvirheitä. Nopeutetulla jäähdytyksellä saavutetaan tasaisempi karkaiseva vaikutus, kun levy on tasomaisempi esioikaisun avulla jäähdytykseen mennessä.

2.2 Levyvalssaamon esioikaisukone SMS Demag

Kvarttolinjan esioikaisukoneessa on kolme alarullaa, joista yksi on erikseen hydraulikkasynterillä avulla ylös-alassuuntaan säädettävä niin kutsuttu lähtörulla. Ylärullia on kaksi, joita säädetään ylös-alassuunnassa kahden hydraulikkasynterillä avulla. Tällä liikkeellä säädetään haluttu oikaisurako. Jokaiselle rullalle on oma käyttönsä hammasratasvaihteistosta johdetuilla kardaneilla, joita pyöritetään alennusvaihteiston kautta. Päämoottorina käytetään 650 kW vaihtovirtamoottoria. Alarullille on yhteensä viisitoista tukirullaa ja ylärullille yhteensä kaksitoista. Tukirullien halkaisija on 300 mm, ja oikaisurullien halkaisija on 285 mm sekä pituus 3 800 mm. Laitteistossa käytetään öljy-ilmavoitelua. Koneen maksimioikaisuvoima on 12 000 kN ja oikaisunopeus on säädettävissä 0 - 2 m/s. Oikaisurullien keskiöiden välinen etäisyys on 320 millimetriä. Poikkeuksena on säädettävä lähtörulla, jonka keskiön etäisyys edellisen rullan keskiöstä on 380 millimetriä. (SMS Demag 2007, 6.)

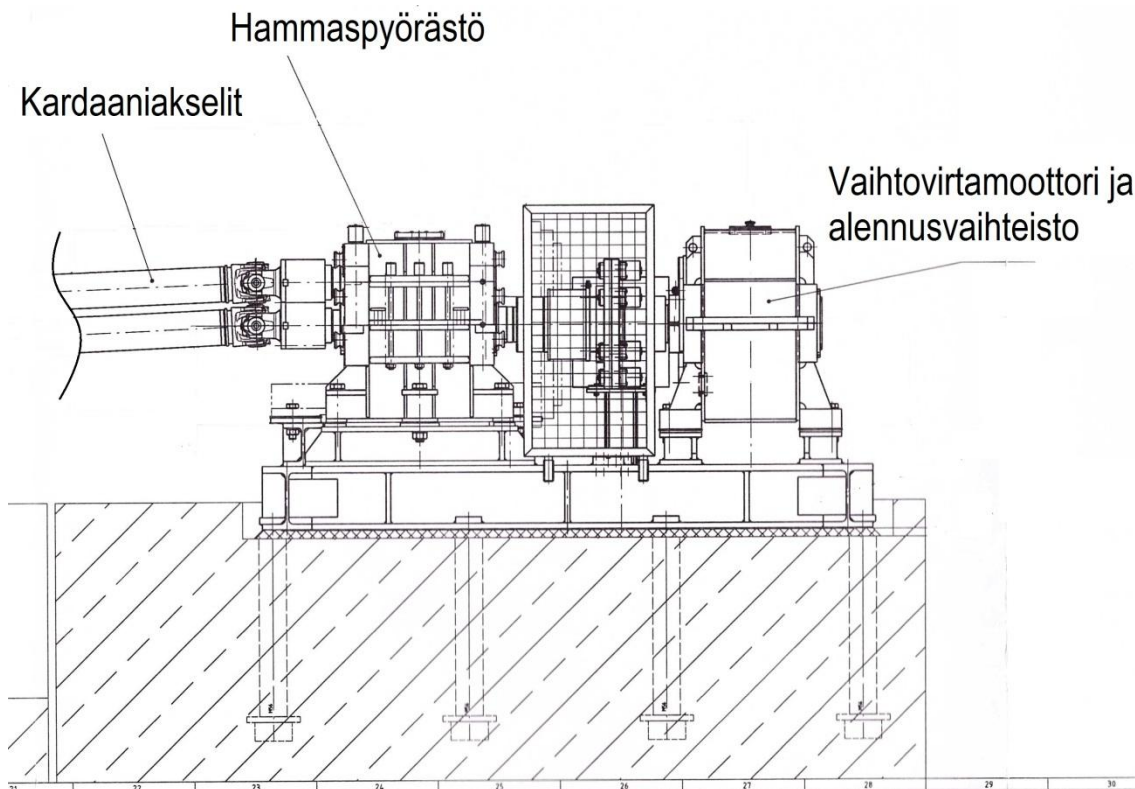
Laitteen ylätukirunko ja jokainen oikaisurulla on jäähdytetty sisäisesti jäähdytysvesikierrolla, joka vähentää lämpölaajenemisen vaikutusta koneen asetusarvoihin, kuten oikaisurakoon. Kuvasta 2 käy ilmi esioikaisukoneen perusrakenne. (SMS Demag 2007, 6.)



KUVA 2. Esioikaisukone yleiskuva (SMS Demag 2007)

2.2.1 Esioikaisukoneen käytöt

Esioikaisukoneen lähtö- ja oikaisurullat saavat käyttövoimansa sähkömoottorilta, joka pyörittää alennusvaihteistoa. Alennusvaihteisto pyörittää hammaspyörästä, josta johdetaan käyttövoima kardaniakseleille. Kardaaneiden molemmissa päissä on ristikkonivel, jonka tehtävä on toimia turvakytkimenä estäen väärien asetusarvojen aiheuttama ylikuormitus. Kuvassa 3 on käyttölaitteen mallipiirros. (SMS Demag 2007, 8.)

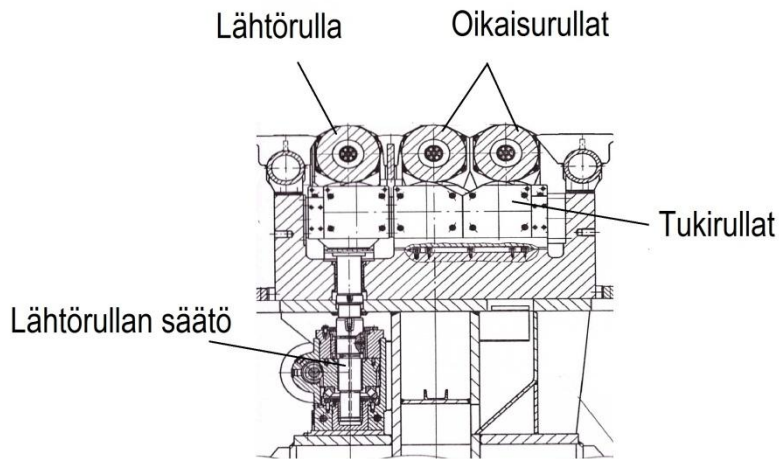


KUVA 3. Esioikaisukoneen käyttölaitteen mallipiirros (SMS Demag 2007)

2.2.2 Esioikaisukoneen oikaisurullat

Yläoikaisurullia on kaksi, joille molemmille on kuusi tukirullaa. Yläoikaisurullat ja niiden tukirullat on asennettu erilliseen ylempään laakerirunkoon. Oikaisurullien jäähdytys toimii sisäisellä jäähdytysvesikierrolla. Ylärullaston säätö tapahtuu hydraulisesti poikkipalkkien alle sijoitetuilla säätösyntereillä (kuva 2). Oikaisurako säätyy oikeaan arvoon, kun levy on ohittanut koneen etupuolella sijaitsevan valokennon. (SMS Demag 2007, 8.)

Alaoikaisurullia on kolme, kahdelle ensimmäiselle alarullalle on kuusi tukirullaa ja lähtörullalle kolme. Lähtörullan tasoa voidaan säätää kierukkavaihteen avulla erikseen muihin oikaisurullaston rulliin nähden. Kuvassa 4 on havainnollistettu lähtörullan säätömekanismia. Oikaisu- ja tukirullat on laakeroitu kahdesta pisteestä rullalaakereilla. (SMS Demag 2007, 8.)



KUVA 4. Esioikaisukoneen lähtörullan säädön mallipiirros (SMS Demag, 2007)

Esioikaisukone ei mahdollista rullaston säätöä kiila-asetukseen eikä oikaisurullien taivutusta, millä kompensoidaan oikaisuvoimien aiheuttamaa oikaisurullien taipumaa. Tämä heikentää levyn oikaisussa saavutettavaa tasomaisuustulosta. (SMS Demag 2007, 8.)

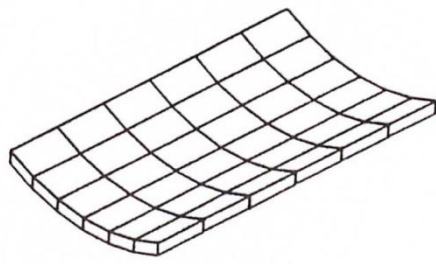
3 RULLAOIKAISUN TARKOITUS

Levy- ja teräsrakennetöiden yksi oleellisimmista osa-alueista on niiden oikaisu. Oikaisulla viitataan melko laajaan käsitteeseen terästeollisuudessa. Sitä on selkeytetty muun muassa oikaisumenetelmien erilaisilla jaotteluilla oikaistavien terästen lämpötilojen mukaan kylmä- ja kuumaoikaisuun. (Katainen & Mäkinen 1997, 120.) Erilaisia oikaisumenetelmiä varten on kehitelty useita laitteita ja koneita. Tämän työ keskittyy oikaisuun kuumavalssauksessa, jossa teräsaihiot muokataan litteiksi tuotteiksi heti valssauksen jälkeen ennen niiden jäähtymistä.

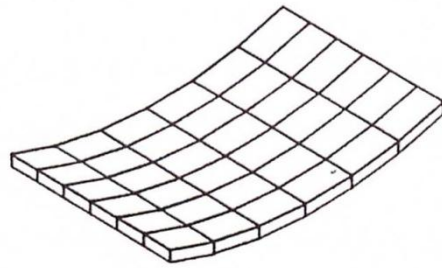
Oikaisulaitteiden käytännön ominaisuudet kiteytyvät tavallisesti siihen, että niiden toimittajat antavat vain karkeita asetusarvoja, joiden avulla ei aina saada hyväksyttävää oikaisutulosta (Tekninen tiedotus 3/80 1980, 15). Yleisesti käytössä on myös niin kutsuttu yrityksen ja erehdyksen menetelmä, jossa oikeanlaista tuotosta haetaan kokeilemalla. Kokeilun suuntaviivoina toimivat muun muassa oikaisun geometria ja useat analyyttiset yhteydet asetusten ja oikaisuvaatimusten välille (Tuovinen 1992, 13). Teoreettisesti ajateltuna oikaisukoneiden asetusarvoja suhteessa itse oikaisu tapahtumaan voidaan tarkastella laskennallisesti geometrisen yhteyden kautta. Tätä kutsutaan yksinkertaistetuksi oikaisuteoriaksi. Oikaisun geometrinen teoria on usein käytetty lähestymistapa aihealueen kirjallisuudessa ja opinnäytteissä.

3.1 Oikaisun vaikutus ja oikaisulaitteet

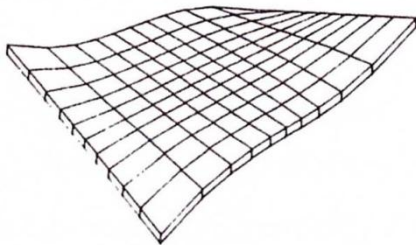
Oikaisun tarkoitus kuumamuokatussa teräslevyssä on poistaa ja tasata valssauksessa ja sitä edeltäneissä prosesseissa syntyneitä jäännösjännityksiä ja pitkittäissuuntaisia venymiä (Veijola 2012, 19; Tuovinen 1992, 13). Tavoitteena on siis saada aikaan tasomainen ja jäännösjännitteetön teräslevy. Kuvassa 5 näkyvät yleisimmät kuumavalssattujen levyjen muotovirheet valssauksen jälkeen.



a



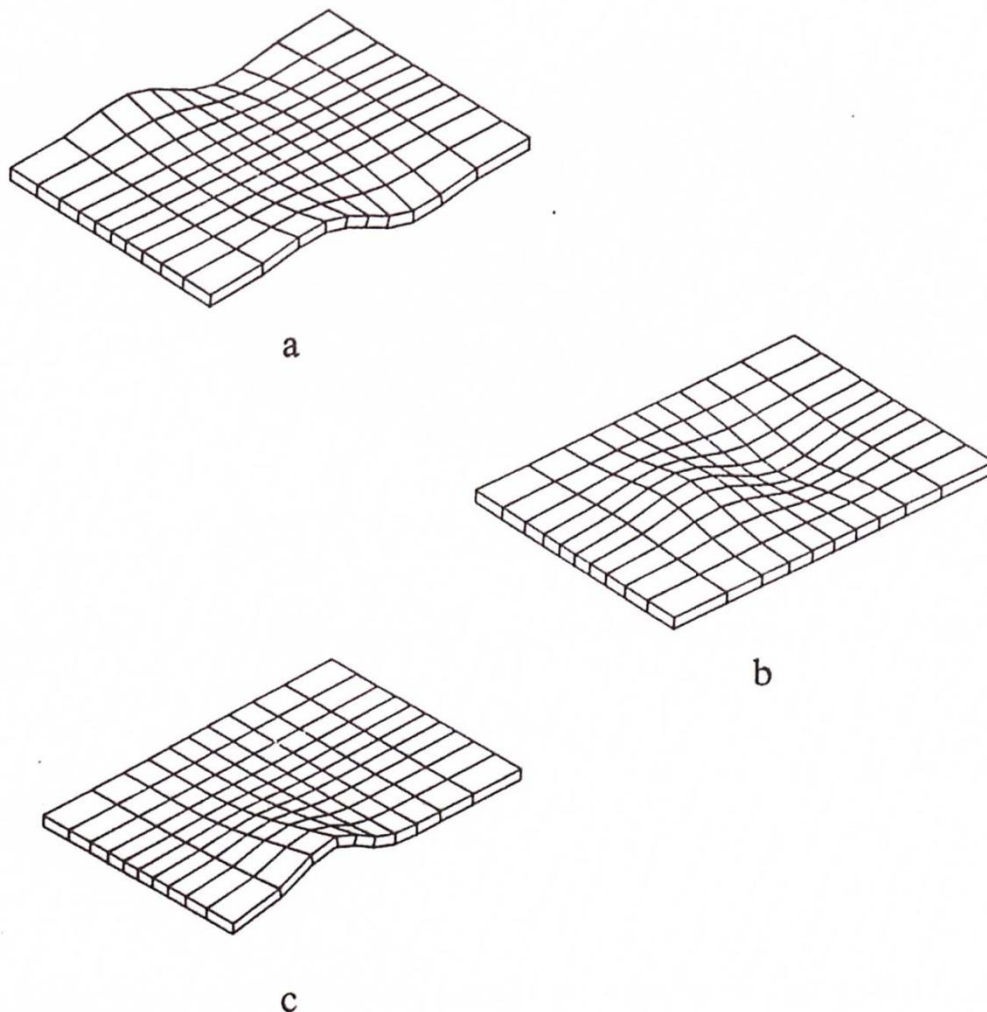
b



c

KUVA 5. Levyjen eri akseleiden suuntaisia venymiä ja taipumia: a) poikittaistaipuma, b) pitkittäistaipuma, c) vääntyminen (Vanttaja 1990, 10)

Kuvassa 6 on sisäisten puristusjännitysten aiheuttamia venymiä. Levyn ylä- ja alapinnat ovat eripituiset levyn reunasta tai keskeltä. Myös paikallisia pituuseroja ala- ja yläpinnassa voi esiintyä.

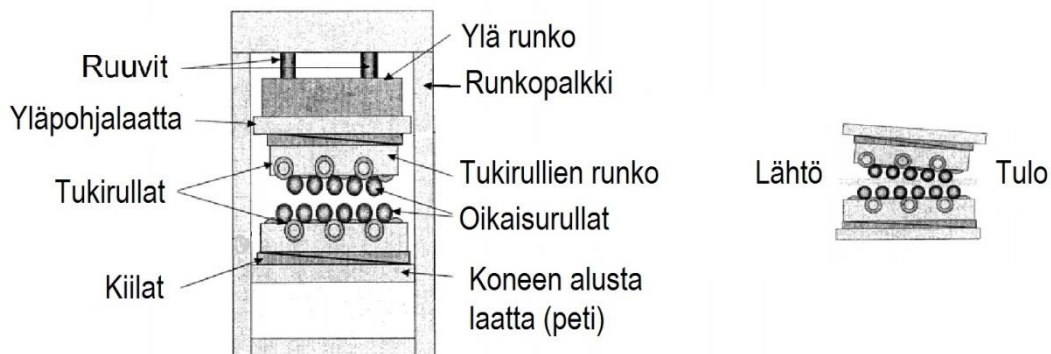


KUVA 6. Sisäisten puristusjännitysten aiheuttamia venymiä: a) reunavenymä (reunalöysä), b) keskivenymä (keskipussi), c) paikallinen venymä (Vanttaja 1990, 11)

Levy- ja nauhalinjoilla oikaisulaitteet ovat pääasiallisesti rulla- tai venytystaivutus-oikaisulaitteita. Molemmilla oikaisumenetelmillä on parhaiten soveltuvat käyttökohteensa ja puutteensa. Rullaoikaisun etuina pidetään tavallisesti sen hyvää soveltuvuutta laajaan teräksien paksuuskaalaan sekä kuuma- että kylmäoikaisussa, mutta erityisen käyttökelpoisena sitä pidetään paksujen teräksien oikaisussa. Tavallista on, että rullaoikaisun avulla hyvän tasomaisuuden saavuttaminen vaatii levyille enemmän kuin yhden läpiajokerran oikaisulaitteessa, ja siksi tämä on johtanut usean samanlaisen rullaoikaisukoneen olemassaoloon samalla tuotantolinjalla. (Tuovinen 1992, 13 - 14.) Esimerkiksi levyvalssaamalla terästen oikaisuun

käytetään muun muassa esioikaisukonetta ja kuumaoikaisukonetta 1. Rullaoikaisun heikkoutena voidaan pitää nykyisin hyvin ohuiden terästuotteiden vaikeasti saavutettavaa tasomaisuutta (Tekninen tiedotus 3/80 1980, 13).

Oikaisulaitteet voidaan jakaa kahteen pääryhmään: karkeat oikaisulaitteet ja hieno-oikaisulaitteet, sen mukaan, kuinka hyvään oikaisutulokseen halutaan päästä. Toinen tapa jaotella oikaisukoneet on, onko laitteella oma käyttökoneisto vai ei. Hieno-oikaisulaitteessa rullia on yleensä 17 - 21 ja niiden halkaisija on tavallisesti 10 - 50 millimetriä. Karkeaoikaisulaitteessa rullia on yleensä 5 - 9 ja niiden halkaisija 30 - 80 millimetriä. Kuvassa 7 on havainnollistettu perinteisen rullaoikaisukoneen perusrakenne. (Tekninen tiedotus 3/80 1980, 13.)



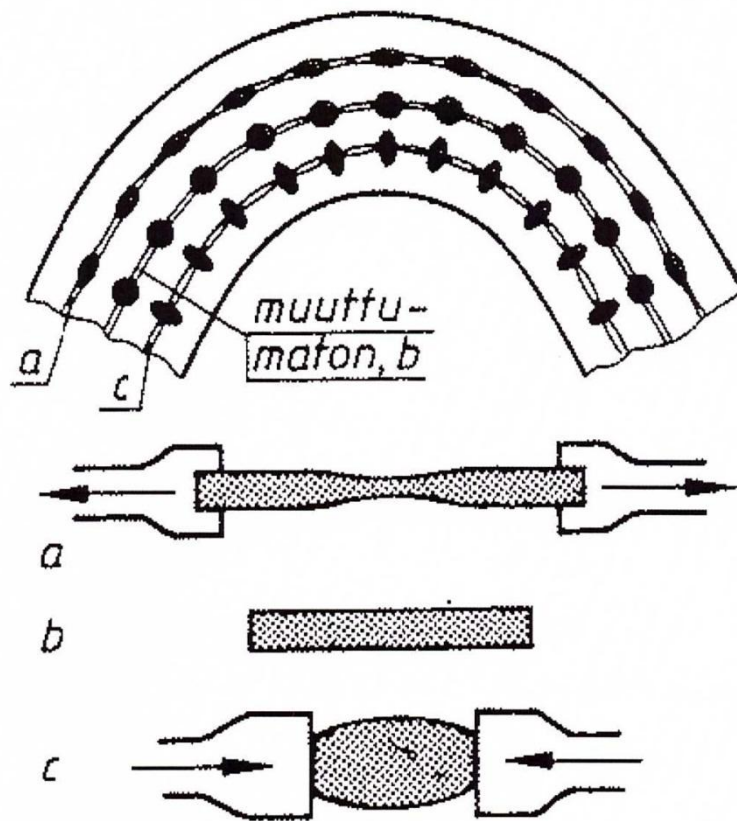
KUVA 7. Rullaoikaisukoneen rakenne (Beveridge 2002, 101)

Venytyks-taivutus-oikaisulaitteita puolestaan käytetään nykyisin lähinnä kuumien ohutlevyjen oikaisussa, mutta niitä voidaan ilman vetojännitystä käyttää rullaoikaisun tavoin myös paksujen terästen oikaisuun (Tuovinen 1992, 13 – 14; 19.). Venytyks-taivutus-oikaisulaitteita käytetään sekä nauha- että levytuotteiden oikaisussa, tosin toisistaan poikkeavilla malleilla. Levytuotteiden oikaisuun soveltuva laitteisto muodostuu kahdesta peräkkäisestä rullien käytöllä varustetusta oikaisulaitteesta: *pienirullainen oikaisulaite B* voimakasta plastisointia varten ja *suurirullainen viimeistelyoikaisulaite A* tasoitusta varten, joiden välillä tuotteeseen muodostetaan voimakas vetojännitystilä. Poikkeuksena ovat paksut teräslevyt, joiden oikaisussa molemmat rullastot ovat käytössä, jolloin vetojännitystä ei ilmene. Ohuiden terästen oikaisussa puolestaan vain rullasto A on varustettu käytöllä, jolloin oikaisulaitteen B rullien jarrutusmekanismi aikaansaa vetojännityksen. Huomioitavaa siis on, että myös venytyks-taivutus-oikaisulaitteet sisältävät aina

yhden tai useamman rullaoikaisulaitteen ja siksi osaa niistä voidaan käyttää myös paksumpien levyjen oikaisuun tavallisen rullaoikaisulaitteen tavoin. (Tuovinen 1992, 20.)

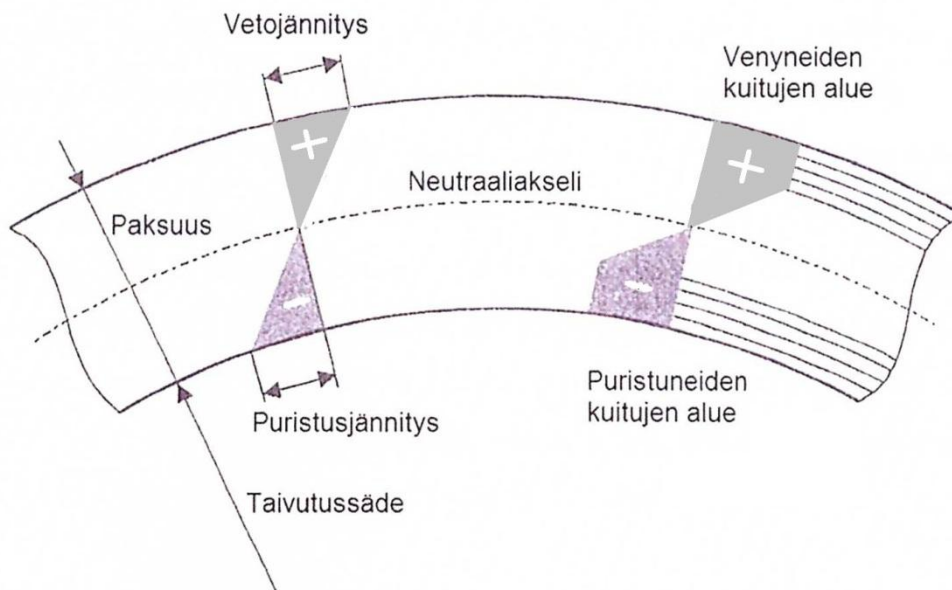
Esiioikaisukoneissa on yleisesti vähemmän oikaisurullia kuin varsinaisessa oikaisukoneessa eivätkä niiden tukirullat ole säädettävissä erikseen, mikä mahdollistaisi oikaisurullien taivutuksen säädön. Oikaisukoneen rakenteita on olemassa hyvin monenlaisia. Yksinkertaisimmat rullaoikaisulaitteet on toteutettu viidellä oikaisurullalla, joista kolme alinta rullaa on kiinteitä ja kaksi ylärullaa on säädettävissä. Monipuolisemmissa esiioikaisukoneissa on yleensä enemmän oikaisurullia ja itsenäisesti ohjattavat tulo- ja lähtörullat. Ylärullat ovat ohjattavissa joko erikseen tai ne voivat olla kiinteitä, tukirullilla tai ilman. Tavallisin esiioikaisukoneen tyyppi on seitsemänrullainen, jossa ei ole kiila-asetuksen säätöä, neljä ala- ja kolme ylärullaa, joille on osittaiset tukirullat. Tukirullat vähentävät oikaisurullien taipumista, mutta niitä ei voida käyttää oikaisurullien taivuttamiseen. Esiioikaisukoneella oikaistaessa ei saavuteta yhtä hyvää tasomaisuutta kuin varsinaisella rullaoikaisukoneella, mutta esiioikaisussa saavutettava tasomaisuus mahdollistaa erilaiset leikkaukset, hitsauksen ja helpottaa myöhemässä vaiheessa tapahtuvia oikaisuja sekä auttaa karkaisussa tasaisemman karkaisutuloksen saamiseksi. (Beveridge 2002, 18.)

Rullaoikaisussa levyä taivutetaan edestakaisin, mikä aiheuttaa levyn sisällä kulkevan neutraaliakselin toisen puolen venymisen ja toisen puolen tyssääntymisen (kuva 8). Tähän perustuu levyn rullaoikaisun oikaisuvaikutus. Kappaletta oikaistaessa saadaan aikaan pysyvä muodonmuutos, kun ulkoinen voima on niin suuri, että materiaalin myötöraja ylittyy. (Katainen & Mäkinen 1997, 61.)



KUVA 8. Taivutuksessa esiintyvä a) venymä, b) neutraalitaso ja c) tyssäntyminen (Katainen & Mäkinen 1997, 61)

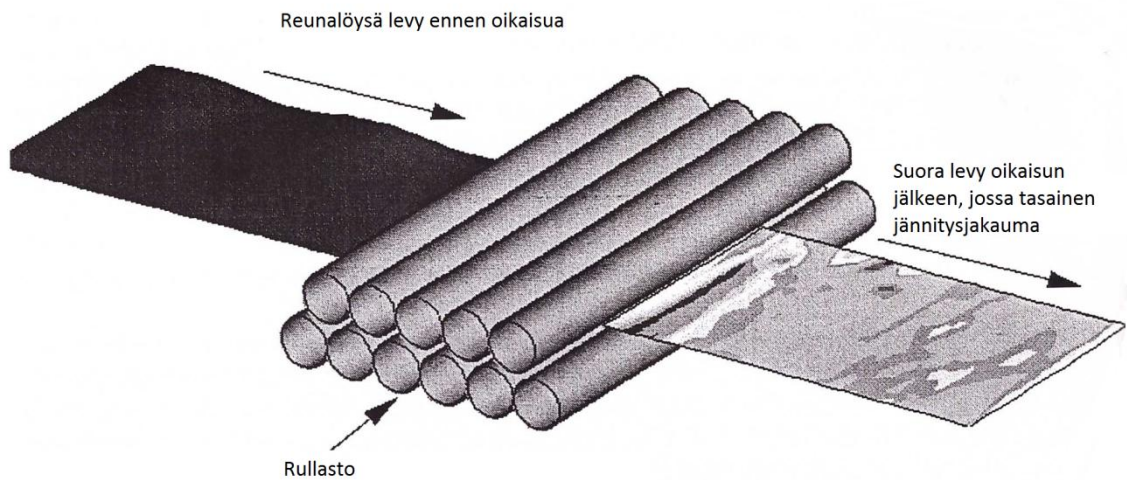
Jännitys jakaantuu taivutuksessa neutraaliakselin molemmin puolin tasaisesti, mutta voimat ovat vastakkaiset toisiinsa nähden. Jäännösjännitysten poistamiseksi levyä taivutetaan oikaisussa niin paljon, että taivutuksen aiheuttama jännitys ylittää materiaalin myötörajan. Plastisoitumisaste kuvaa sitä, kuinka suuri prosentuaalinen osuus levyn paksuussuunnasta on ylittänyt myötörajan. Esimerkiksi kun plastisoitumisaste on 84 prosenttia, on levyn neutraaliakselin molemmilta puolilta 42 prosenttia materiaalista plastisoitunut eli ylittänyt myötörajan. Materiaalista jäljelle jäävät 16 prosenttia sijaitsevat lähinnä neutraaliakselia eivätkä ole ylittäneet myötörajaa. Tätä kutsutaan elastiseksi muodonmuutokseksi, jossa materiaali palaa alkuperäiseen muotoonsa oikaisun jälkeen. Jäännösjännitysten aiheuttamat muotovirheet levyssä ovat pienimmillään silloin, kun mahdollisimman suuri osa materiaalista on plastisoitunut eli plastisoitumisasteen kasvaessa jäännösjännitykset vähenevät. (Roberts 1978, 709; Räsänen 2008, 17.) Kuvassa 9 havainnollistetaan taivutuksen aikaansaamat erisuuntaiset jännitykset neutraaliakselin molemmin puolin.



KUVA 9. Paksuussuuntainen jännitysjaakauma taivutuksessa (Beveridge 2002, 128)

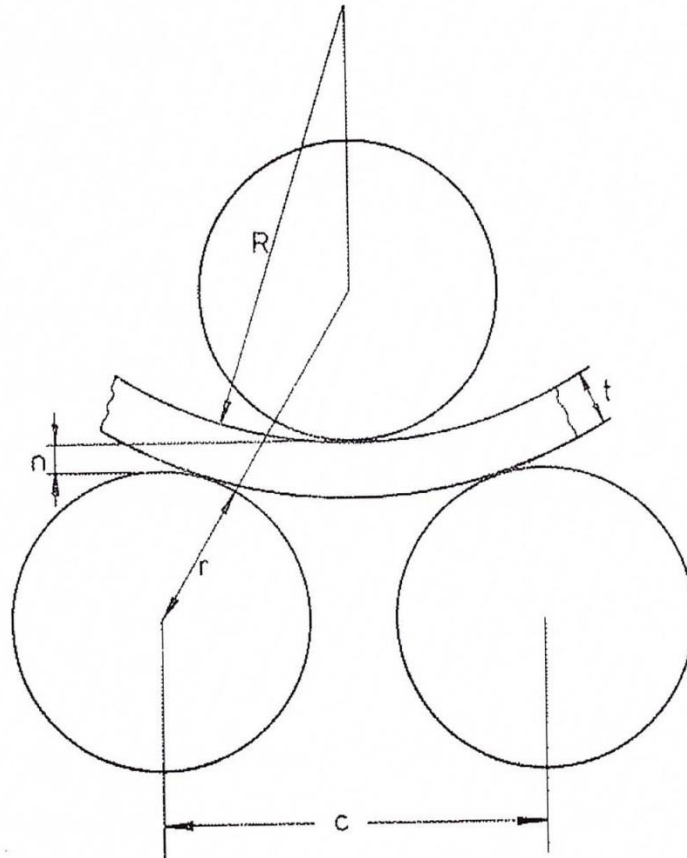
3.2 Rullaoikaisu

Rullaoikaisussa tärkein vaikuttava tekijä tasomaisuuden ja pienentyneiden jännitysten saavuttamiseksi on tarpeeksi suuren plastisointiasteen saavuttaminen. Plastisointiastetta kasvatetaan pienentämällä oikaisukoneen ylä- ja alarullien välimatkaa eli rakoarvoa. Plastisointiastetta lisättäessä on otettava huomioon oikaisukoneen rajoitukset rakenteiden rasituksen ja esimerkiksi säätömahdollisuuksien suhteen. Joissakin oikaisukoneissa tukirullilla voidaan säätää oikaisurullien taipumista. Tämä on merkittävä ominaisuus muotovirheitä poistettaessa esimerkiksi silloin, kun oikaistava materiaali on venynyt epätasaisesti pitkittäin. Kuvassa 10 on havainnollistettu rullaoikaisun vaikutusta. (Veijola 2012, 23.)



KUVA 10. Yksinkertaistettu malli rullaoikaisusta (Beveridge 1999, 101)

Rullaoikaisukoneen oikaisuraon asetusarvo ensimmäiselle ylärullalle pystytään määrittämään yksinkertaistetun oikaisuteorian geometristen suureiden avulla. Tällä asetusarvolla saavutetaan riittävä muodonmuutos oikaisukoneen ensimmäisen ylärullan ja kahden ensimmäisen alarullan välissä. Yksinkertaistettu oikaisuteoria perustuu siihen, että tietyn paksuinen levy taipuu lieriömäiseksi kolmen ensimmäisen rullan välissä. Kuvasta 11 käy ilmi, miten levyn ajatellaan taipuvan yksinkertaistetun oikaisugeometrian mukaan. (Tekninen tiedotus 3/80 1980, 15.)



KUVA 11. Yksinkertaistetun oikaisuteorian geometria (Tekninen tiedotus 3/80 1980, 16)

Kuvan 11 osoittamista geometrian suureista voidaan johtaa yhtälö Pythagoraan avulla

$$n^2 + 2Rn + 2rn = t^2 + 2Rt + 2rt - \frac{c^2}{4}, \quad (1)$$

missä

n on rakoarvo,

c on oikaisukoneenrullien keskiöiden välinen etäisyys,

t on levyn paksuus,

r on oikaisukoneenrullien säde ja

R on levyn taipumissäde.

Edellä kuvatusta yhtälöstä (1) saadaan ratkaistua muut muuttujat. Esimerkiksi rakoarvo n saa ratkaisun

$$n = -(R + r) + \sqrt{(R + r + t)^2 - \frac{c^2}{4}}. \quad (2)$$

Levyn pintakerroksen muodonmuutos saadaan laskettua levyn paksuuden ja levyn taipumissäteen avulla

$$\varepsilon_y = \frac{t}{2R}, \quad (3)$$

missä

t on levyn paksuus ja

ε_y on pintavenymä.

Alkavan plastisoitumisen aikaansaama venymä saadaan laskettua kaavasta

$$\varepsilon_S = \frac{\sigma_S}{E}, \quad (4)$$

missä

σ_S on alkavaa plastisoitumista vastaava myötöraja,

ε_S alkavaa plastisoitumista vastaava venymä ja

E kimmokerroin.

Levyn plastisoitumisaste eli se, kuinka paksulta alueelta levy on muuttanut muotoaan plastisesti paksuussuunnassa, saadaan laskettua alkavan plastisoitumisasteen muodonmuutoksen (yhtälö (4)) ja levyn pintakerroksen muodonmuutoksen (yhtälö (3)) lukuja vertaamalla (kuva 12).

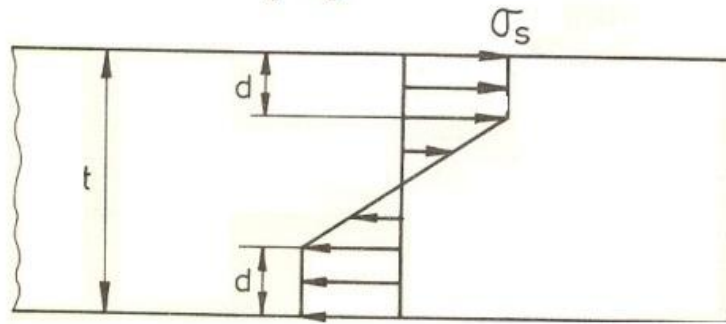
Muodostetaan seuraava yhtälö, josta saadaan laskettua plastisoitumisaste

$$D = 1 - \frac{\sigma_S}{E}, \quad (5)$$

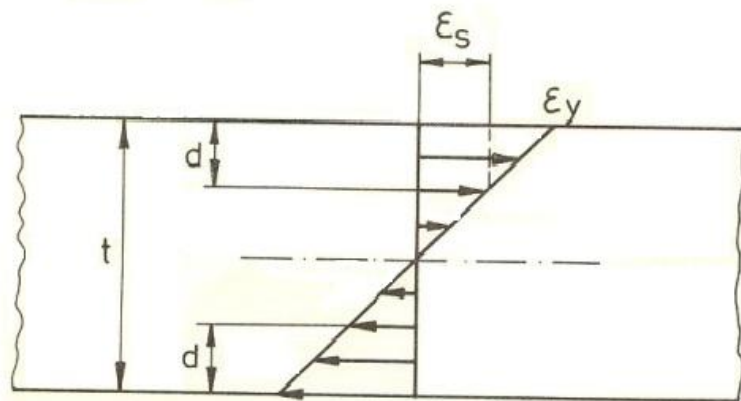
missä

D on plastisoitumisaste.

Jännitysjakautuma



Taipumajakautuma



KUVA 12. Jännitys- ja venymissuhteet osittain plastisoituneessa levyssä (Tekninen tiedotus 3/80 1980, 17)

Kun yhtälö (5) ja yhtälö (3) sijoitetaan yhtälöön (1), muodostuu yhtälö, josta voidaan laskea kaikki viisi muuttujaa. Laskennan helpottamiseksi levyn kaarevuussäde R saadaan poistettua muuttujien joukosta yhdistämällä plastisoitumisasteen ja pintavenymän yhtälöt. Muuttujat voidaan laskea seuraavista yhtälöistä:

levyn taipumissäde R

$$R = \frac{t^2 - n^2 - \frac{c^2}{4} + 2r(t-n)}{2(n-t)}, \quad (6)$$

oikaisuraon asetus n

$$n = - \left[\frac{t(1-D)}{2\varepsilon_S} + r \right] + \sqrt{\left[\frac{t(1-D)}{2\varepsilon_S} + r \right]^2 - \frac{c^2}{4}}, \quad (7)$$

plastisoitumisvyvyys D

$$D = 1 - \frac{\varepsilon_S}{t} \left(\frac{t^2 - n^2 - \frac{c^2}{4} + 2r(t-n)}{n-t} \right), \quad (8)$$

levynpaksuus t

$$t = - \left(\frac{2r\varepsilon_S - n(1-D)}{2(\varepsilon_S + 1-D)} \right) + \sqrt{- \left(\frac{2r\varepsilon_S - n(1-D)}{2(\varepsilon_S + 1-D)} \right)^2 + \frac{\varepsilon_S}{\varepsilon_S + 1-D} \left(\frac{c^2}{4} + n^2 + 2nr \right)} \quad \text{ja} \quad (9)$$

oikaisurullien keskiöetäisyys c

$$c = \sqrt{t^2 \left(1 + \frac{1-D}{\varepsilon_S} \right) + 2rt - 2rn - nt \left(\frac{1-D}{\varepsilon_S} \right)}. \quad (10)$$

(Tekninen tiedotus 3/80 1980, 15 - 17.)

3.3 Rullaoikaisukoneen geometrian ja levyn paksuuden vaikutus plastisointiasteeseen

Yksinkertaistetun oikaisuteorian perusteella saadaan laskettua levyn paksuuden, rullan halkaisijan ja keskiöetäisyyden vaikutus levyn taipumasäteeseen, joka vaikuttaa saavutettavaan plastisoitumisasteeseen. Rullan halkaisijalla on ratkaiseva vaikutus oikaisulaitteen kykyyn aiheuttaa tarpeeksi suuri muodonmuutos levyyn: mitä pienempi halkaisija, sitä suurempi muodonmuutos. Tämä teoria pitää paikkansa vain, jos levy kohtaa rullan tietyssä kulmassa. Levyn ja rullan kohtaamiskulma on käytännössä lähes aina kuitenkin suurempi kuin rullan säde. (Tekninen tiedotus 3/80 1980, 18 - 19.)

Lähteen Tekninen tiedotus 3/80 1980, 19 esimerkissä, jossa levyn paksuus on 1 mm, venymä myötörajalta 0,1 % ja myötöraja 200 MPa, antaa 100 mm halkaisijaltaan oleva oikaisurulla levyn taipuessa rullan mukaisesti 50 mm taipumasäteen levyille, josta aiheutuu 1 % pintavenymä. 1 % pintavenymä on yli kymmenkertainen verrattuna levyn myötörajan venymään, mikä on erittäin epätodennäköisesti saavutettavissa.

Lähteen Tekninen tiedotus 3/80 1980, 19 toisessa esimerkissä on laskennallisesti esitetty, että levyn taipumasäde riippuu enemmän keskiöetäisyydestä kuin rullan halkaisijasta. Esimerkissä plastisoitumisaste pidetään vakiona ja todetaan, että oikaisurion asetusarvo muuttuu yhtä paljon muutettaessa 1 mm keskiöetäisyyttä kuin muutettaessa 18 mm rullan halkaisijaa. Tästä voidaan päätellä, että rullien keskiöetäisyyden säädöllä saavutetaan levyn pienempi kaarevuussäde helpommin kuin rullan halkaisijaa pienentämällä. Paksummalla oikaisurullalla on kuitenkin saavutettavissa myös hyötyjä, kuten rulliin kohdistuvan kosketuspaineen pieneneminen ja rullien taipumisen väheneminen verrattuna halkaisijaltaan pienempiin rulliin. Rullan halkaisijan kasvattamista rajoittaa keskiöetäisyyden minimiarvo, joka on rullan halkaisija. Liian suurella rullan halkaisijalla ei saavuteta riittävän pientä taipumasädettä ohuilla levyillä. Oikaisukoneen rullien sopiva halkaisija voidaan valita edellä mainitut seikat huomioon ottaen.

Liian pienellä oikaisurullien keskiöetäisyydellä plastisoitumisaste voi jäädä liian pieneksi tai sitä ei tapahdu ollenkaan joissakin kohdissa levyä levyn paksuusvaihteluiden vuoksi. Lähteen Tekninen tiedotus 3/80 1980, 19 kolmannessa esimerkissä on laskettu yksinkertaistetun oikaisuteorian avulla, että oikaisurullien keskiöetäisyydeksi tulee valita vähintään 20 kertaa oikaistavan levyn paksuus. Esimerkissä keskiöetäisyys on 11 mm, rullan halkaisija 10 mm ja levyn paksuus 1,5 mm ja rakoarvolla 1,42 mm savutetaan 64 % plastisoitumisaste. Levyn paksuuden vaihdellessa 5 % levyn paksuuden alaraja on 1,425, jolloin ohuimmat kohdat levystä eivät plastisoidu eli tapahtuu ainoastaan elastinen muodonmuutos. Tästä voidaan päätellä, että levyn paksuuden ollessa liian suuri suhteessa rullien keskiöetäisyyteen voi levyn plastisoitumisaste vaihdella suuresti levyn paksuusvaihteluiden seurauksena.

Kasvattamalla oikaisurullien keskiöetäisyyttä saadaan vähennettyä paksuusvaihteluiden aiheuttamaa plastisointiasteen muutosta. Liian suuri keskiöetäisyyden kasvattaminen saattaa aiheuttaa sen, ettei kitka levyn ja oikaisurullien välillä ole riittävä, jos pelkästään oikaisurullat huolehtivat levyn kuljettamisesta koneen läpi. Rullien ja levyn välinen kitkan aiheuttama voima on oltava vähintään yhtä suuri kuin voima, joka tarvitaan kuljettamaan levy oikaisukoneen läpi. Levyä

kuljettavan voiman on oltava yhtä suuri kuin se voima, joka tarvitaan oikaisukoneen kitkahäviöiden voittamiseksi ja pysyvän muodonmuutoksen aikaansaamiseksi. Kuljetuksen vaatima voima koostuu rullien ja levyn välisen kitkakertoimen lisäksi niiden välisestä normaalivoimasta. Kun keskiöetäisyyttä lisätään, normaalivoima pienenee. Levyn taivuttamiseen tarvittava voima pienenee keskiöetäisyyden kasvun ansiosta. (Tekninen tiedotus 3/80 1980, 19 - 20.)

Oikaisurullien keskiöetäisyyden c suurin arvo saadaan laskettua lähteen Tekninen tiedotus 3/80 1980, 20 mukaan kaavoista (11) ja (12), kun tunnetaan plastisoitumisaste, kitkakerroin ja kaarevuussäde

$$c < 8\mu R, \quad (11)$$

$$c < 8\mu \left(1 + \frac{1-D}{\varepsilon_S}\right), \quad (12)$$

missä

μ on kitkakerroin,

D plastisoitumisaste,

c keskiöetäisyys ,

ε_S alkavaa plastisoitumista vastaava venymä ja

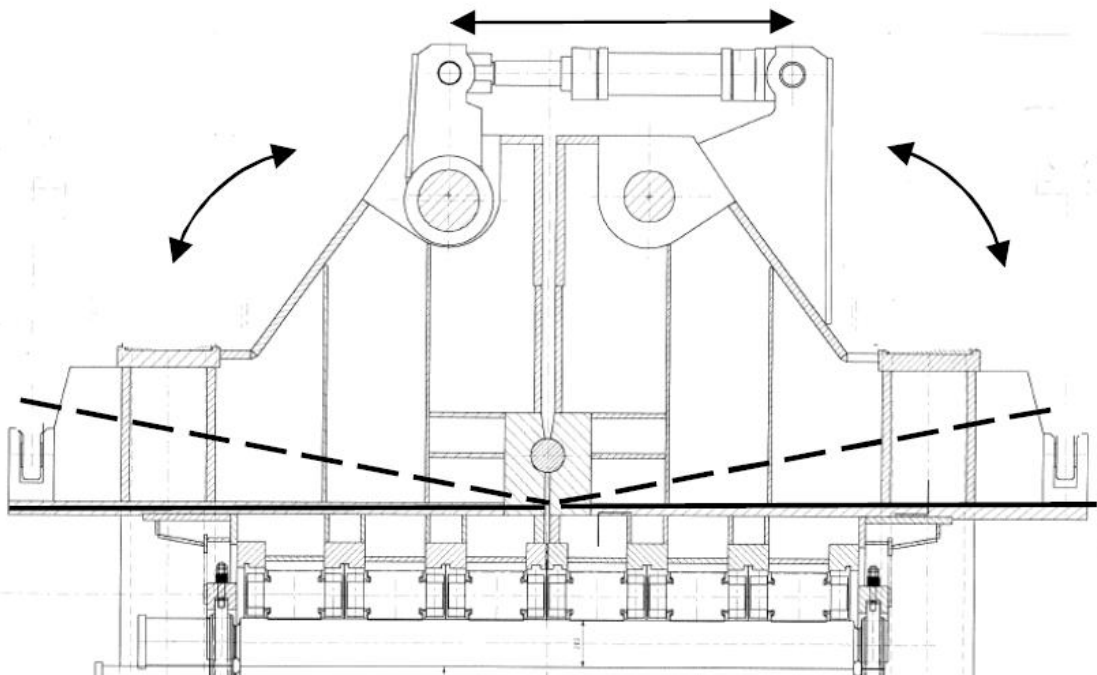
R kaarevuussäde.

3.3.1 Ohjaus

Oikaisukoneiden säädöt, kuten oikaisuraon ohjaus, toteutetaan yleensä mekaanisilla ja hydraulisilla laitteilla. Yleensä oikaisurako säädetään ruuveilla ja kone-elimien toimintaan tarvittava voima tuotetaan hydraulisyntereillä. Oikaisukoneet altistuvat oikaisun aikana erilaisille rasituksille, jotka aiheuttavat virheitä. Rasiusten ja kuormituksen kestoa on aikaisemmin korjattu jäykistämällä rakenteita. Nykyään rasiuksen aiheuttamia virheitä ja koneen rakenteiden joustoa tasataan hydraulisilla voimien ja asetusten säätöjärjestelmillä. Nykyään tietojärjestelmät säätävät oikaisukoneiden asetusarvot tuotannon seuranta- ja tietojärjestelmistä saatavien tuotteen tietojen, kuten lujuuksien ja mittojen perusteella. (Tuovinen 1992, 14.)

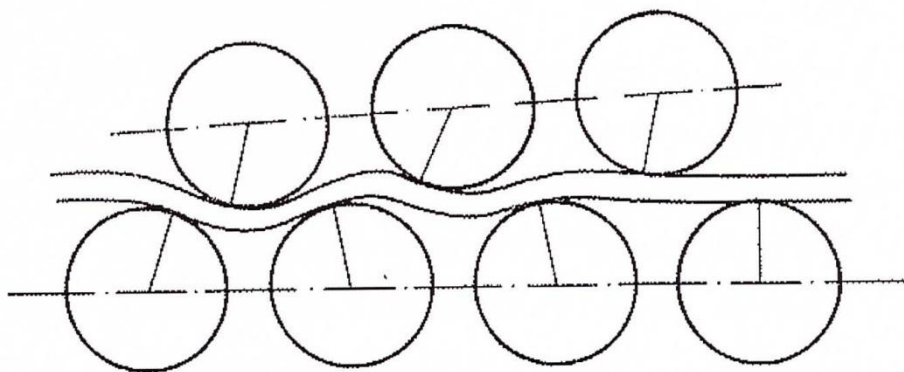
3.3.2 Rullasto

Rullaokaisukoneen rullasto koostuu kahdesta symmetrisesti päällekkäin asetellusta rullarivistä. Teräslevy tai -nauha kulkee ylä- ja alarullien välistä ja taipuu. Ylärivissä on yleensä yksi rulla vähemmän kuin alarivissä. Rullat valmistetaan yleensä karkaistusta työkaluteräksestä ja niiden pinta on hiottu tai karkaistu. Rullaston taipumista oikaisussa vähennetään tukirullien avulla. Sitä voidaan myös kompensoida tukirullien hydraulisella taivutuksella kuten kuvassa 13. Tuki- ja työrullien laakereina käytetään yleensä fosforipronssi- tai lyijyliukulaakereita. (Roberts 1978, 64.)



KUVA 13. Oikaisurullan taivutus tukirullien avulla (Bodini 2007, 3)

Yleisimmin oikaisurullat on kiila-asetuksessa, josta käytetään myös nimeä kallistus. Kallistuksessa tulorako on aina pienempi kuin koneen lähtörako. Kuvassa 14 on kuvattu levyn kulkua rullaston läpi ja rullaston kiila-asetus. Kiila-asetuksella pienin taipumasäde ja suurin muodonmuutos eli plastisoituminen tapahtuu kolmannen ja neljännen oikaisurullan kohdalla ja muodonmuutokset pienenevät lähtörullaa kohti. Loppupään oikaisurako on usein lähellä oikaistavan materiaalin paksuutta. Tulopuolen oikaisuraon arvoon vaikuttavat paksuus, pinnoite ja myötölujuus. (Hautamäki 2008, 3 - 4.)



KUVA 14. Levyn tai nauhan kulku rullaston läpi ja rullaston kiila-asetus (Tekninen tiedotus 3/80 1980, 17)

4 TESTAUSSUUNNITELMA

Tämän opinnäytetyön kokeellisessa osuudessa tavoitteena on selvittää optimaalinen esioikaisukoneen oikaisuraon asetusarvo 8 - 12 mm paksuille perustuotteille ja nopeutetusti jäähdytetyille tuotteille. Tavoitteena on saada suositukset eri levytuotteiden oikaisuraon asetusarvoille esioikaisukoneen käyttöpraktiikkaan.

Kokeet suoritetaan levyvalssauslinjan esioikaisukoneella 8 mm:n, 10 mm:n ja 12 mm:n paksuisia RAEX400-kulutusteräslevyjä oikaisemalla, yhteensä 34 levyä. Levyjen lämpötila on noin 800 °C, kun ne esioikaistaan, jolloin niiden myötölujuus on noin 100 Mpa. Kokeen otoksessa on kolmesta 8 mm:n paksuista levyä, kuusi 10 mm:n paksuista levyä ja viisitoista 12 mm:n paksuisista levyä. Lisäksi testataan 10 levyä, jotka kylmäoikaistaan ennen tasomaisuusmittausta.

Optimaalista oikaisurakoa lähdetään hakemaan lasketun plastisoitumisasteen kautta. Oikaisuraon asetus vaikuttaa plastisoitumisasteeseen. Koelevyillä testatetaan maksimissaan 88 % plastisoitumisastetta ja minimissään 53 % plastisoitumisastetta. Plastisoitumisasteen määrittämisessä käytetään apuna esioikaisukoneen valmistajan laatimaa laskentaohjelmaa, jolla saadaan laskettua tarvittava oikaisuraon asetus halutulle plastisoitumisasteelle. Taulukossa 1 on esitetty testaus suunnitelma.

TAULUKKO 1. Testaussuunnitelma

Testaustapa	Laatu	Paksuus (mm)	Rakoarvo (mm)	Plastisoitumisaste (%)	Kappaletta
esioikaistu	RAEX 400	8	1,5	43	1
			1,2	53	1
			0,4	72	2
			0,0	80	5
			-0,4	85	4
		10	0,4	72	1
			0,0	80	3
			-0,4	85	2
		12	1	55	1
			0,8	63	1
			0,5	70	1
			0,4	72	1
			0	80	6
			-0,4	85	3
			-0,6	88	2
esioikaistu ja kylmäoikaistu	RAEX 400	10	0,0	80	2
		12	2,0	<50	1
			0,6	66	1
			0,4	72	4
			-0,4	85	2

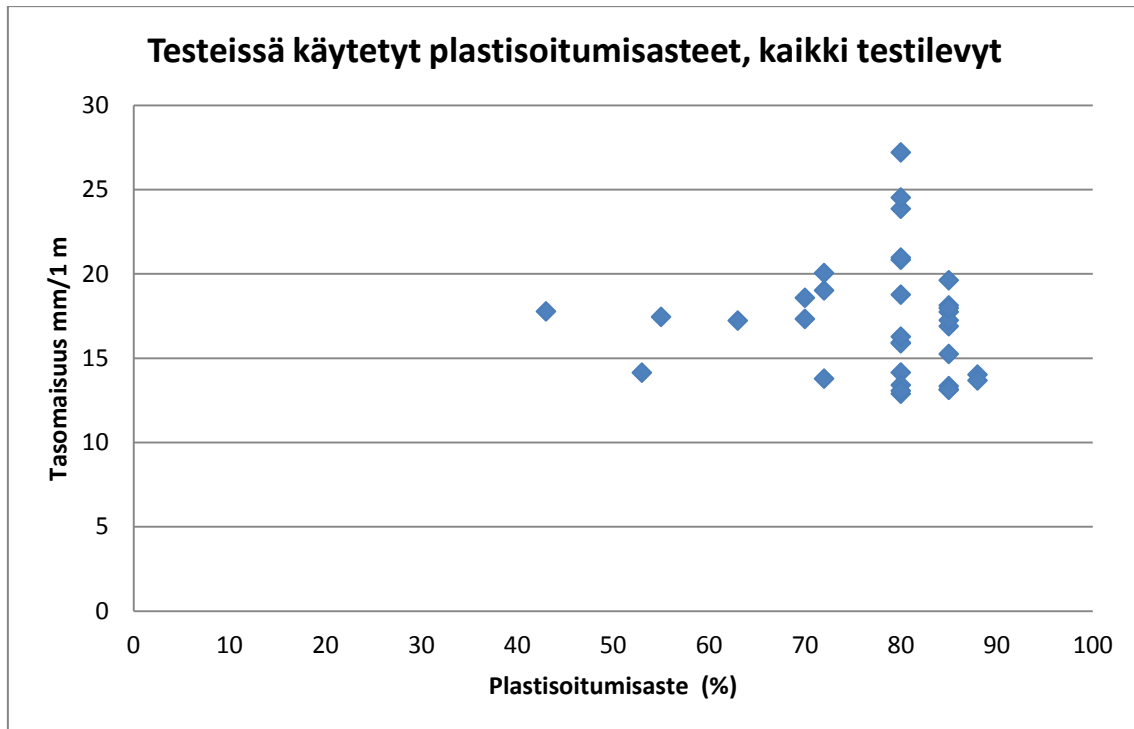
Esioikaisu tapahtuu yhdellä pistolla eli levy ajetaan yhden kerran oikaisukoneen läpi. Esioikaisun jälkeen levyt karkaistaan ja ajetaan ilman kuumaokaisua jäähdytystasolle, josta ne ajetaan Shapeline 3D -tasomaisuusmittarille mitattavaksi. Optinen 3D -tasomaisuusmittari mittaa levyn poikkittäis- ja pitkittäiskaarevuuden koko levyn mitalta sekä tasomaisuuden mm/1 m. Liitteessä 1 on esitetty levykohtaiset tulokset tasomaisuusmittauksesta. Liitteissä näkyy myös esimerkkejä esioikaisun jälkeen kylmäoikaistusta levyistä. Niiden merkitystä tässä työssä eritellään tarkemmin työn tuloksissa.

5 TESTAUSTULOKSET

Tässä pääluvussa tarkastellaan yksityiskohtaisesti testattujen levytuotteiden tulosten muodostumista alussa asetettujen tutkimustehtävien valossa. Kaksi päätutkimustehtävää on jaettu omiin alalukuihin. Tuloksia kuvataan graafisesti pistediagrammeilla ja niitä on selitetty tekstiluvuissa. Kuvien arvot on johdettu liitteiden 1, 2, 3 ja 4 taulukoista ja kuvista. Lisäksi tuloksia on selkiytetty vakioimalla testeissä esiintyviä muuttujia. Muuttujina ovat levyn paksuus ja leveys sekä plastisoitumisaste.

5.1 Esioikaisukoneen rakoarvojen suositukset

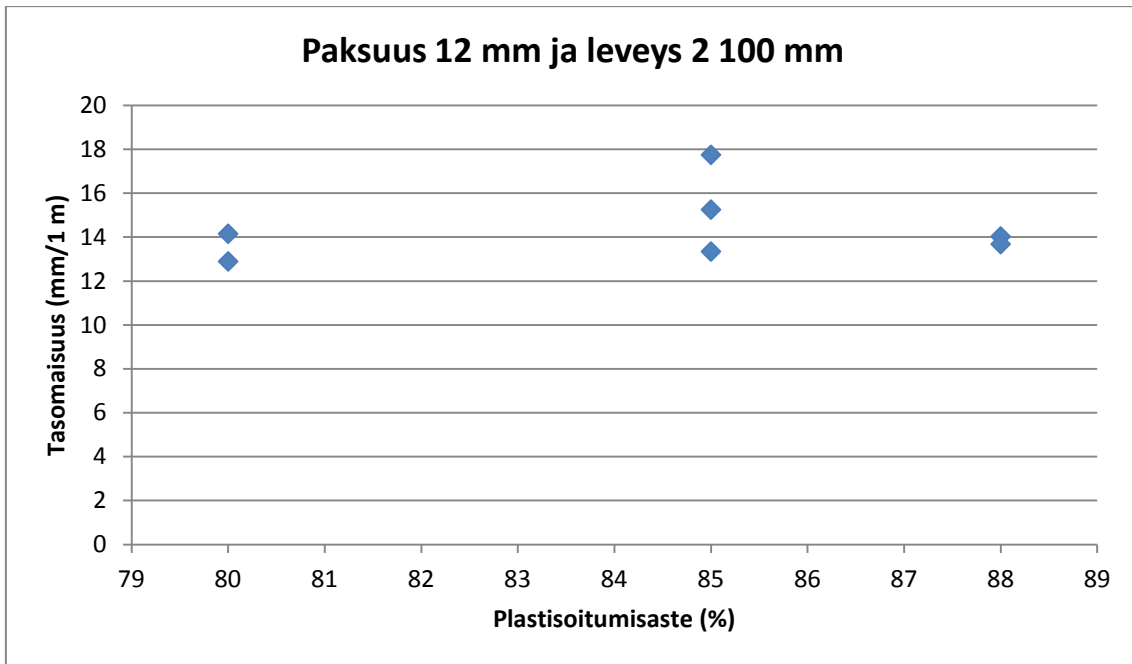
Kuvassa 15 esitetään testilevyillä saavutetut tasomaisuusmittauksen tulokset eri plastisoitumisasteilla. Liitteen 3 taulukosta 2 nähdään, että samalla plastisoitumisasteella saavutetaan hyvin erilaisia tuloksia tasomaisuudessa. Tämä vaihtelu voi aiheutua monesta tekijästä ennen levyjen esioikaisua. Tässä työssä testattujen levyjen kohdalla virheet tasomaisuudessa ovat suurimmaksi osaksi levyjen reuna-alueilla eli levyt ovat reunalöysiä. Reunalöyryssä levyssä sivut ovat keskiosaa pidempiä, mikä aiheuttaa levyyn muotovirheitä. Tämän muotovirheen merkittävin aiheuttaja on aiemmin valssauksessa saavutettu tulos. Kuvasta 15 voidaan tulkita myös, että suurentamalla plastisoitumisastetta yli 80 %:n tasomaisuustulos ei merkittävästi parane. Plastisoitumisasteen vaikutusta on tarkasteltu tarkemmin erilaisilla levyn ominaisuuksilla. Kuvat 16 - 18 on koostettu merkittävimmistä otannoista testauksessa.



KUVA 15. Mitattu tasomaisuus mm/1 m testeissä kokeilluilla plastisoitumisasteilla

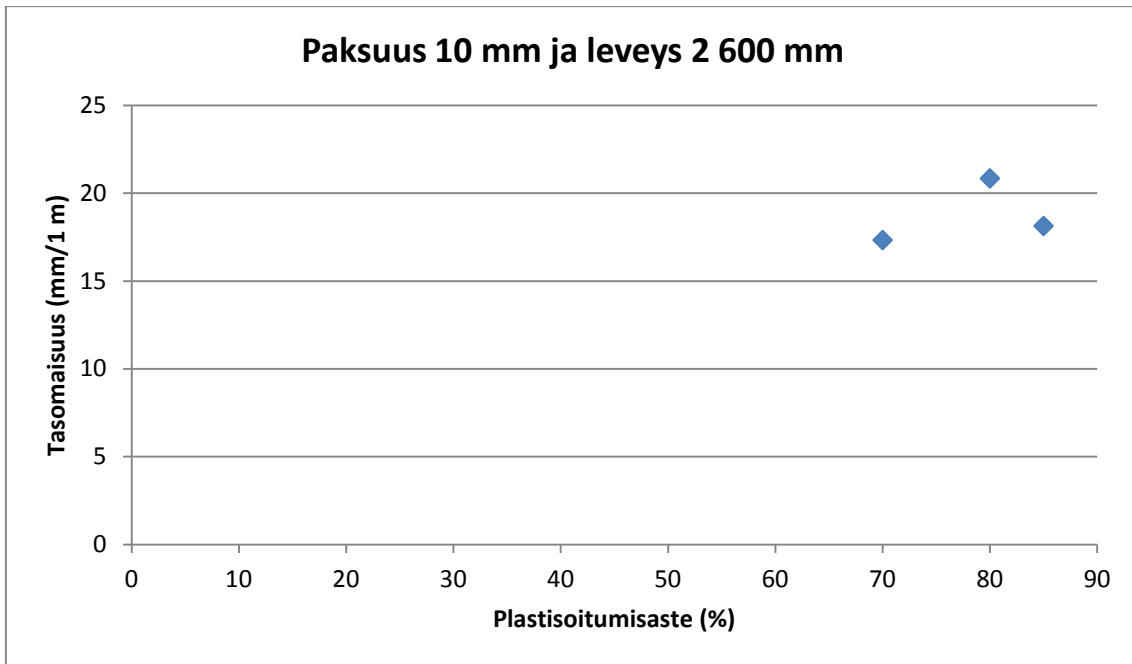
Muuttujana tulokuvissa 16 - 18 on plastisoitumisaste. Kuvissa on vakioitu levyn paksuus ja leveys, jotta tasomaisuustulosten vaihtelu eri plastisoitumisasteilla voidaan nähdä luotettavammin. Tarkasteluun on otettu mukaan kaikki tämän työn kannalta tärkeimmät paksuudet.

Kuvassa 16 on esitetty tasomaisuustulokset 12 mm paksuille ja 2 100 mm leveille levyille. Taulukosta voidaan nähdä, että parhaimmat tulokset on saatu 80 %:n plastisoitumisasteella, mutta erot eivät ole suuria 85 %:n plastisoitumisasteen tulosten kanssa. Tulosten hajonta 85 %:n plastisoitumisasteella on kuitenkin tässä otannassa selkeästi suurempi kuin 80 %:lla. Kokonaisuudessaan kuitenkin näyttää siltä, että plastisoitumisasteen kasvattamisella ei ole merkittävää vaikutusta tasomaisuustulokseen.



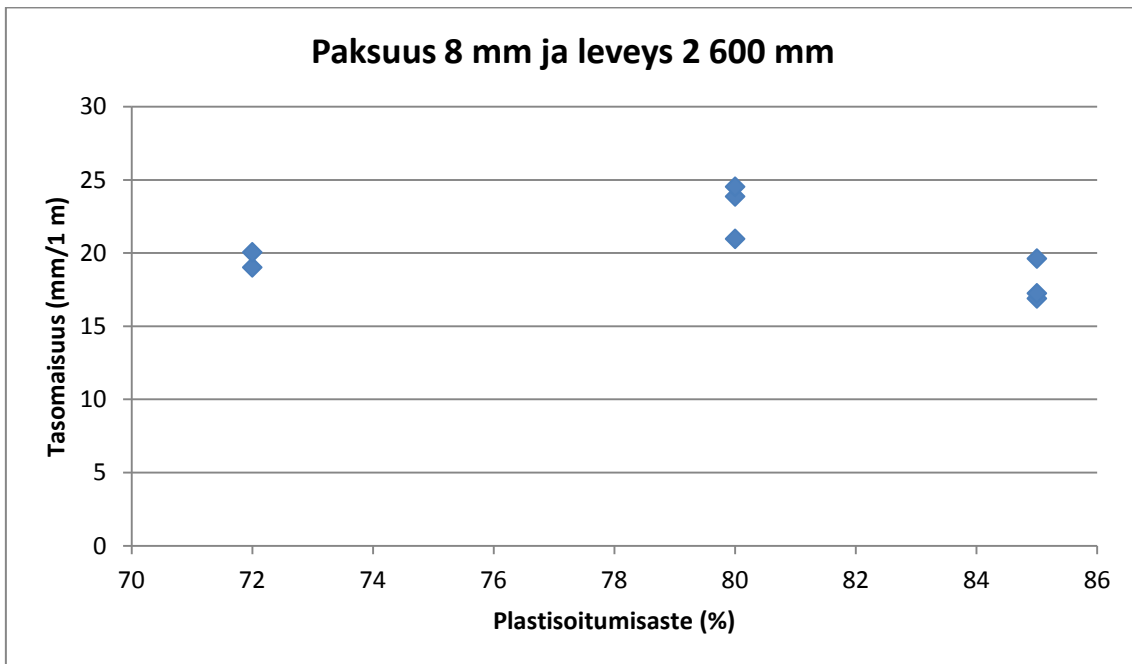
KUVA 16. Mitattu tasomaisuus mm/1 m 12 mm paksuilla 2 100 mm leveillä levyillä

Kuvassa 17 on esitetty tasomaisuustulokset 10 mm paksuille ja 2 600 mm leveille levyille. Kuvasta nähdään, että plastisoitumisasteella ei edelläänkään ole suurta vaikutusta tasomaisuustulokseen. Huomioitavaa on, että otanta 10 mm paksuissa ja 2 600 mm leveissä levyissä ei ole välttämättä riittävän kattava plastisoitumisasteen vaikutuksen esiintuomiseksi. 10 mm paksuja levyjä testattiin työssä huomattavasti enemmän kuin kuvasta 17 käy ilmi, mutta leveyden vaikutusta ei pidetty tämän työn lähtökohtana. Voidaankin siis sanoa, että leveyden vaikutus tasomaisuuteen esioikaisun jälkeen ilmeni testauksen loppuvaiheessa.



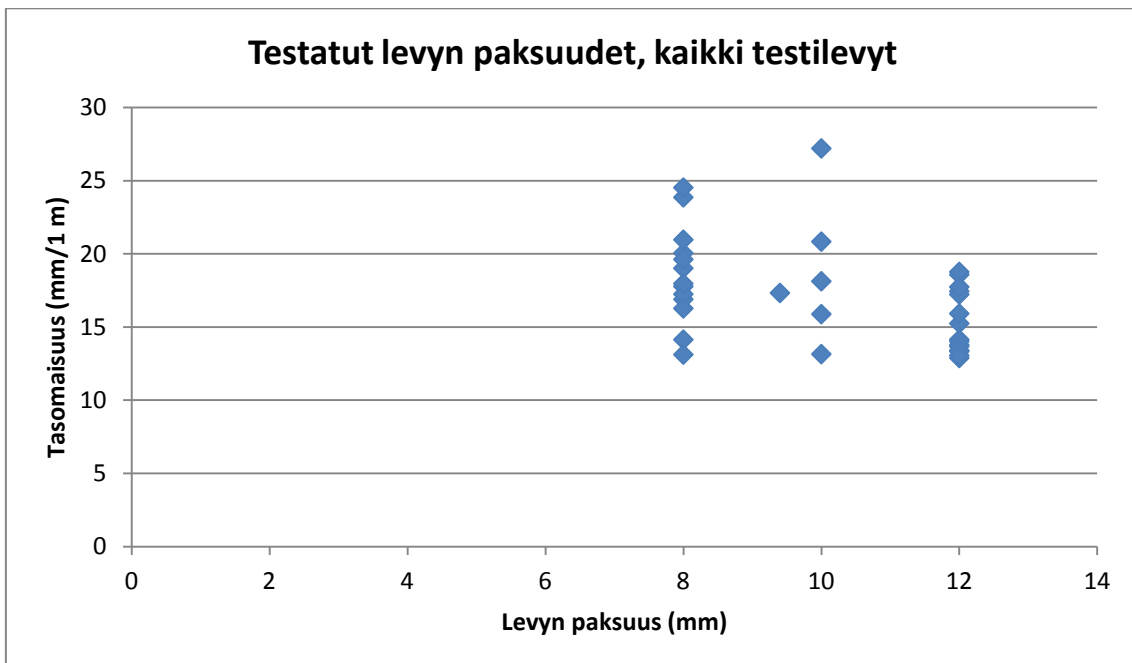
KUVA 17. Mitattu tasomaisuus mm/1 m 10 mm paksuilla 2 600 mm leveillä levyillä

Kuvassa 18 on esitetty tasomaisuustulokset 8 mm paksuille ja 2 600 mm leveille levyille. Taulukosta voidaan nähdä, että tulokset asettuvat kaikilla testatuilla plastisoitumisasteilla 20 mm/1 m:n tuntumaan. Tällä paksuudella kuitenkin huomattiin, että 80 %:n plastisoitumisaste antaa hieman heikompia tuloksia kuin sitä matalammat ja korkeammat asteet.



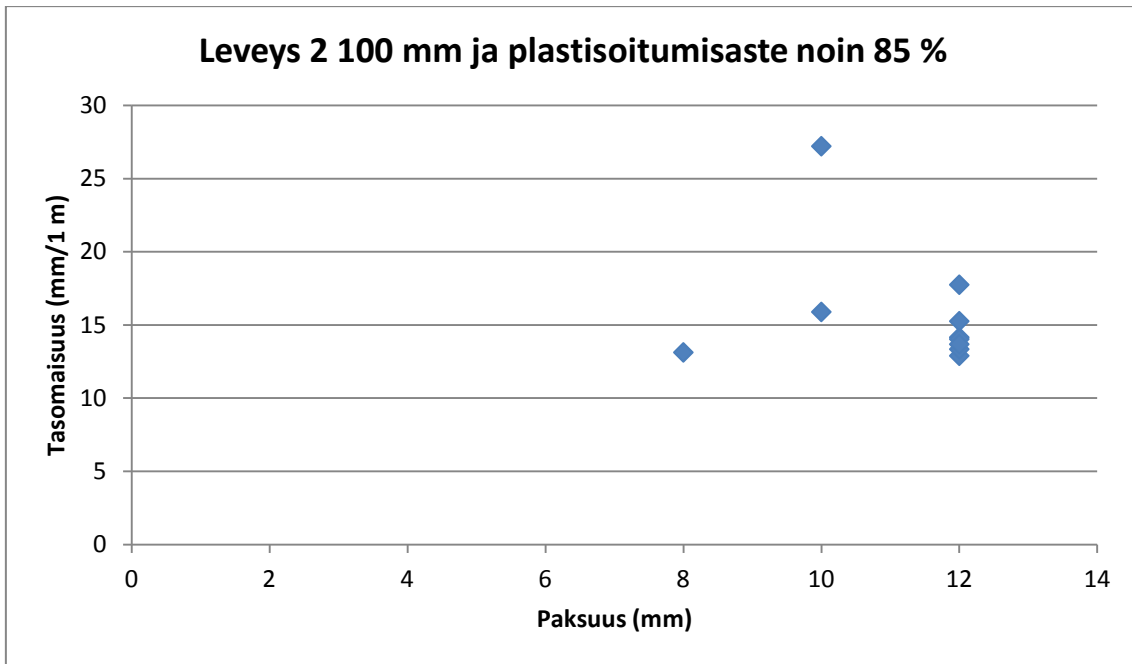
KUVA 18. Mitattu tasomaisuus mm/1 m 12 mm paksuilla 2 600 mm leveillä levyillä

Levyjen leveys vaikuttaa oleellisesti mittaustulokseen: pääsääntöisesti 2 100 mm ja yli 3 000 mm leveät tuotteet ovat tasomaisuustuloksiltaan parempia kuin 2 500 - 2 600 mm leveät. Testatuista levyistä 9 on leveydeltään noin 2 600 mm ja niistä vain yksi on saavuttanut paremman oikaisutuloksen kuin 15 mm/1 m. 2 100 mm ja yli 3 000 mm leveitä levyjä on 12 ja niistä 10 saavuttaa alle 15 mm/1 m tuloksen. Todennäköisesti 2 500 - 2 600 mm leveiden levyjen heikommat mittaustulokset tasomaisuudessa ovat seurausta huonommasta valssaustuloksesta. Tässä työssä lähtökohtana on kuitenkin saada aikaan suosituksia eri paksuisten levytuotteiden rakoarvoille esioikaisukoneen käyttöpraktiikkaan ja siten levyjen leveyden selkeä vaikutus tasomaisuustuloksiin on yllättävän suuri. Käytännössä huomataan, että leveydellä on tässä otannassa merkittävämpi vaikutus tulosten hajontaan kuin levyn paksuudella. Kuvassa 19 nähdään mittaustulokset levyjen eri paksuuksilla.



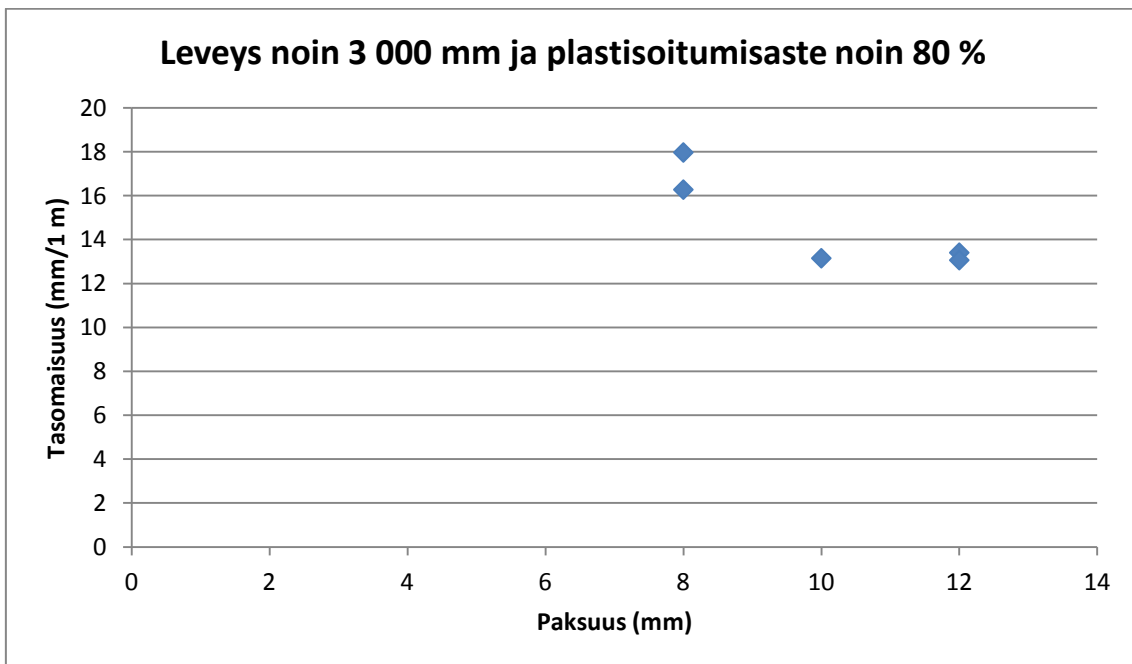
KUVA 19. Mittaustulokset levyn eri paksuuksilla.

Kuvassa 20 on esitetty tasomaisuustulokset 2 100 mm leveille levyille, jotka on oikaistu noin 85 %:n plastisoitumisasteella. Taulukosta voidaan nähdä, että tulokset asettuvat kaikilla testatuilla paksuuksilla 15 mm/1 m:n tuntumaan, yhtä poikkeusta lukuun ottamatta.



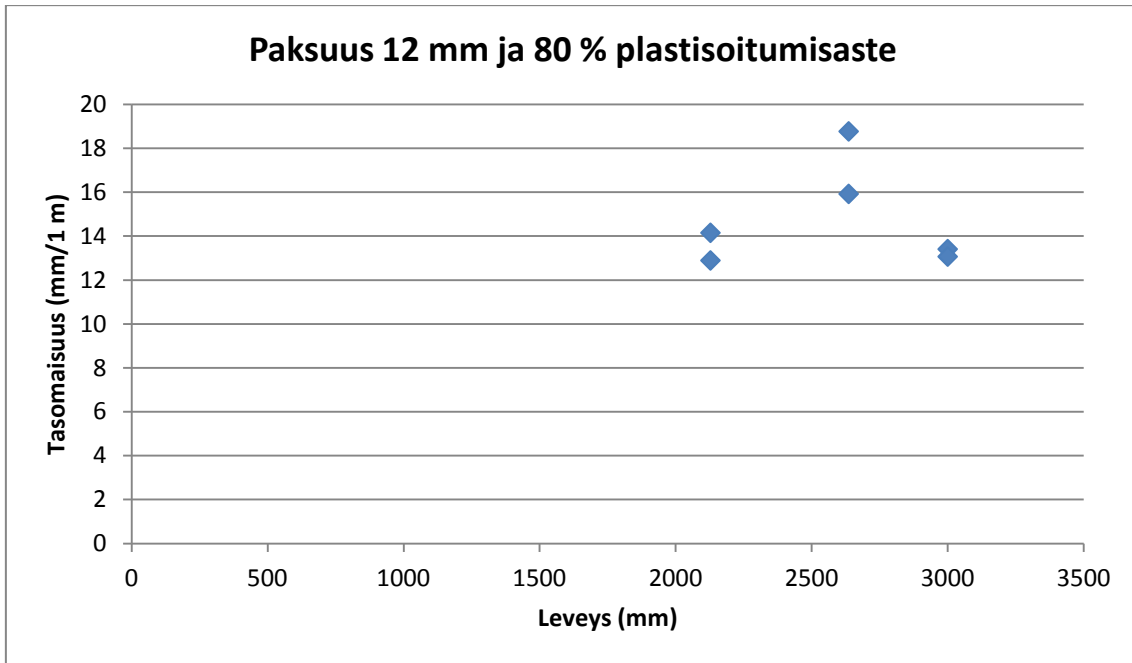
KUVA 20. Mitattu tasomaisuus mm/1 m 2 100 mm leveillä levyillä, jotka on oikaistu 85 %:n plastisoitumisasteella

Kuvassa 21 on esitetty tasomaisuustulokset 3 000 mm leveille levyille, jotka on oikaistu 80 %:n plastisoitumisasteella. Taulukosta voidaan nähdä, että tulokset asettuvat kaikilla testatuilla paksuuksilla keskimäärin 15 mm/1 m:n tuntumaan, yhtä poikkeusta lukuun ottamatta.



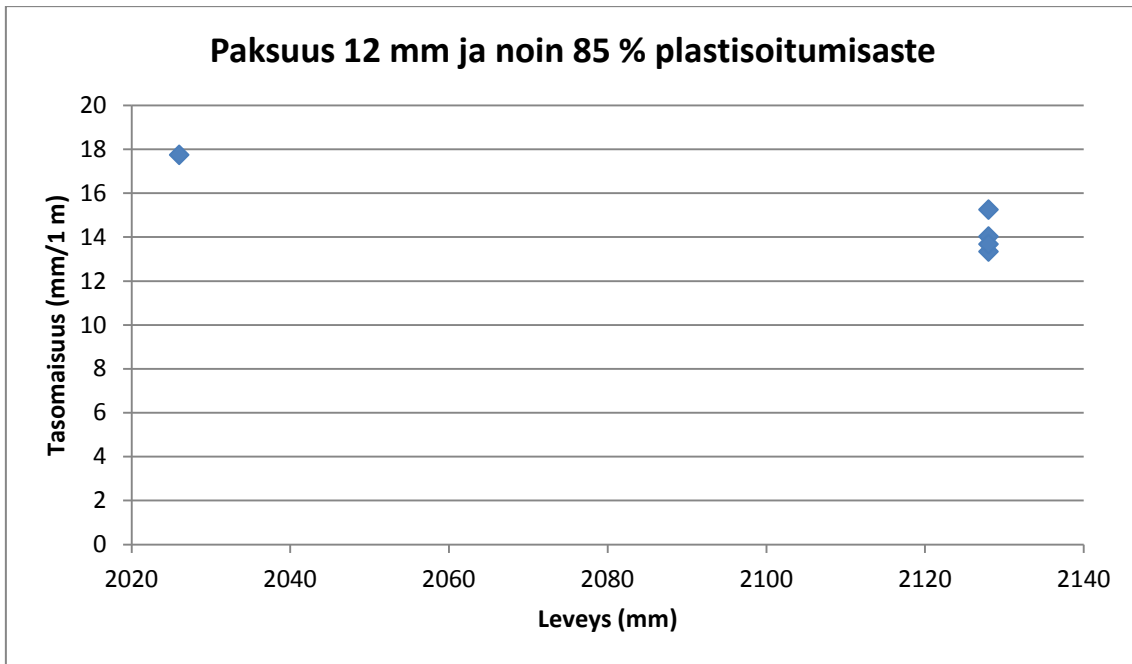
KUVA 21. Mitattu tasomaisuus mm/1 m 3 000 mm leveillä levyillä, jotka on oikaistu noin 80 %:n plastisoitumisasteella

Kuvassa 22 on esitetty tasomaisuustulokset 12 mm paksuille levyille, jotka on oikaistu 80 %:n plastisoitumisasteella. Taulukosta voidaan nähdä, että 2 600 mm leveät levyt ovat tasomaisuustulokseltaan hieman heikompia kuin 2 100 mm ja 3 000 mm leveät.



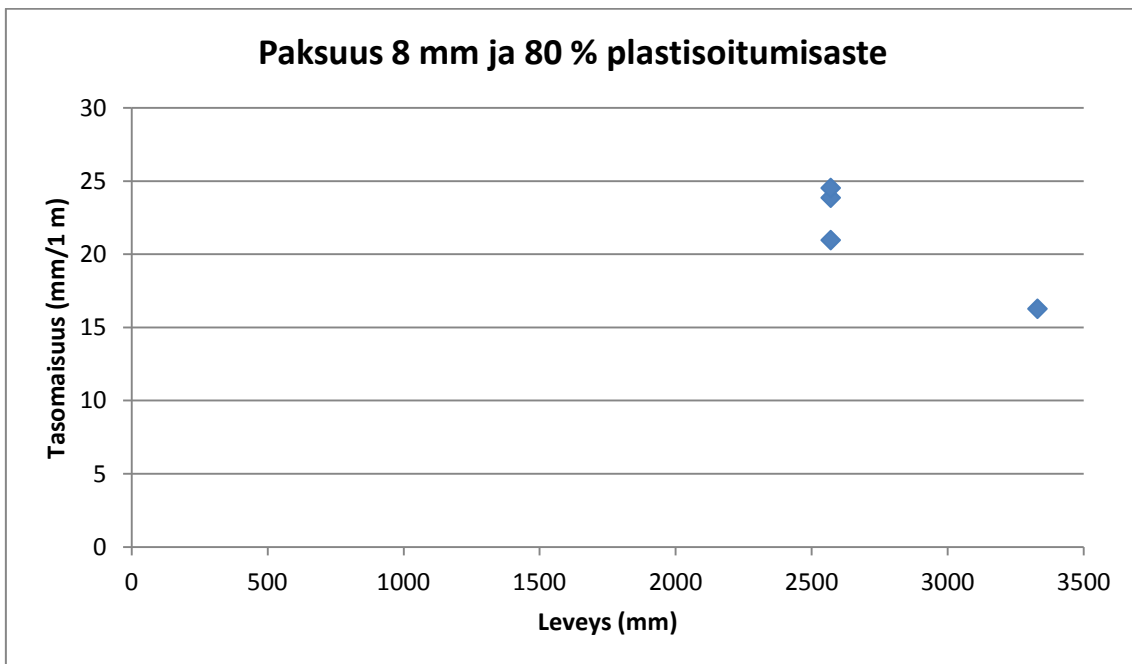
KUVA 22. Mitattu tasomaisuus mm/1 m 12 mm paksuilla levyillä, jotka on oikaistu 80 %:n plastisoitumisasteella

Kuvassa 23 on esitetty tasomaisuustulokset 12 mm paksuille levyille, jotka on oikaistu noin 85 %:n plastisoitumisasteella. Kun verrataan näitä tuloksia kuvan 22 tuloksiin, nähdään, että lisäämällä plastisoitumisastetta 5 %:a ei saada olennaista hyötyä tasomaisuustuloksessa.



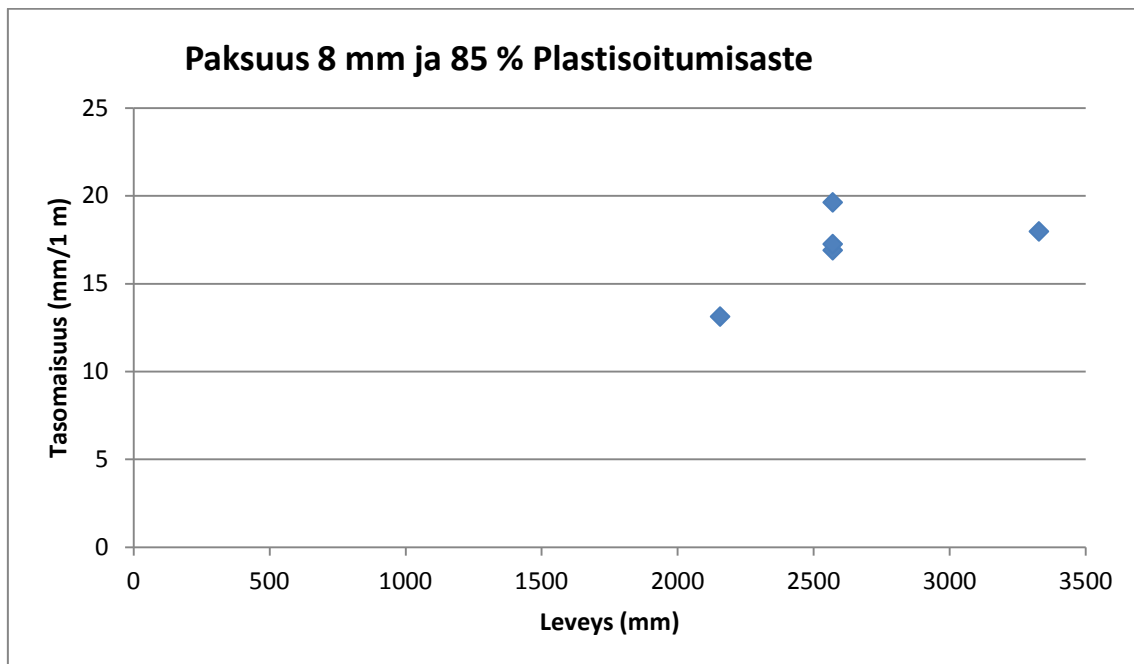
KUVA 23. Mitattu tasomaisuus mm/1 m 12 mm paksuilla levyillä, jotka on oikaistu 85 %:n plastisoitumisasteella

Kuvassa 24 on esitetty tasomaisuustulokset 8 mm paksuille levyille, jotka on oikaistu 80 %:n plastisoitumisasteella. Taulukosta voidaan nähdä, että 2 600 mm leveät levyt ovat tasomaisuustulokseltaan heikompia, kuin 3 000 mm leveät.



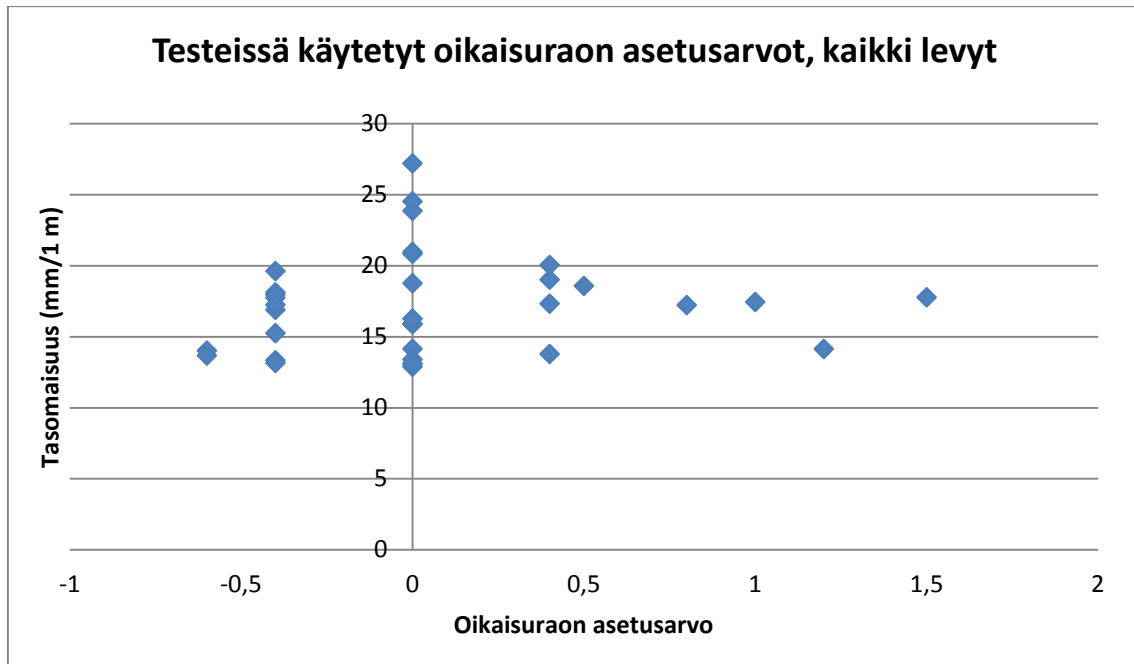
KUVA 24. Mitattu tasomaisuus mm/1 m 8 mm paksuilla levyillä, jotka on oikaistu 80 %:n plastisoitumisasteella

Kuvassa 25 on esitetty tasomaisuustulokset 8 mm paksuille levyille, jotka on oikaistu 85 %:n plastisoitumisasteella. Taulukosta voidaan nähdä, että kaikki levyt ovat saavuttaneet alle 20 mm/1 m tuloksen tasomaisuudessa. Vertaamalla näitä tuloksia kuvan 24 tuloksiin, huomataan, että suurentamalla plastisoitumisastetta saavutetaan vain hieman parempi tasomaisuustulos. Lopputuotteen kannalta tällä erolla ei kuitenkaan ole merkitystä.



KUVA 25 Mitattu tasomaisuus mm/1 m 8 mm paksuilla levyillä, jotka on oikaistu 85 %:n plastisoitumisasteella

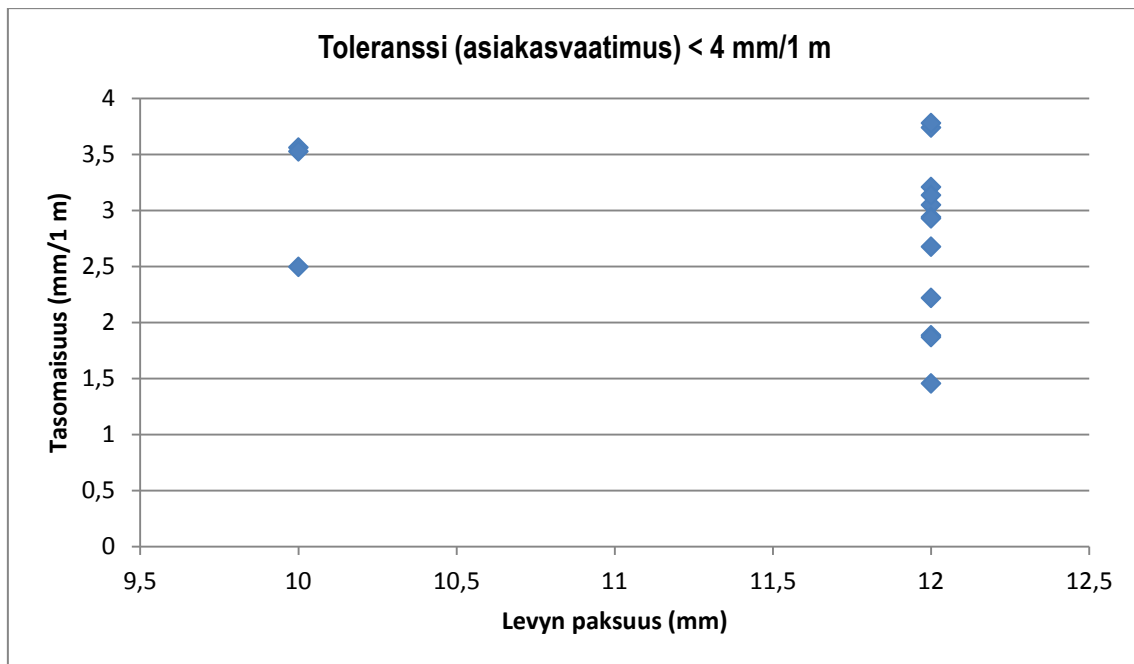
Kuvassa 26 on tarkasteltu lähemmin levyjen leveyden vaikutusta mittaustulokseen. Kuvassa 26 on yhdistetty tasomaisuusmittaustulokset testattuihin oikaisuraon asetusarvoihin. Vaaka-akselilla oikaisuraon asetusarvot, joissa 0 merkitsee nykyisin esioikaisukoneen käyttöpraktiikassa olevia arvoja. Vastaavasti negatiiviset arvot merkitsevät käyttöpraktiikassa olevan nolla-arvon kiristystä ja positiiviset löysentämistä. Testilevyistä noin kolmasosa ajettiin nykyisin käytössä olevilla arvoilla. Näillä arvoilla myös saavutettiin pääosin parhaimmat tasomaisuudet, mutta tulosten vaihteluväli oli kaikista suurin ja myös testien heikoin tulos saatiin vastaavilla arvoilla. Jälleen huomattiin kuitenkin, että heikoimman tuloksen saavuttanut levy oli leveydeltään 2 600 mm, eikä kokeiluilla asetusarvon muutoksilla ollut vaikutusta. Testeissä huomattiin, että lähtörullan asetusarvo ei vaikuta tasomaisuustulokseen koko levyn mitalta. Se vaikuttaa lähinnä levyn keulan ja hännän ylös- tai alassuuntaan kaareutumiseen. Pääsääntöisesti rakoarvon löysentäminen heikentää oikaisutulosta hieman, mutta selvää eroa ei kuitenkaan voida nähdä. Myöskään rakoarvon kiristämällä ei saada merkittävää hyötyä oikaisutulokseen.



KUVA 26. Mitattu tasomaisuus mm/1 m testeissä käytetyillä oikaisuraon asetusarvoilla

5.2 Esioikaisukoneen käyttö kuumaokaisukone 1:n varakoneena

Tämän työn toisena tutkimustehtävänä oli selvittää, voidaanko esioikaisukonetta käyttää kuumaokaisukone 1:n varakoneena. Tätä tutkittiin tilanteessa, jossa kuumaokaisukone 1 ei ole käytössä. Levyt ovat oikaistu pelkästään esioikaisukoneella ennen kylmäokaisua. Näiden levyjen tasomaisuusmittaus on suoritettu kylmäokaisun jälkeen, jolloin saatiin selville, että kaikki näin testatuista tuotteista saavuttavat asiakasvaatimuksen tasomaisuudessa. Tarkempi erittely tasomaisuuksista ja asiakasvaatimuksesta nähdään kuvasta 21. Asiakasvaatimus tasomaisuudelle näillä levyillä oli alle 4 mm/1 m ja kuvasta 21 huomataan, että pääosa levyistä alittavat 3 mm/1 m tasomaisuuden. Kuvan 21 arvot on koostettu liitteen 4 taulukosta.



KUVA 28. Lopputuotteen tasomaisuus kylmäoikaisun jälkeen erikseen testatuilla levyillä.

Yhteenvedona tutkimustuloksista voidaan todeta, että optimaaliset rakoarvot sekä perustuotteille että karkaistuille tuotteille 8 - 12 mm ovat nykyisin karkaisutuilla tuotteilla käytössä olevat rakoarvot. Näillä esioikaisukoneen rakoarvoilla käyttämättä kuumaokaisukone 1:stä, saavutetaan lopullisessa tuotteessa asiakasvaatimukset täyttävä tasomaisuus. Näin ollen voidaan todeta, että esioikaisukonetta voidaan käyttää kuumaokaisukone 1 varakoneena tai sen tukena.

6 YHTEENVETO JA JATKOKEHITYSMÄHDOLLISUUDET

Työssä haettiin optimaalisia rakoarvoja nopeutetusti jäähdytetyille 8 - 12 mm paksuille tuotteille. Tällä hetkellä esioikaisukonetta käytetään ainoastaan nopeutetusti jäähdytetyille levytuotteille. Tarve työn tekemiseen syntyi, kun käytännössä on ilmennyt tarvetta esioikaisukoneen käytölle myös muille tuotteille, joko kuumaoikaisukone 1:n varakoneena tai muutoin kuumaoikaisun tukena. Näitä tutkimuskysymyksiä lähestyttiin aluksi teoriaosuuden kautta, jossa tarkasteltiin lähinnä rullaoikaisua ja siihen vaikuttavia tekijöitä. Lisäksi työssä kuvattiin levyvalssauslinjalla käytössä olevaa esioikaisukonetta ja sen rakennetta.

Rakoarvot käyvät myös saman paksuisille ei-karkaistuille levyille, koska niiden myötöraja on esioikaisuun mennessä suunnilleen sama. Kokeet suoritettiin levyvalssauslinjan esioikaisukoneella 8 mm, 10 mm ja 12 mm paksuja RAEX400 kulutusteräslevyjä oikaisemalla, yhteensä 34. Otoksen suuruus oli melko pieni, mutta sen avulla on kuitenkin mahdollista tämän oppinnäytetyön puitteissa saada vastaukset asetettuihin tutkimustehtäviin.

Johtopäätöksenä testitulosten pohjalta voidaan todeta, että nykyisin käytössä olevat rakoarvot takaavat riittävän tasomaisuuden lopputuotteelle ilman kuumaoikaisua. Tästä seuraa, että esioikaisukonetta voidaan käyttää myös tarvittaessa kuumaoikaisukone 1:n varakoneena. Levyt vaativat kuitenkin kylmäoikaisun, että ne täyttävät asiakasvaatimuksen tasomaisuudeltaan. Näiden tulosten ohella havaittiin, että levyn leveydellä on selkeä vaikutus tasomaisuuteen esioikaisun jälkeen. Jatkotutkimusehdotuksena voisinkin olla levyn leveyden vaikutuksen tutkiminen tasomaisuuteen. Erityisesti 2 600 mm leveiden tuotteiden kohdalla leveysvaikutus on selvä. Tarkentava tutkiminen, mistä juuri kyseisen leveyden huonompi tasomaisuus voisi aiheutua, on tarpeellista.

LÄHTEET

Aarnio, J. 2008. Kuumavalssatun teräslevyn muototarkkuuden kehittäminen. Diplomityö. Oulun yliopisto. Prosessi- ja ympäristötekniikan osasto.

Beveridge, D. 1999. Tension and Roller Levelling of Flat Products. London : The Royal United Service Institute.

Beveridge, D. 2002. Optimisation of plate and strip processing to meet high customer demands. EUR 20211. European Commission. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.

Bodini, L. 2007. Heavy Plate Leveler improvement by coupling a model to a flatness gauge. Siemens. METEC 2007. Hakupäivä 27.1.2014

<http://www.industry.siemens.com/datapool/industry/industrysolutions/metals/siroll/en/METEC2007-HeavyPlateLeveller-Bodini-Ehrich.pdf>.

Hautamäki P. 2008. Ohutlevyn oikaisun mallintaminen. Valssausmetallurgian uudet mahdollisuudet.. Oulu. Pohto.

Katainen, H. & Mäkinen, A. 1997. Muovaava ja leikkaava työstö. Porvoo: WSOY.

Roberts, W. 1978. Cold rolling of steel. New York: Marcel Dekker Inc.

Ruukki Metals. 2013a. Ruukin teräsliiketoiminta. Sisäinen lähde. Hakupäivä 10.6.2013 <http://intra.rrsteel.net/>.

Ruukki Metals. 2013b. Levyvalssaamon esittely. Sisäinen lähde. Hakupäivä 12.6.2013 <http://intra.rrsteel.net/>.

Räsänen, T. 2008. Oikaisuvalssauksen vaikutus nauhalevyn tasomaisuuteen ja jäännösjännitystilaan. Diplomityö. Oulun yliopisto. Konetekniikan osasto.

SMS DEMAG 2007. Esioikaisukoneen alkuperäiset käyttö- ja huolto-ohjeet sekä koneen tekniset tiedot.

Suomen metalliteollisuuden keskusliitto. 1980. Ohutlevyjen kelaus-, oikaisu- ja syöttölaitteet. Tekninen tiedotus, 3/80, Helsinki. Metalliteollisuuden kustannus Oy.

Tuovinen, J. 1992. Oikaisun eri tekijöiden vaikutus kuumavalssatun teräslevyn jäännösjännitystilaan. Diplomityö. Oulun yliopisto. Konetekniikan osasto.

Vanttaja, I. 1990. Ohutlevytuotteiden valmistukseen liittyvät tasomaisuusongelmat. Ohutlevyuutiset, Suomen metalliteollisuuden keskusliitto., 2/1990, Helsinki.

Veijola, V-P. 2012. Karkaistujen levyjen oikaisuprosessien kehittäminen. Diplomityö. Oulun yliopisto. Konetekniikan osasto.

LIITTEET

Liite 1 Esioikaistujen testilevyjen Shapeline-mittaustulokset

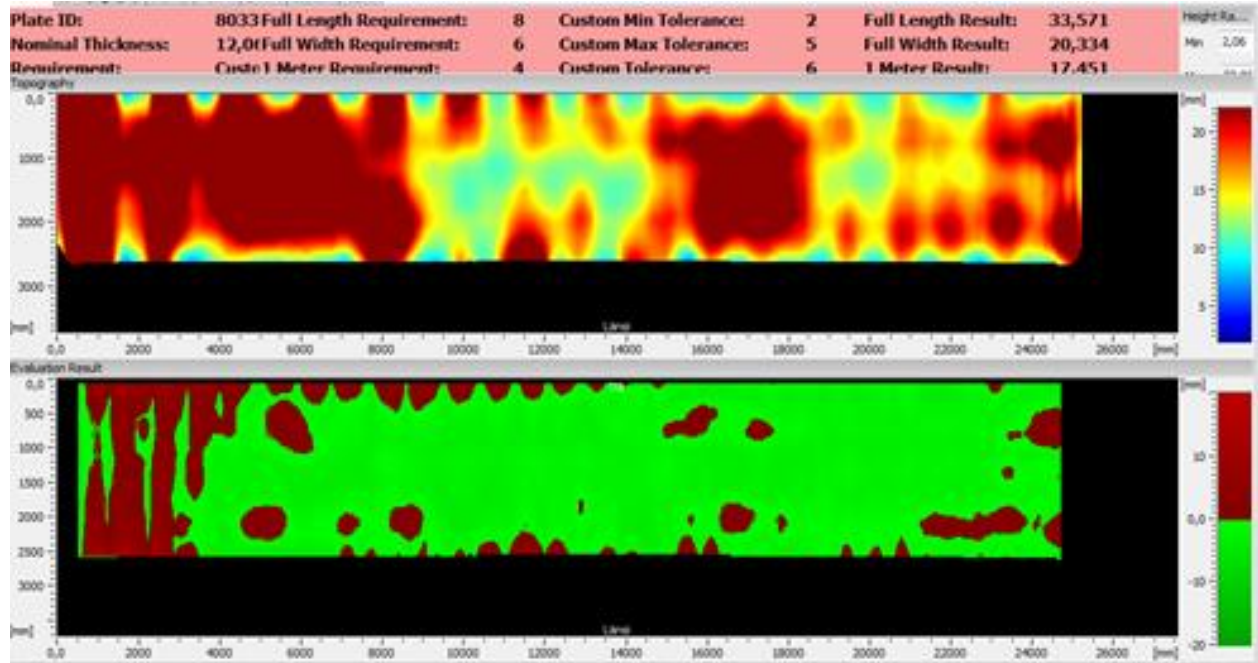
Liite 2 Esioikaisun jälkeen kylmäoikaistujen testilevyjen Shapeline-mittaustulokset

Liite 3 Taulukko 2. Esioikaisukoneen rakoarvojen kokeilu

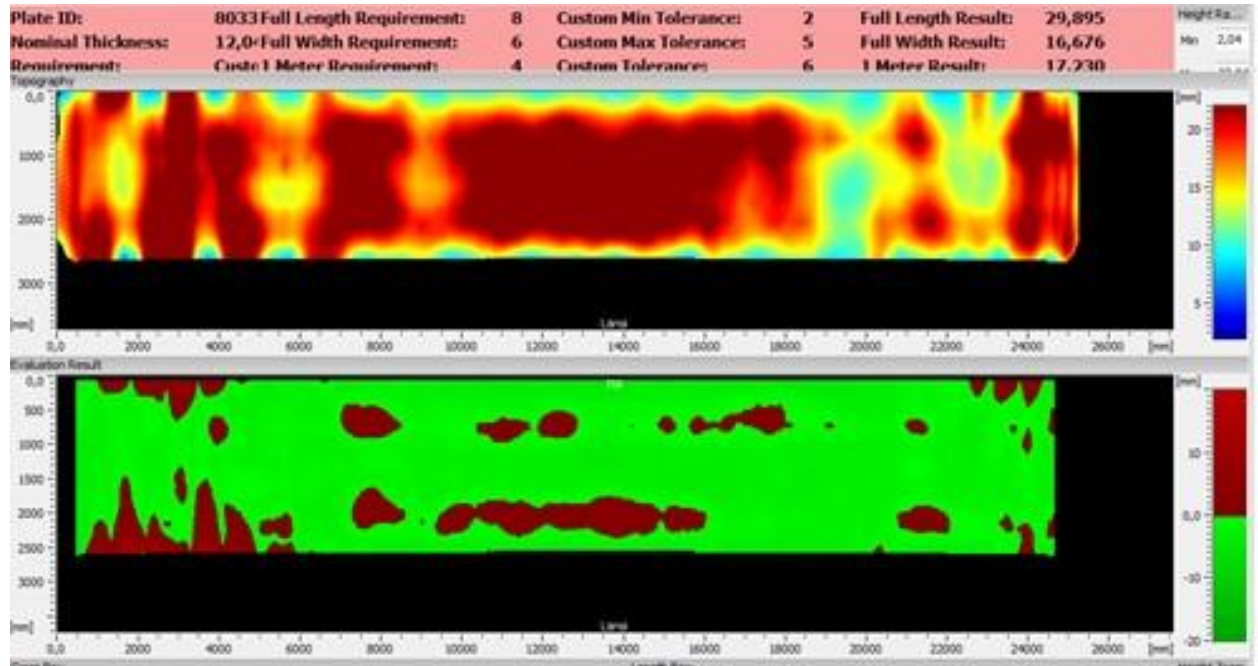
Liite 4 Taulukko 3. esioikaisun jälkeen kylmäoikaistut levyt

Esiokaistujen testilevyjen Shapeline- mittaustulokset.

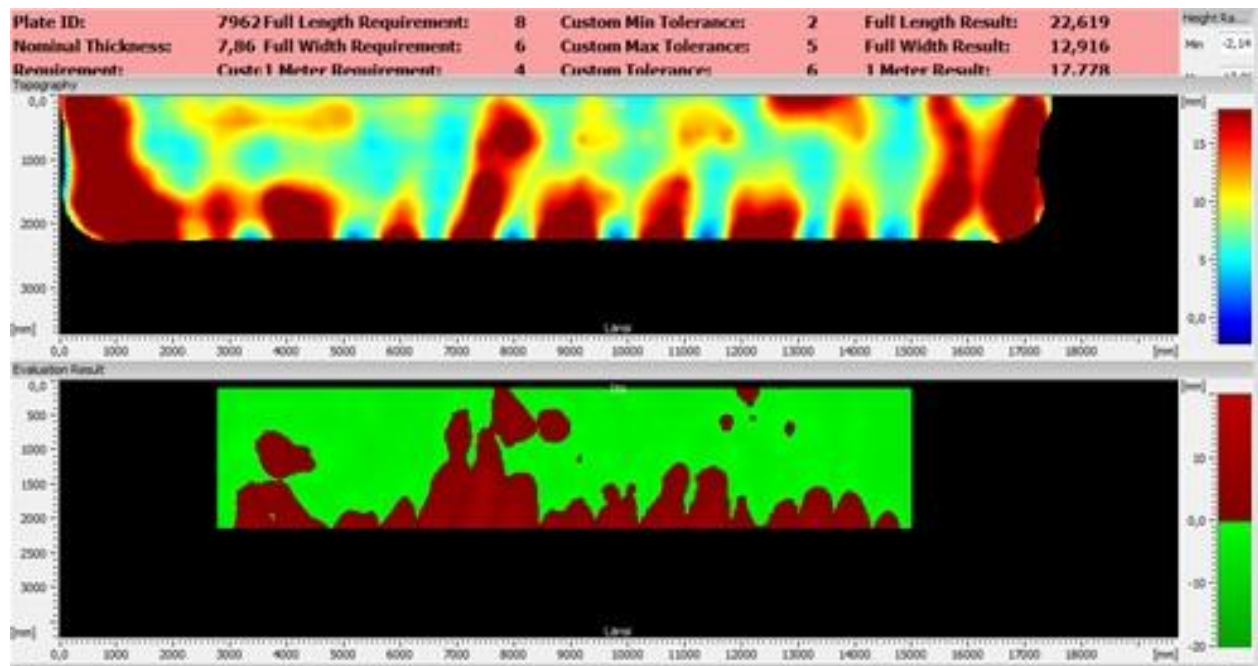
80331 022



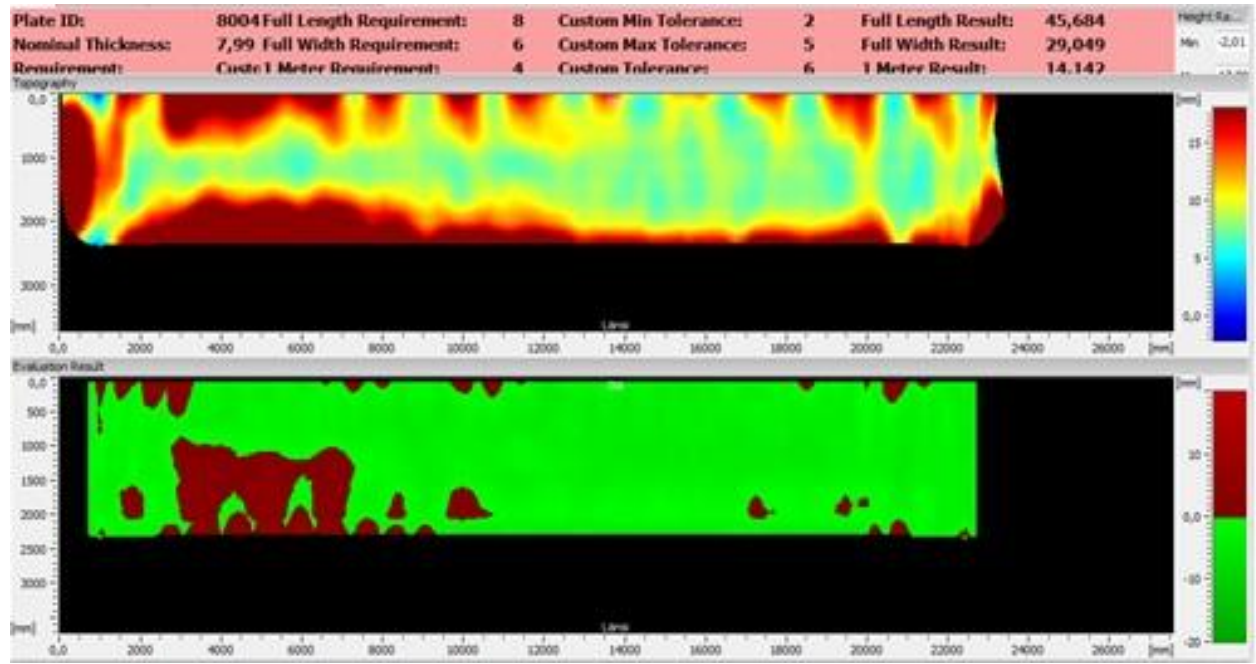
80331 023



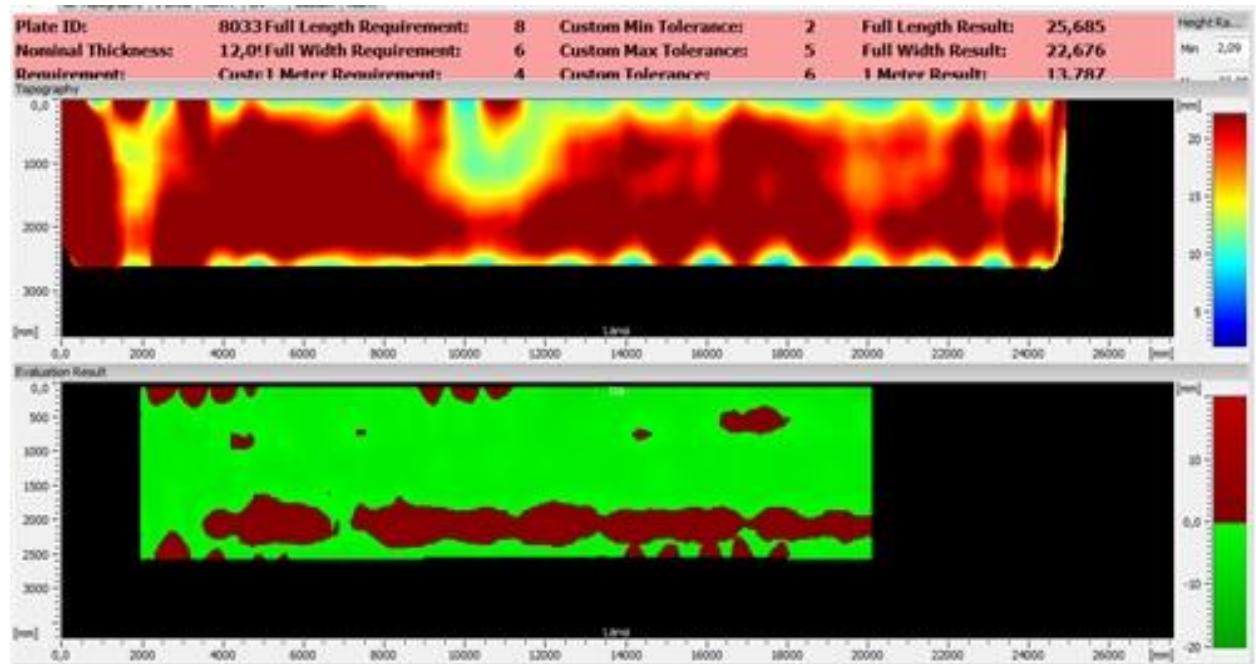
79623 262



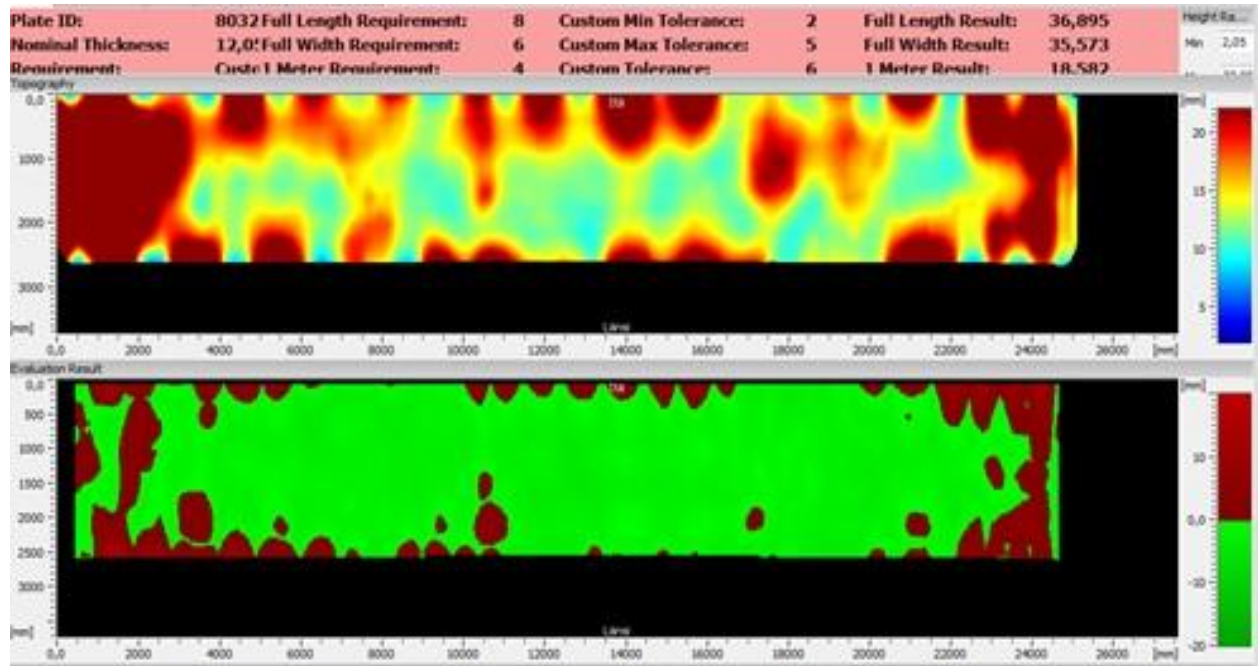
80040 037



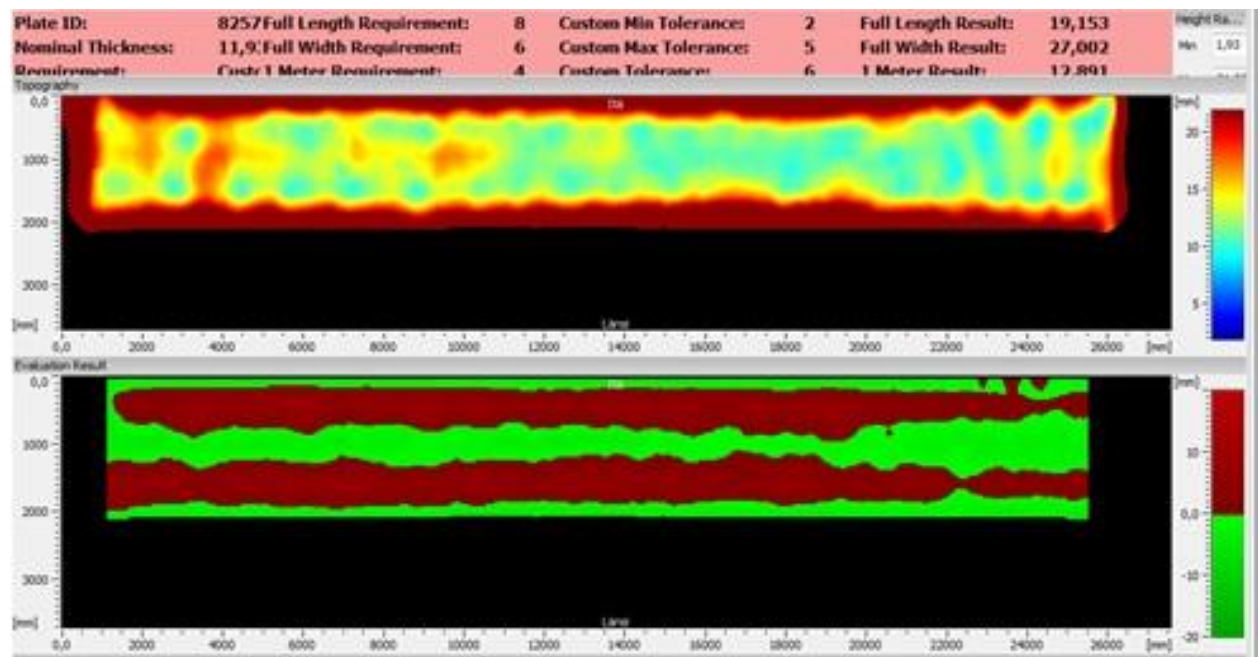
80331 021



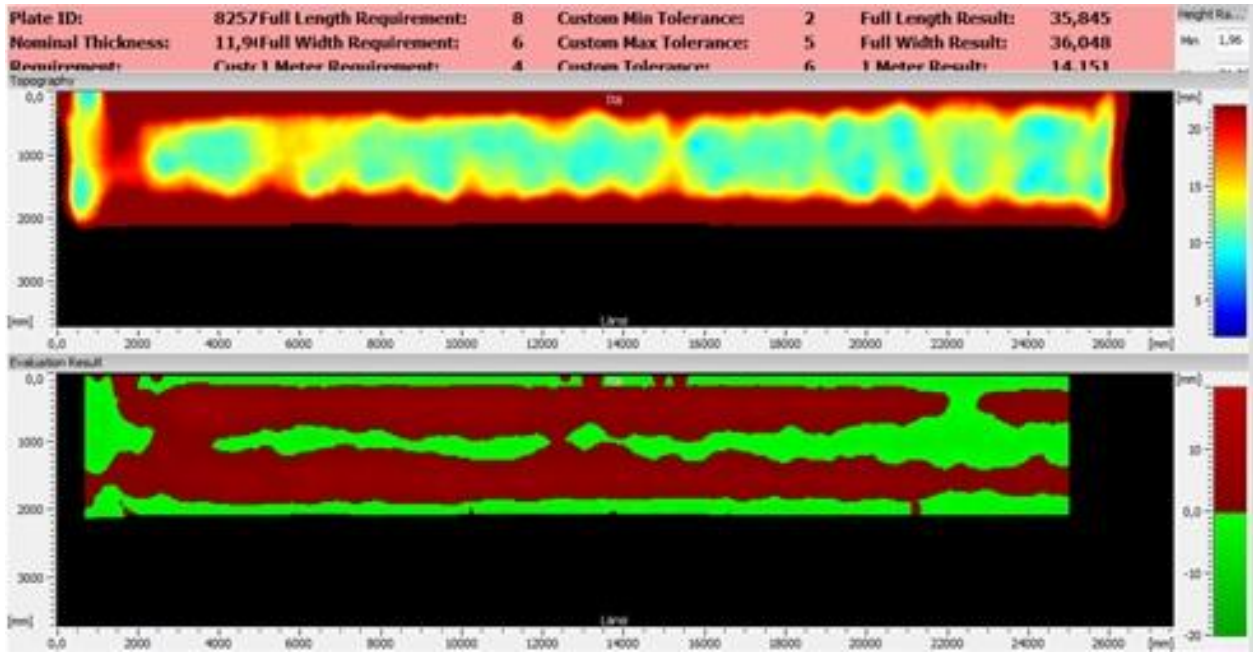
80327 044



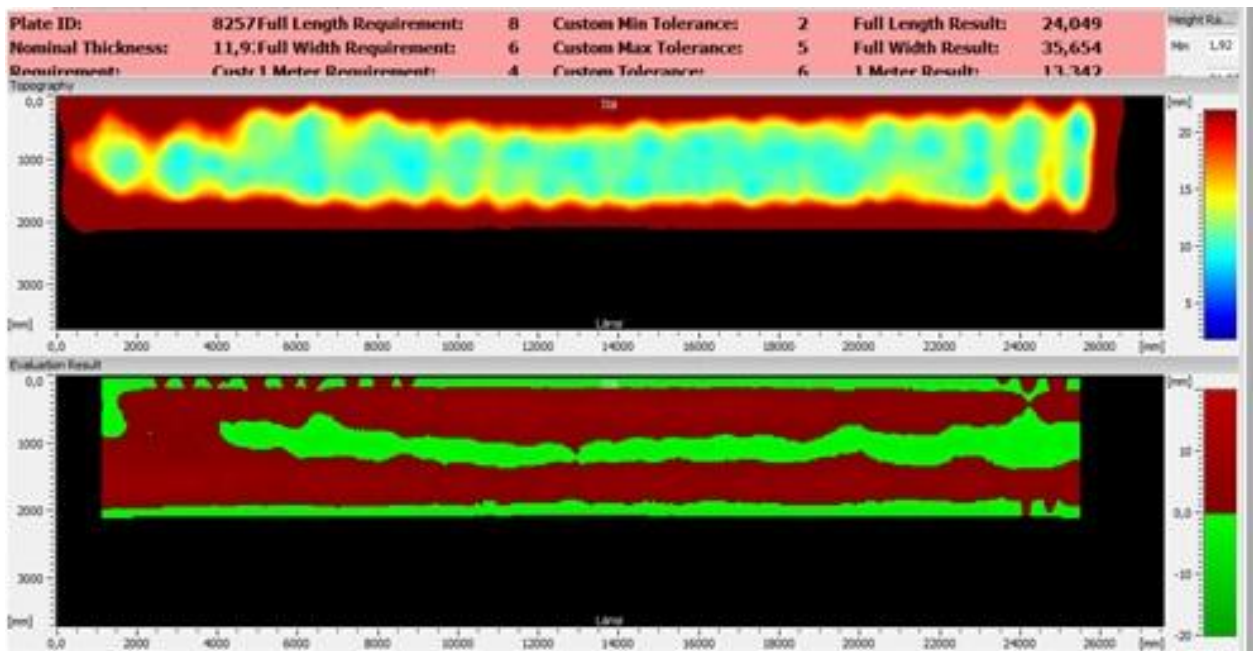
82576 055



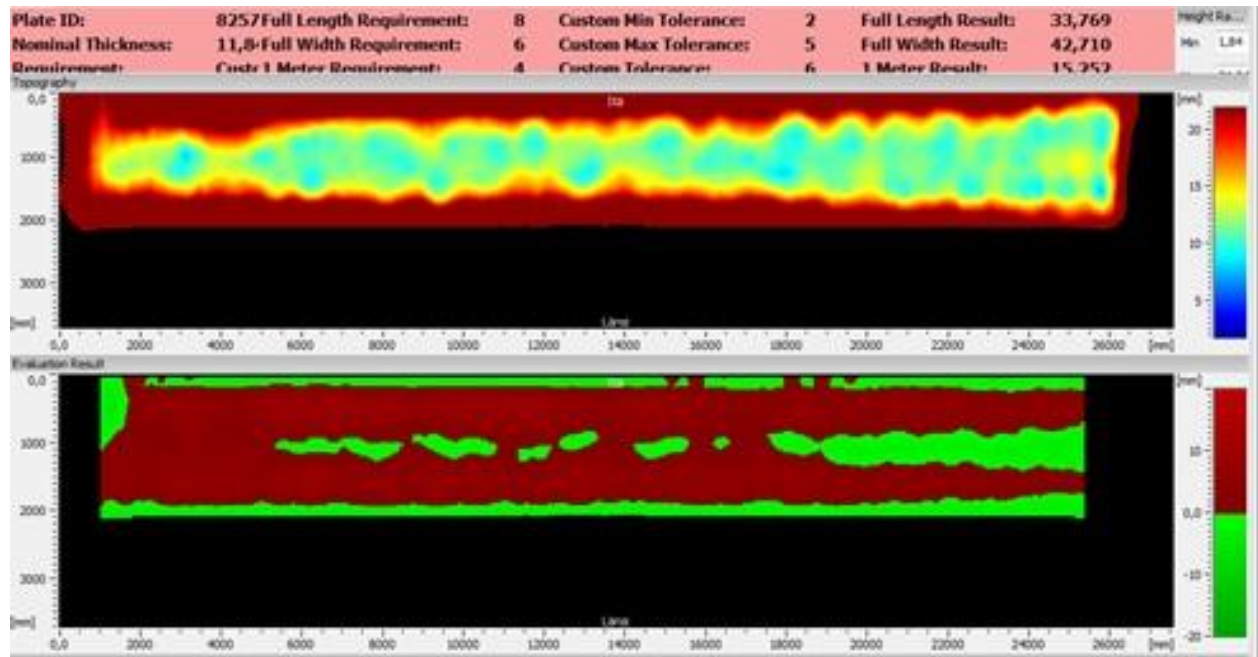
82576 054



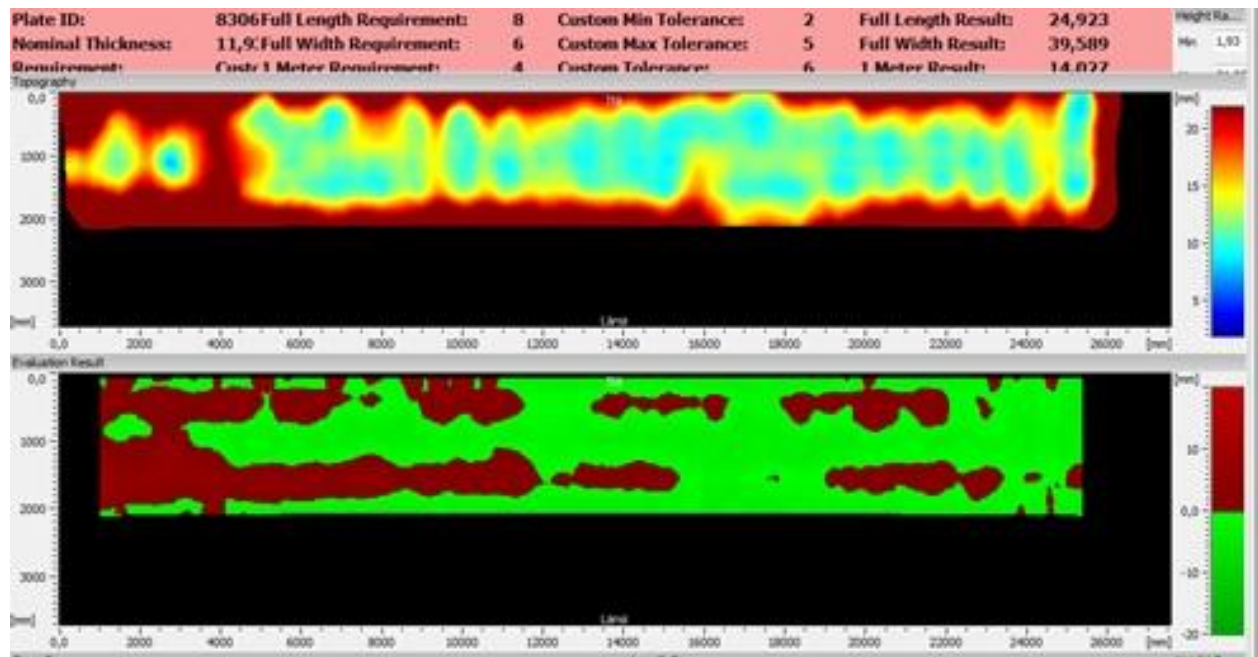
82576 053



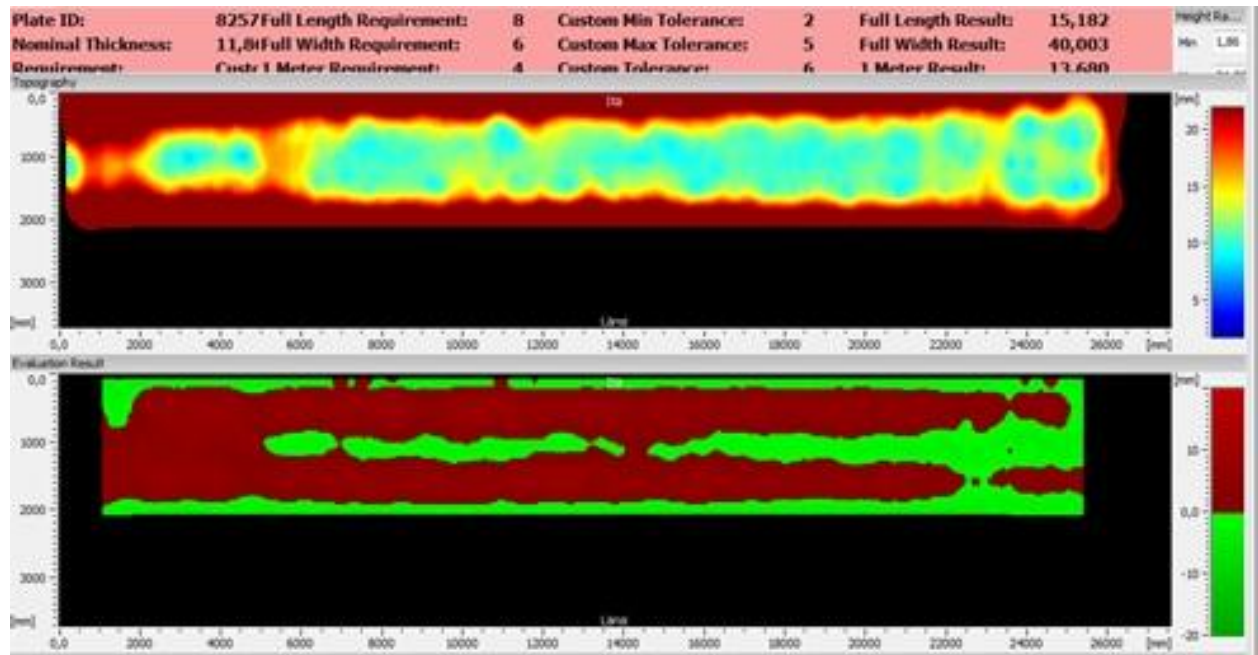
82576 052



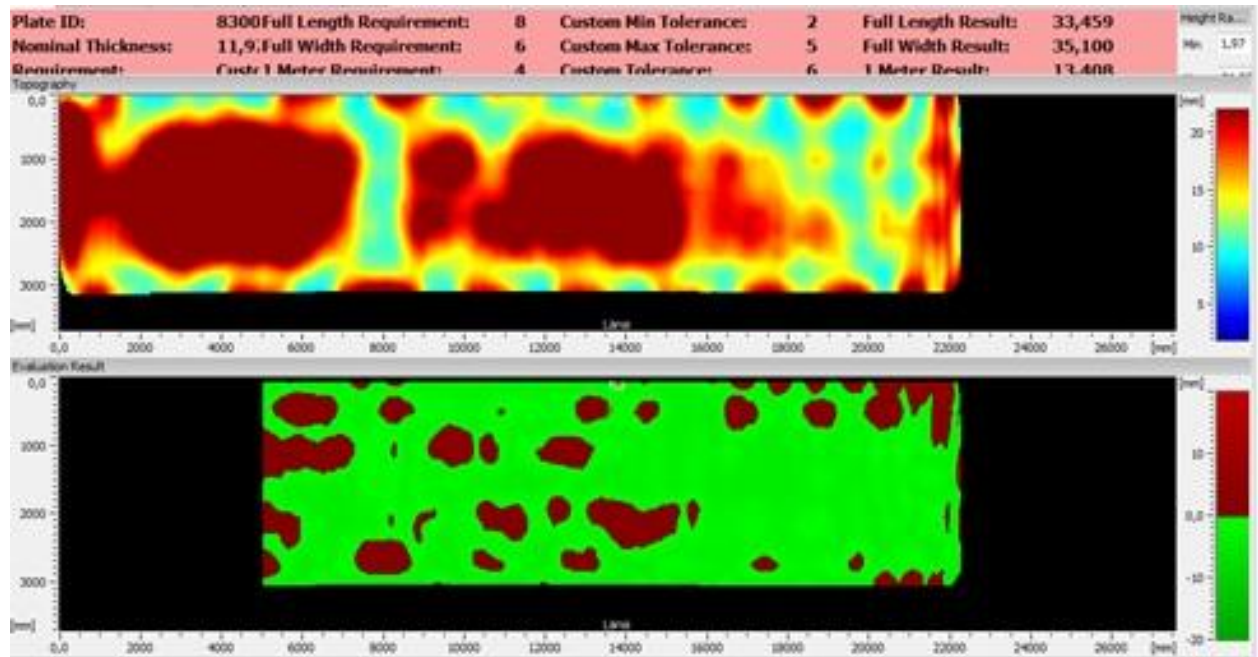
83060 019



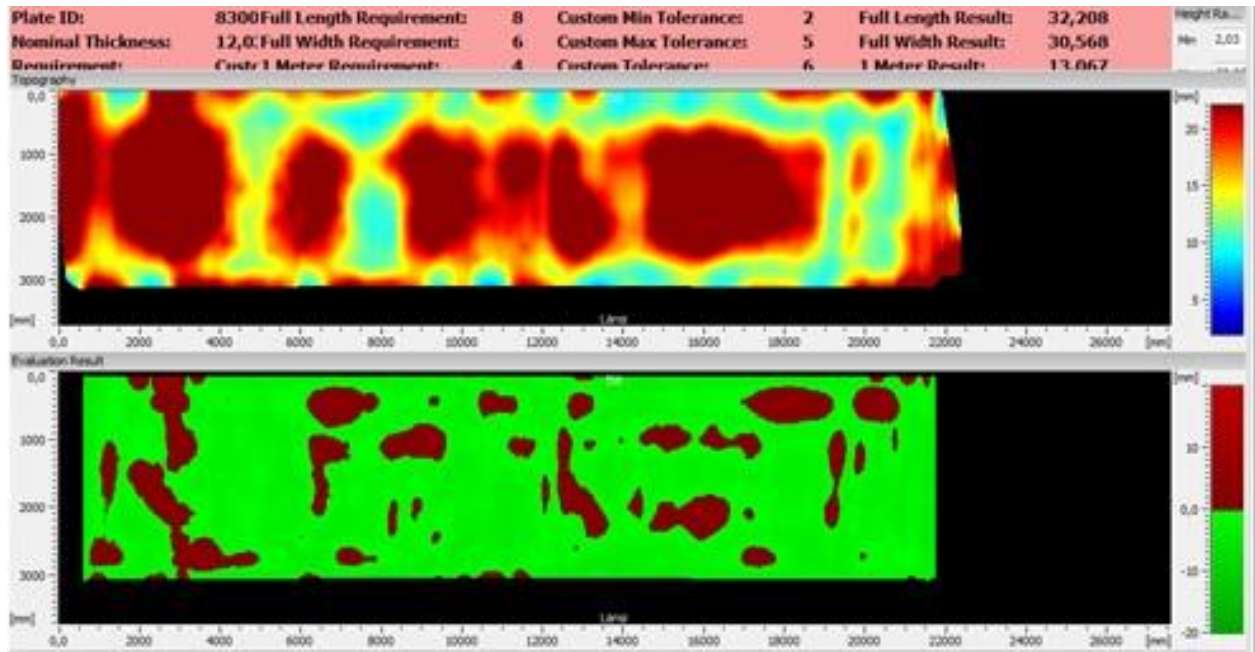
82576 051



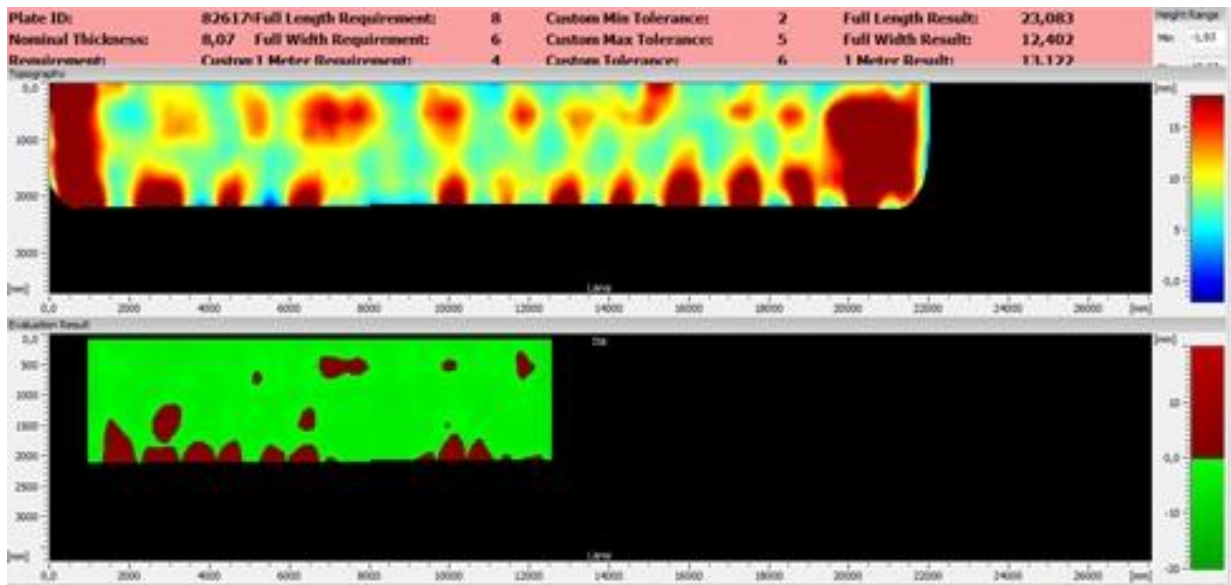
83002 013



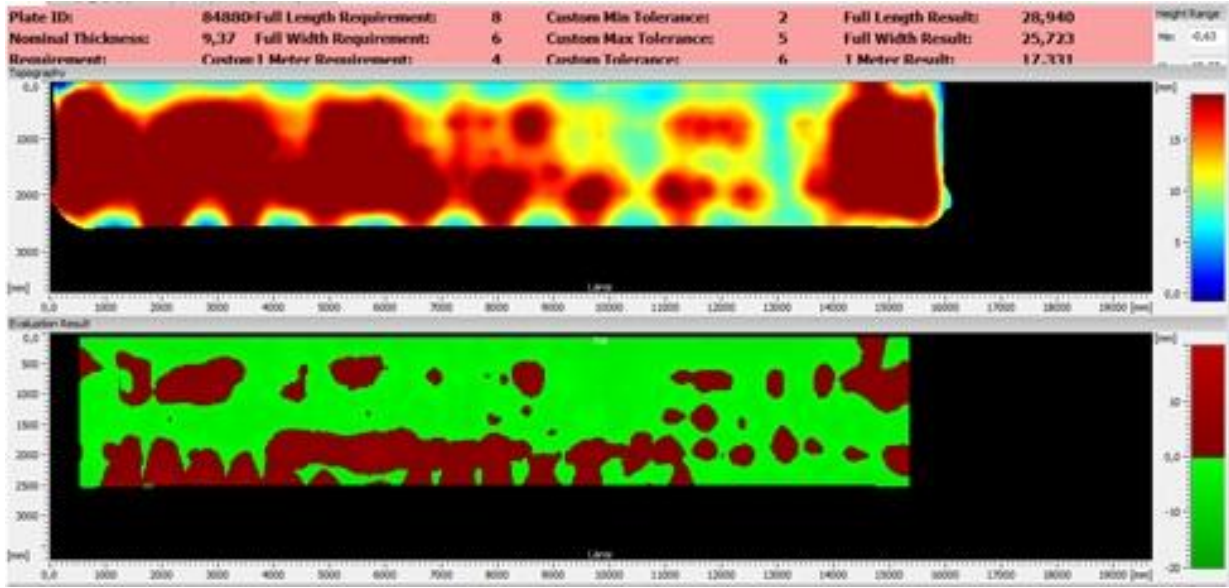
83001 045



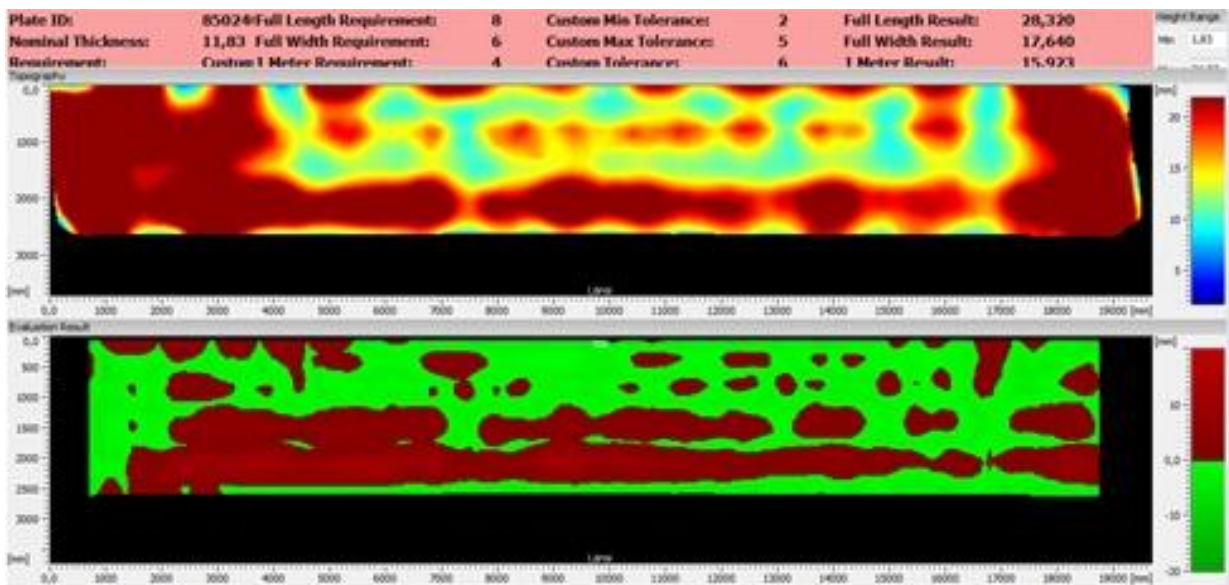
82617 019



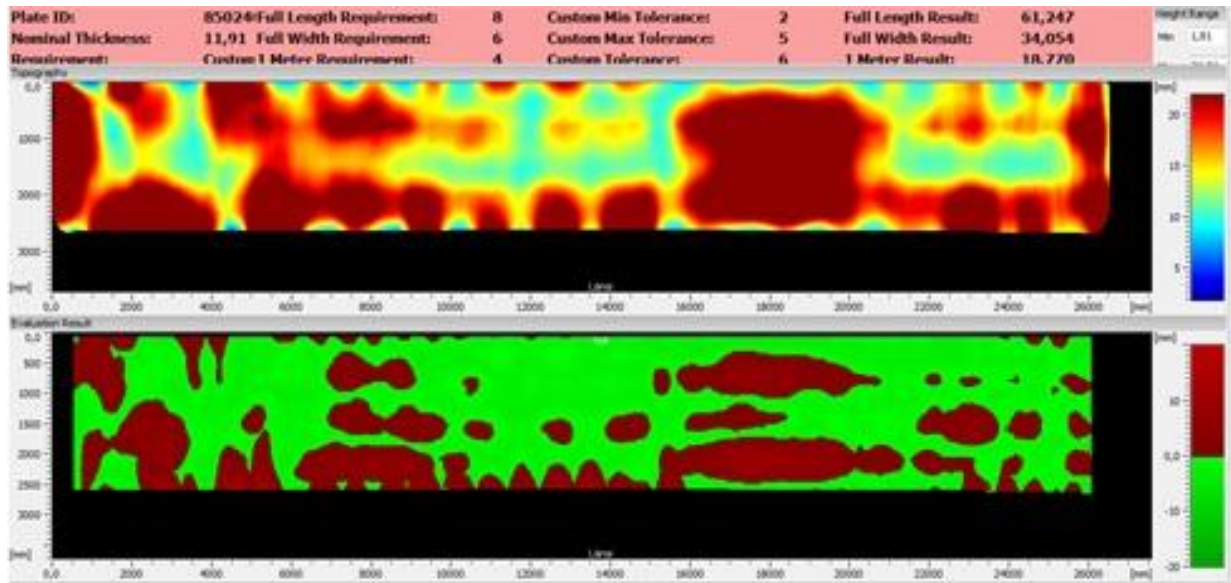
84880 034



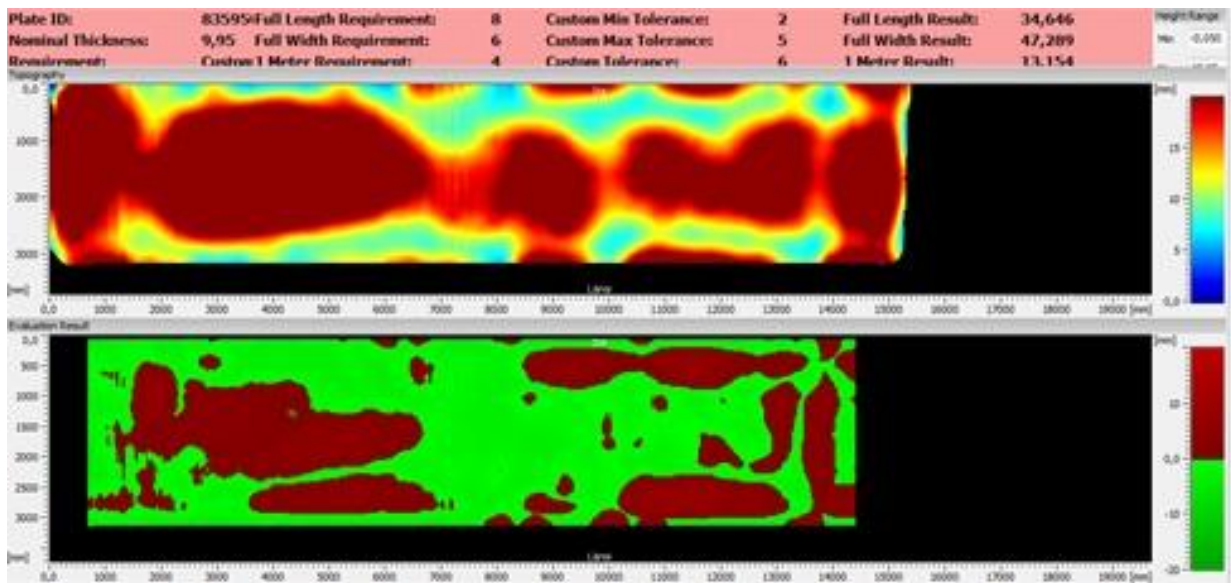
85024 022



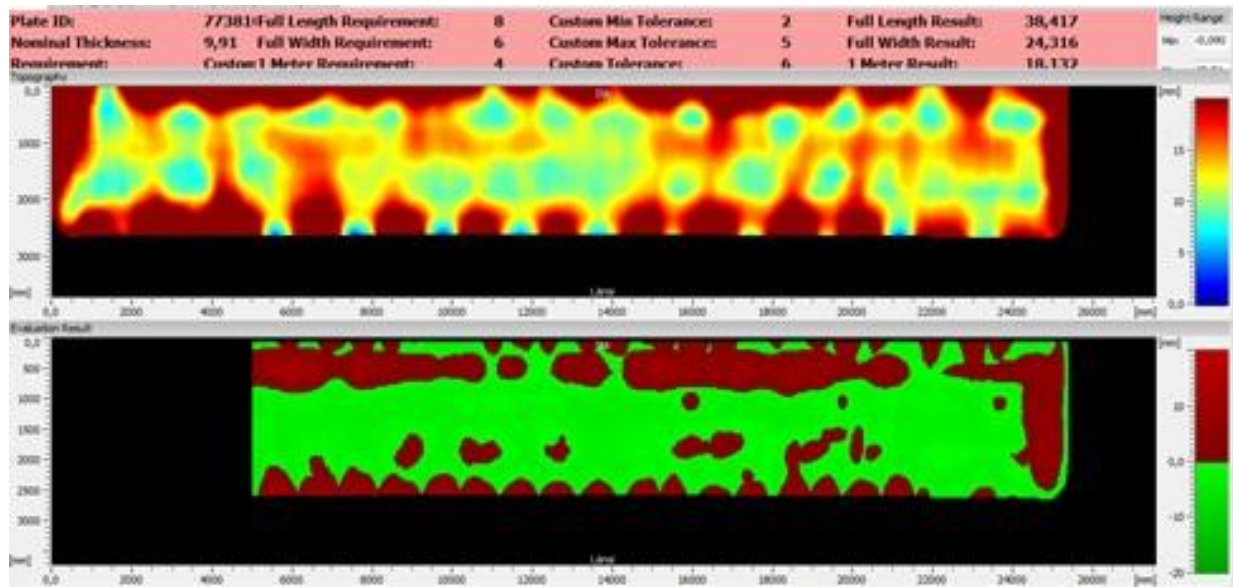
85024 015



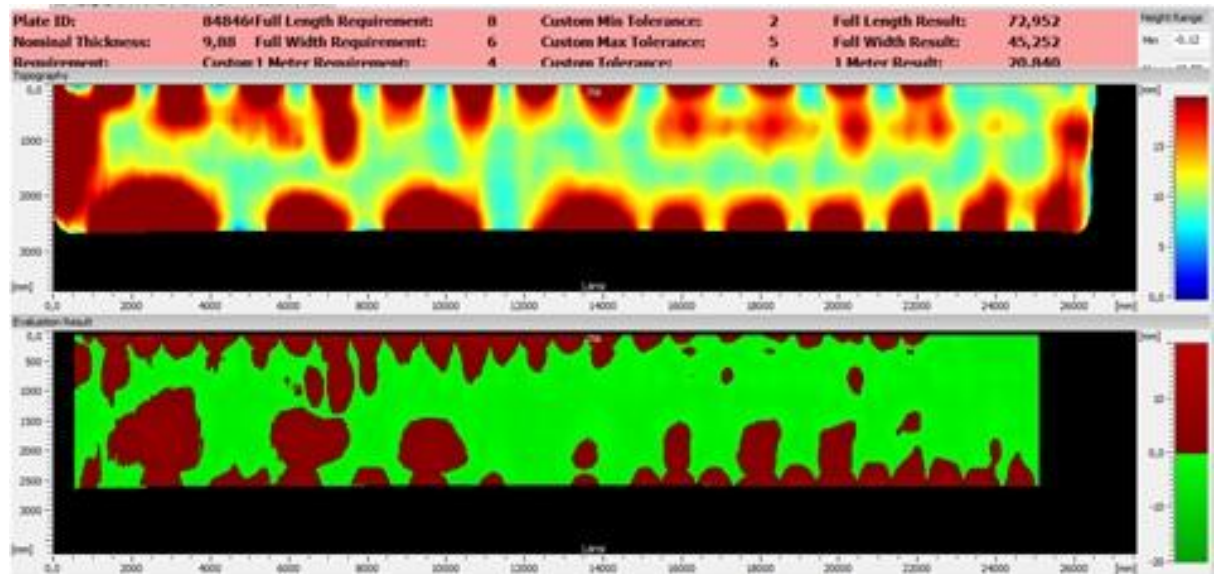
83595 021



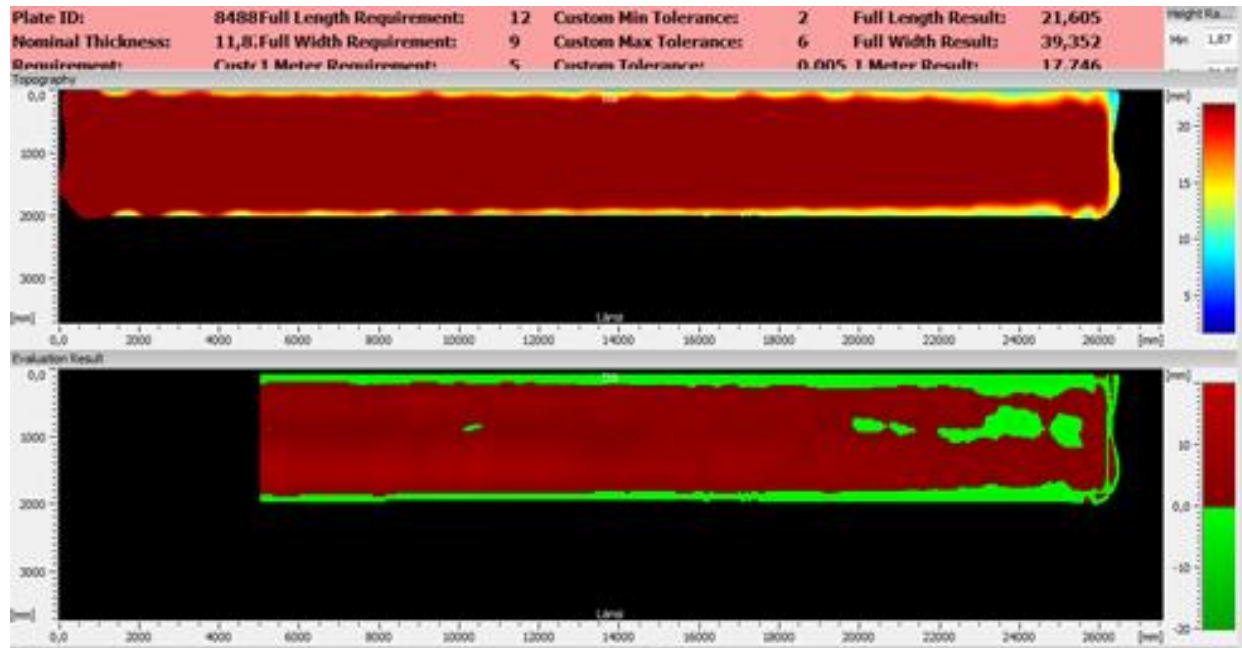
77381 031



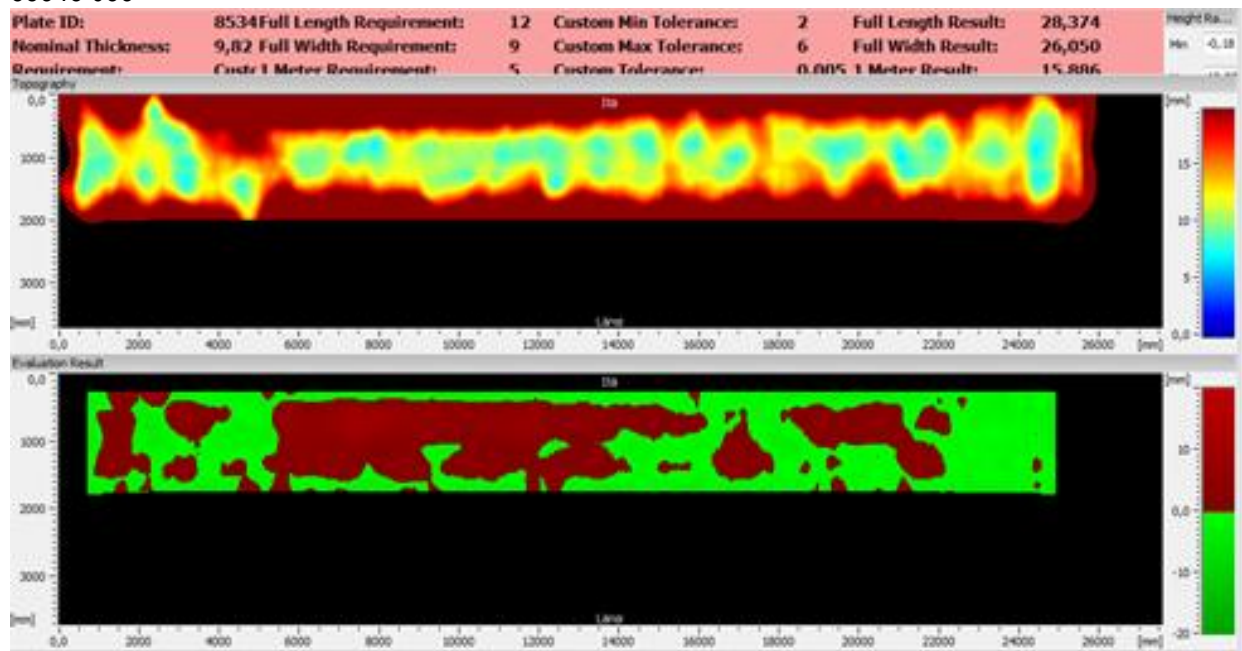
84846 036



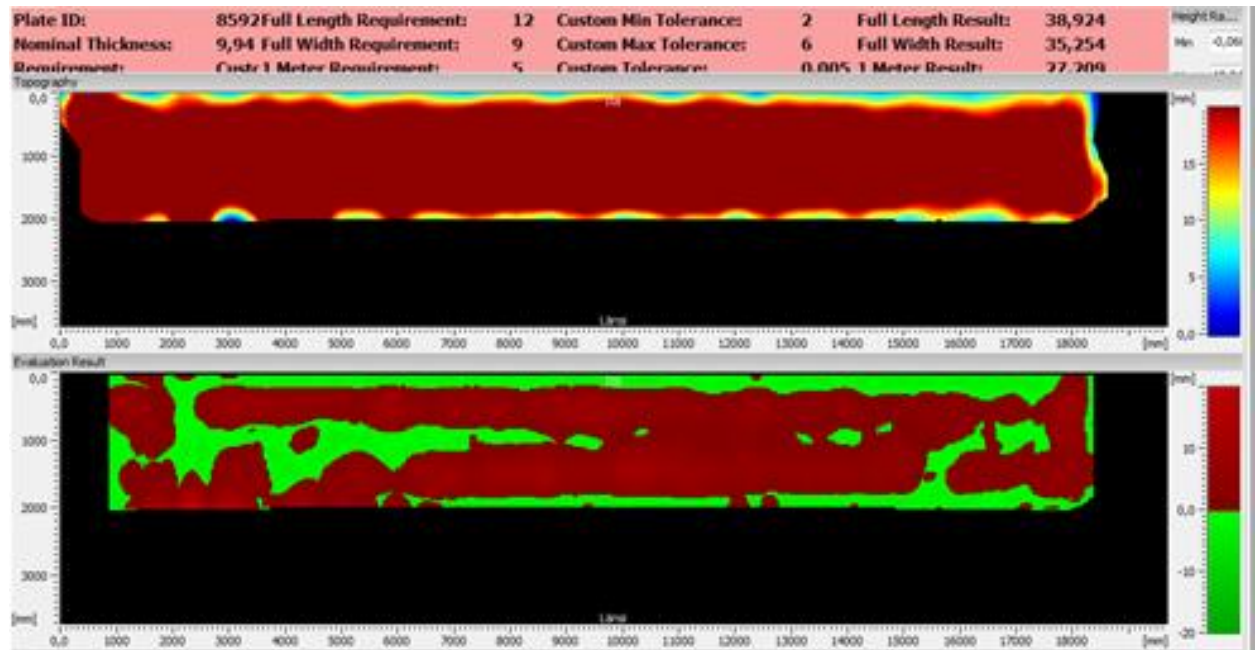
84880 025



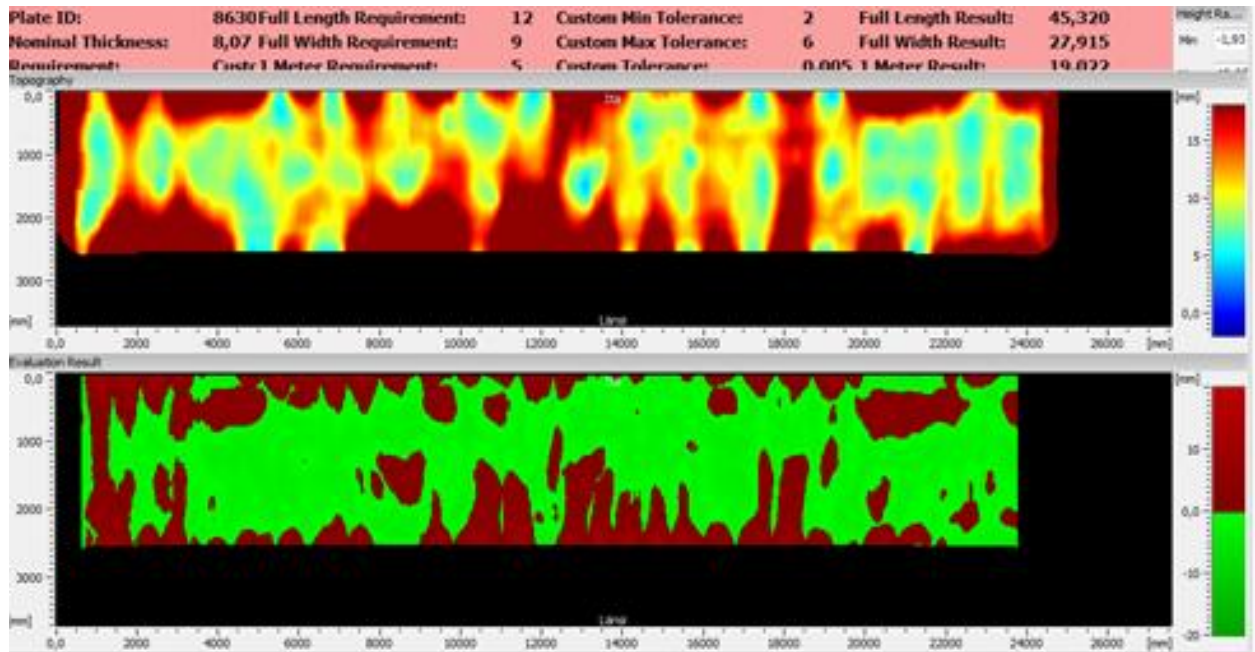
85348 033



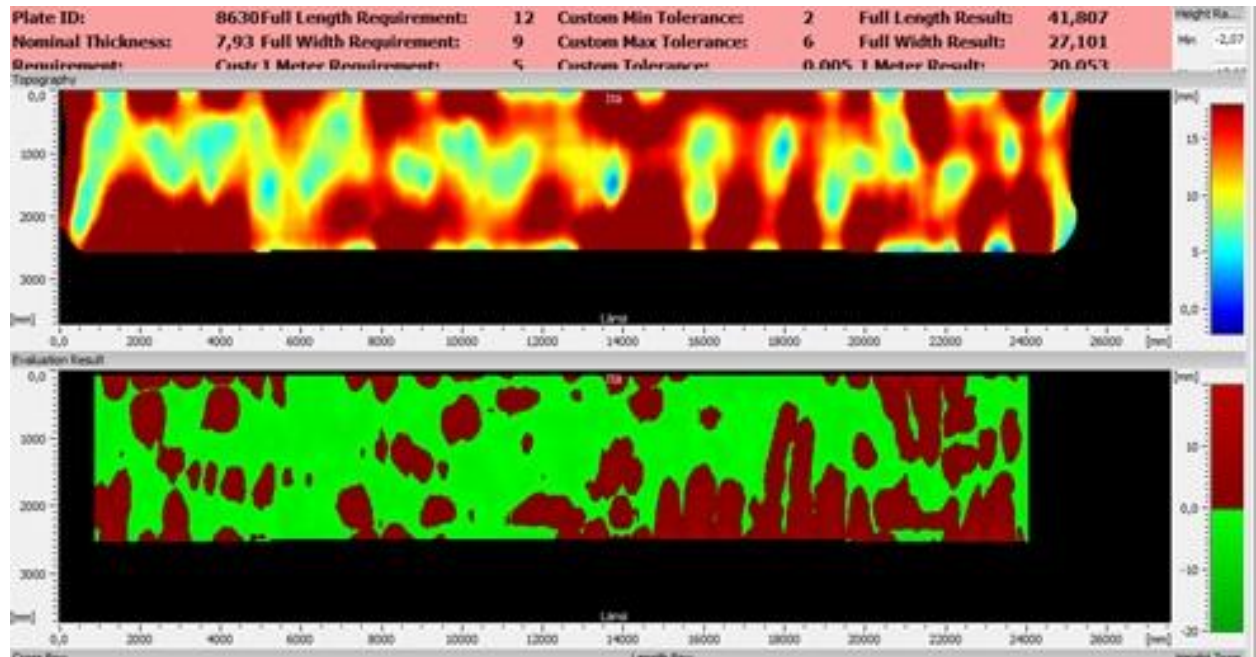
85924 044



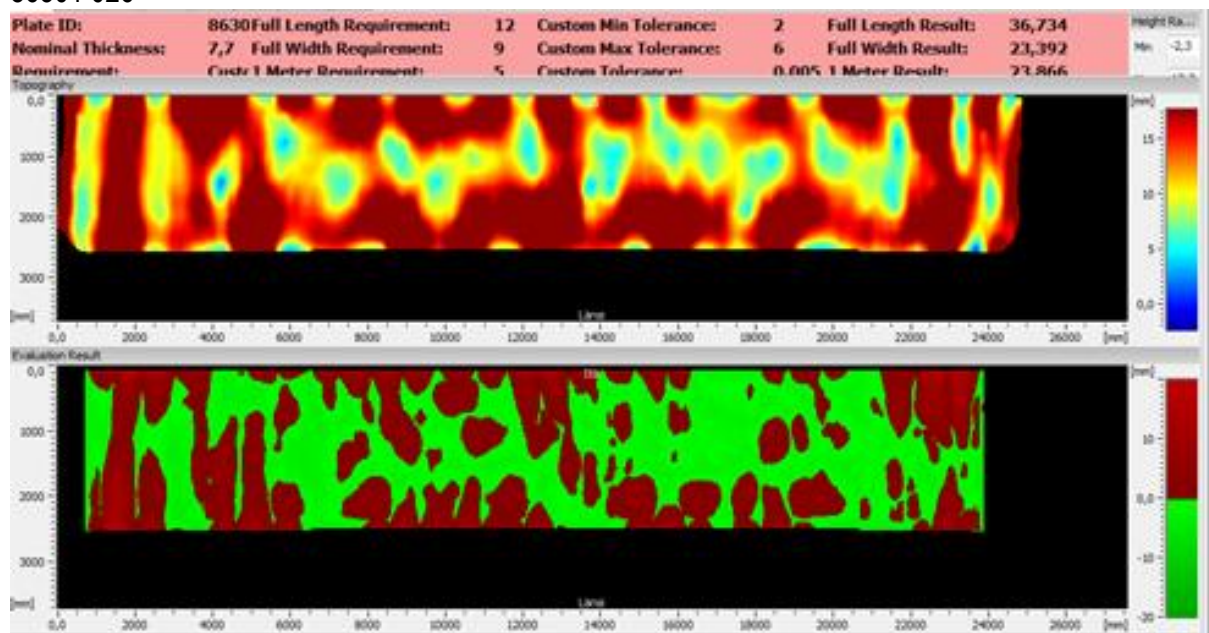
86301 023



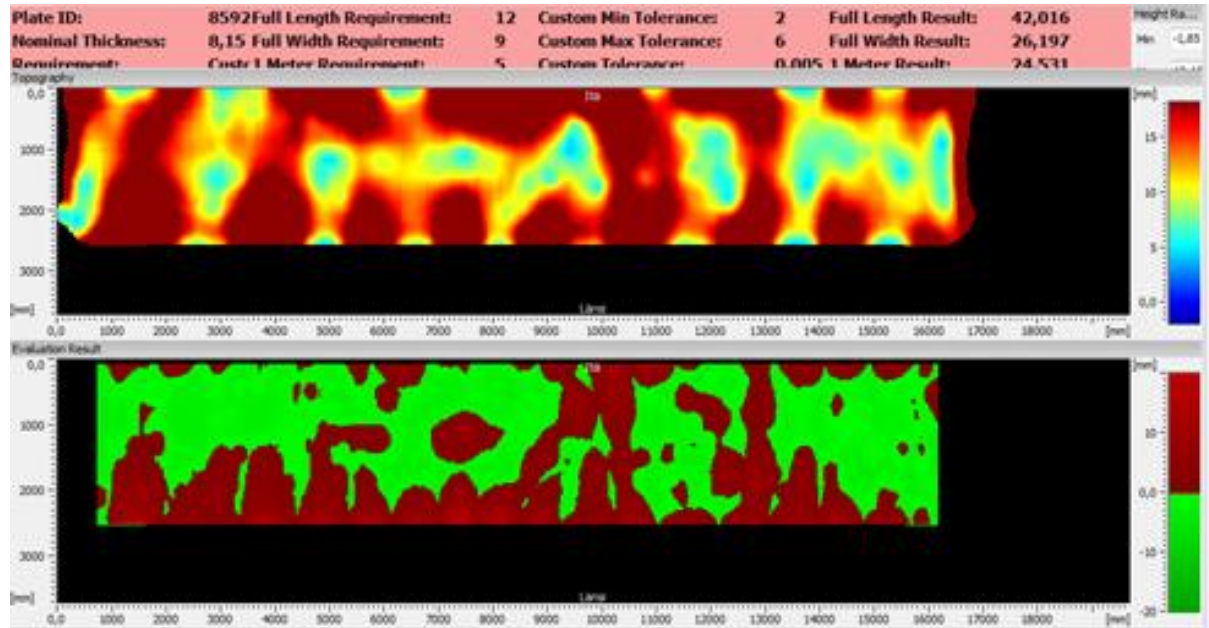
86301 024



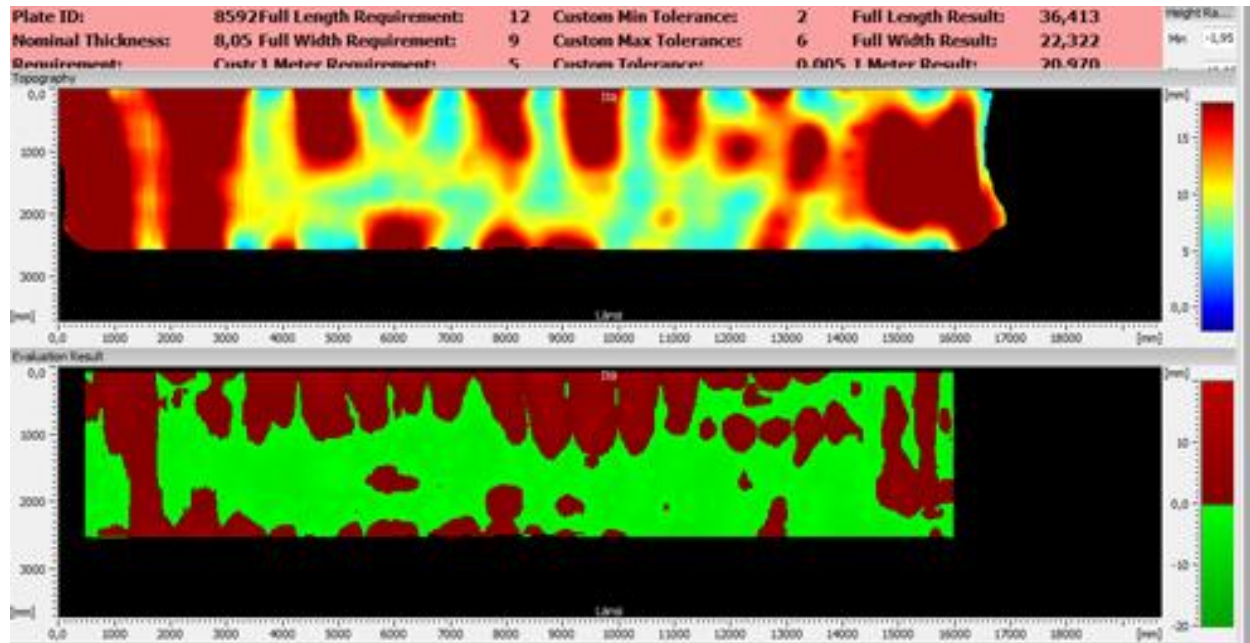
86301 026



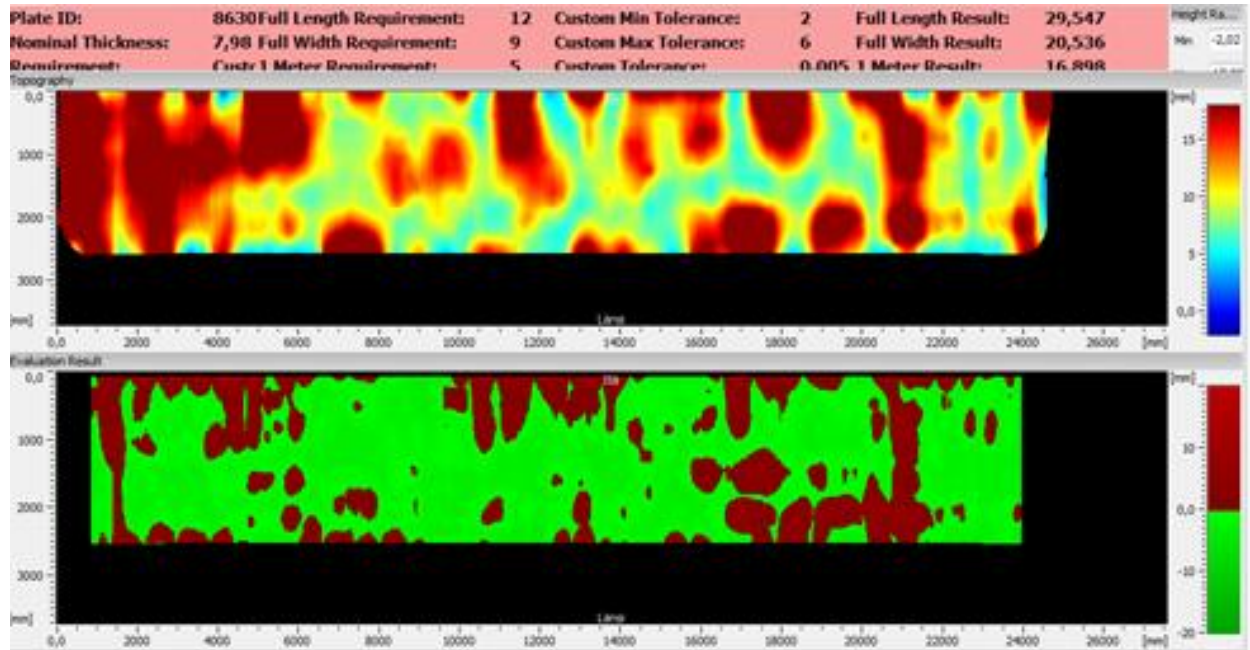
85927 037



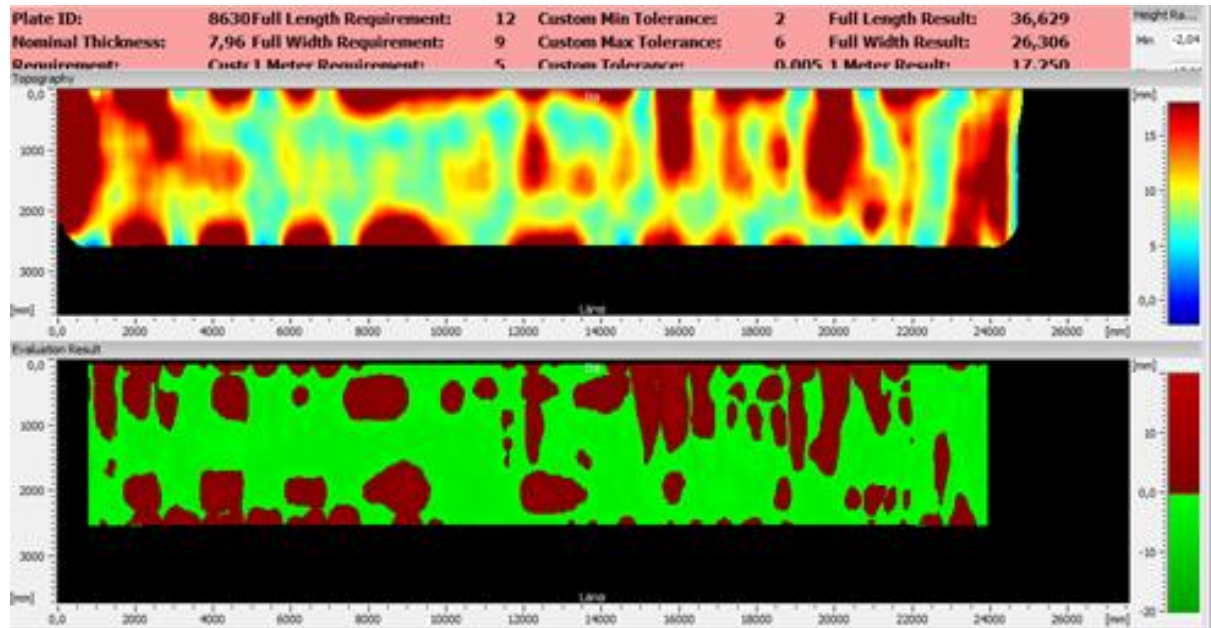
85928 033



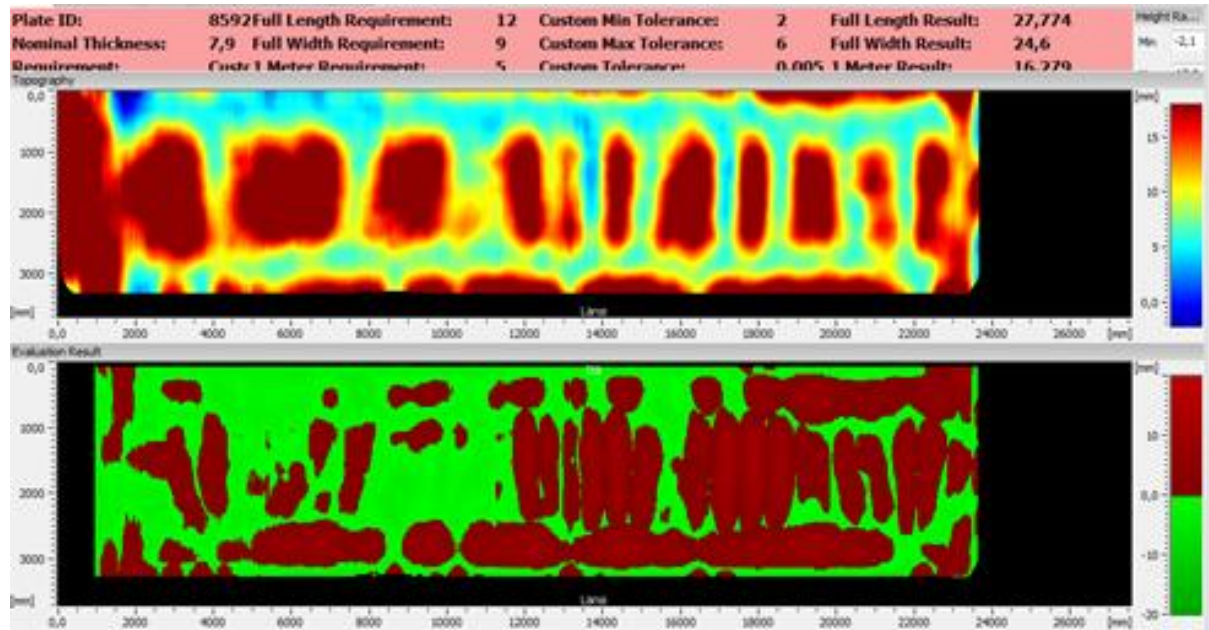
86301 027



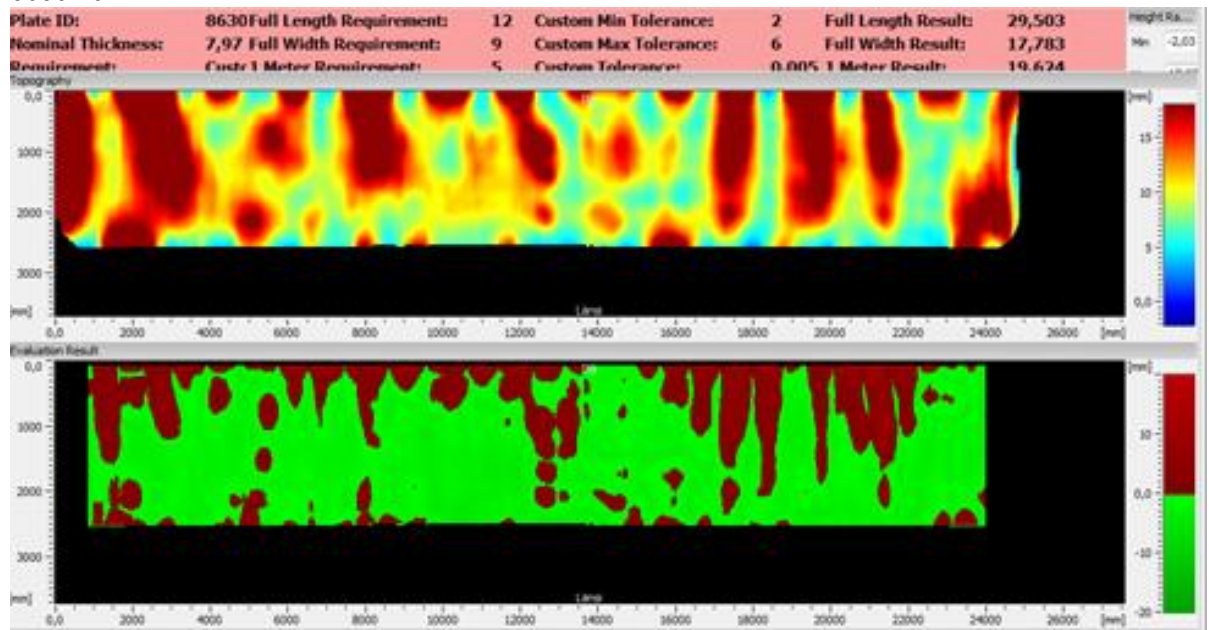
86301 021



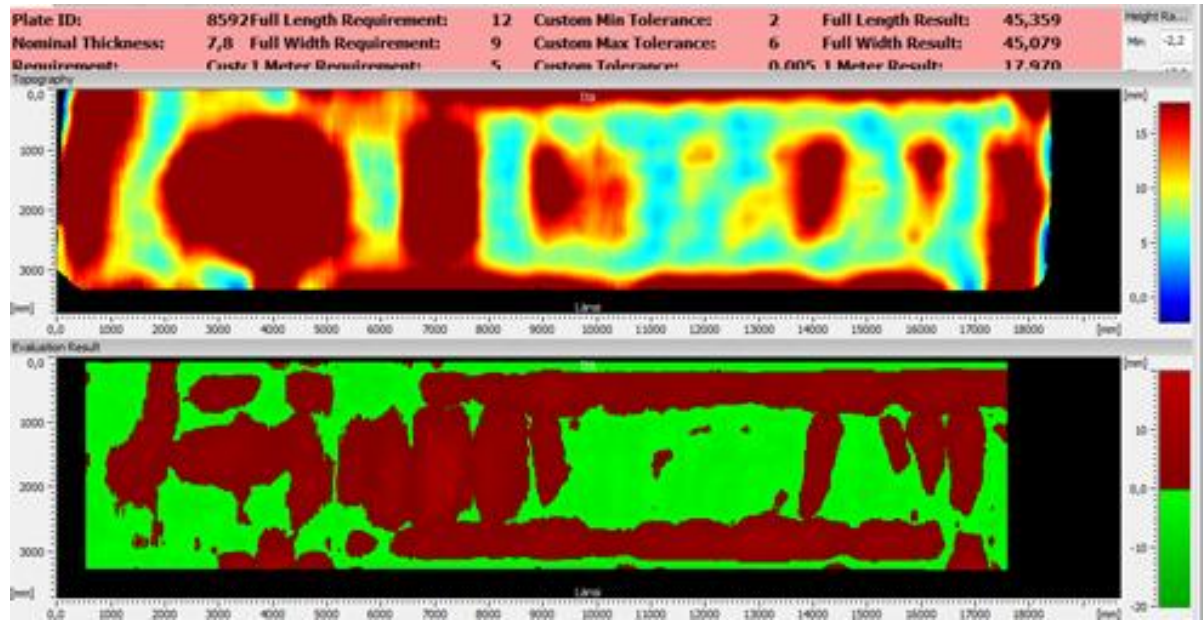
85927 048



86301 022

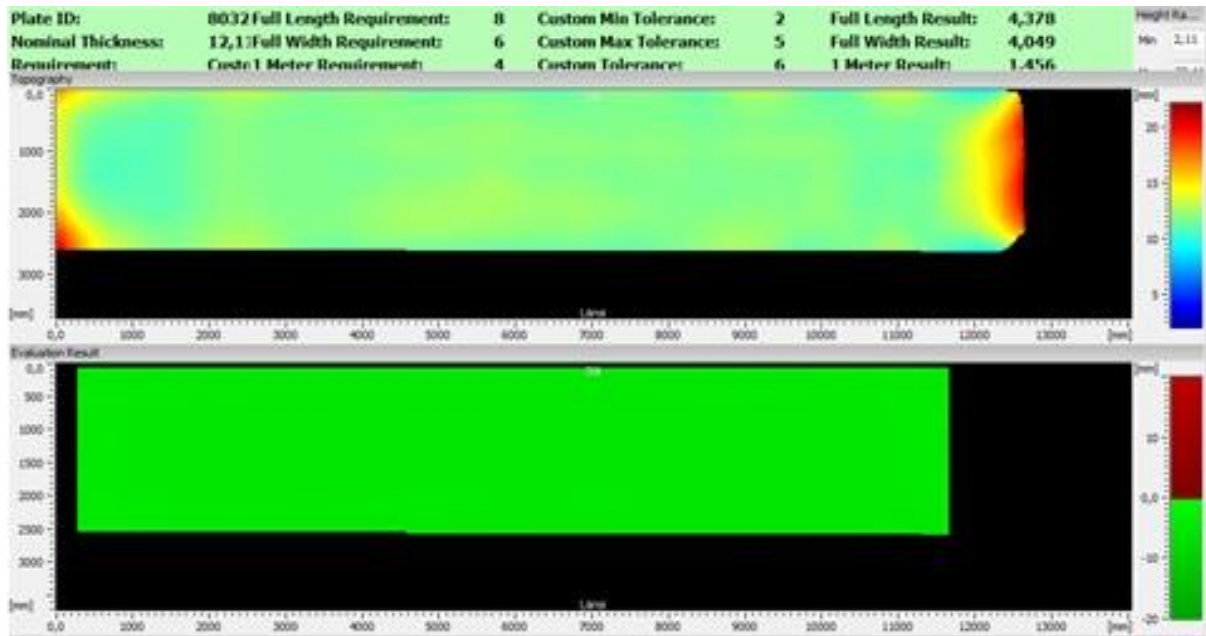


85927 049

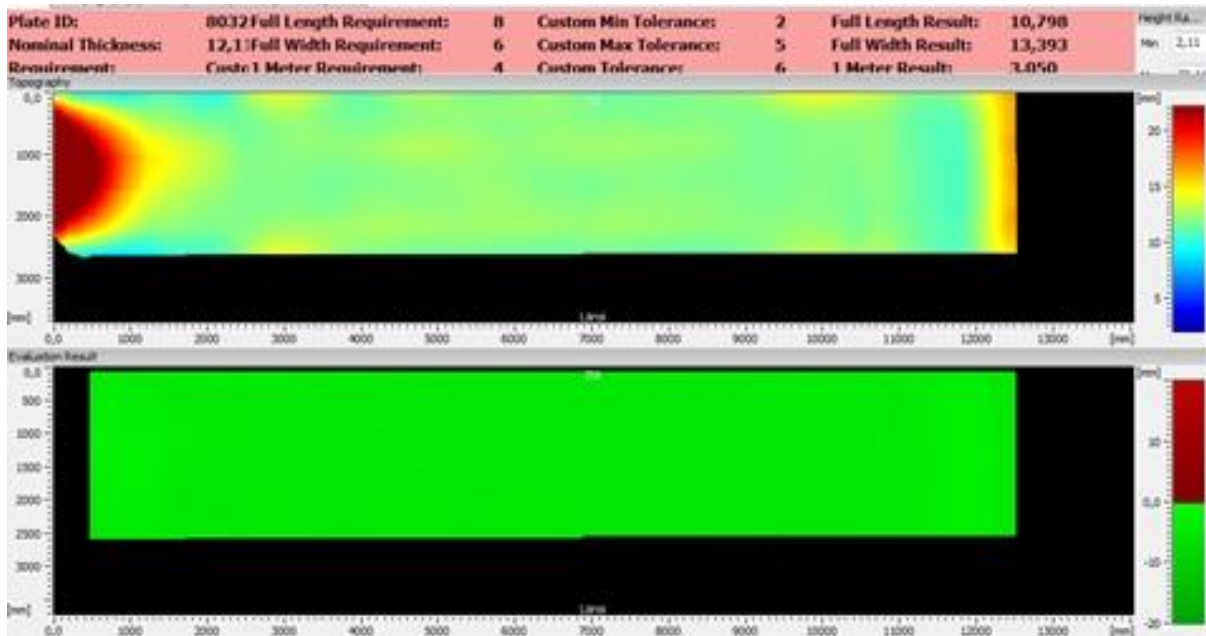


Esoikaisun jälkeen kylmäoikaistujen testilevyjen Shapeline- mittaustulokset

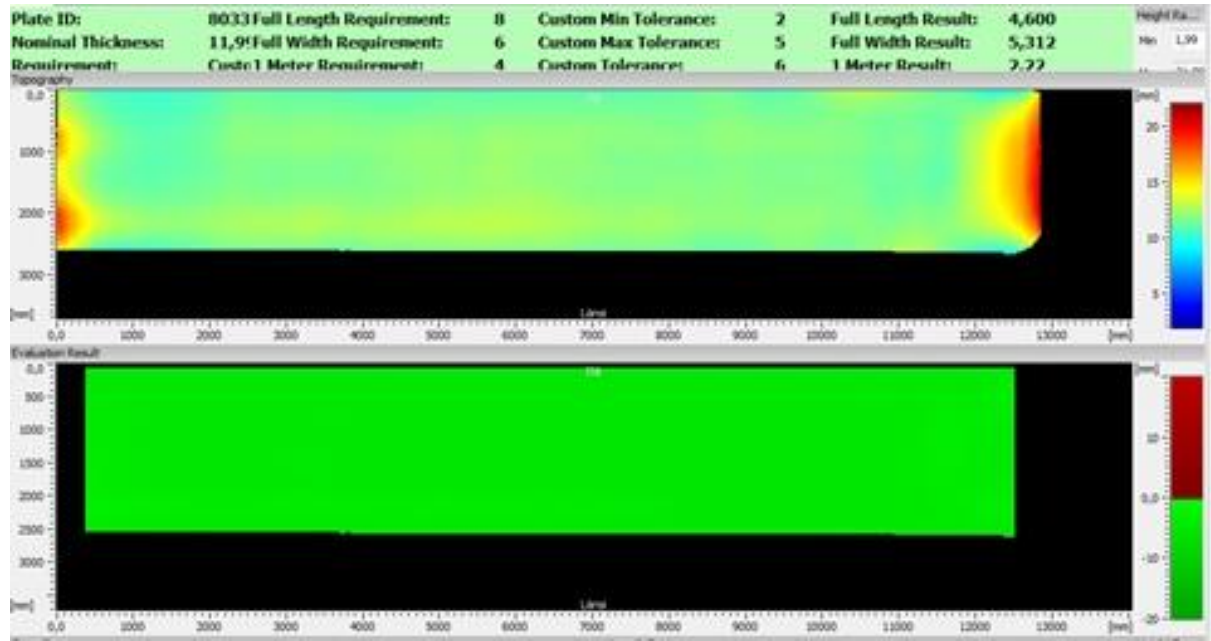
80327 041D



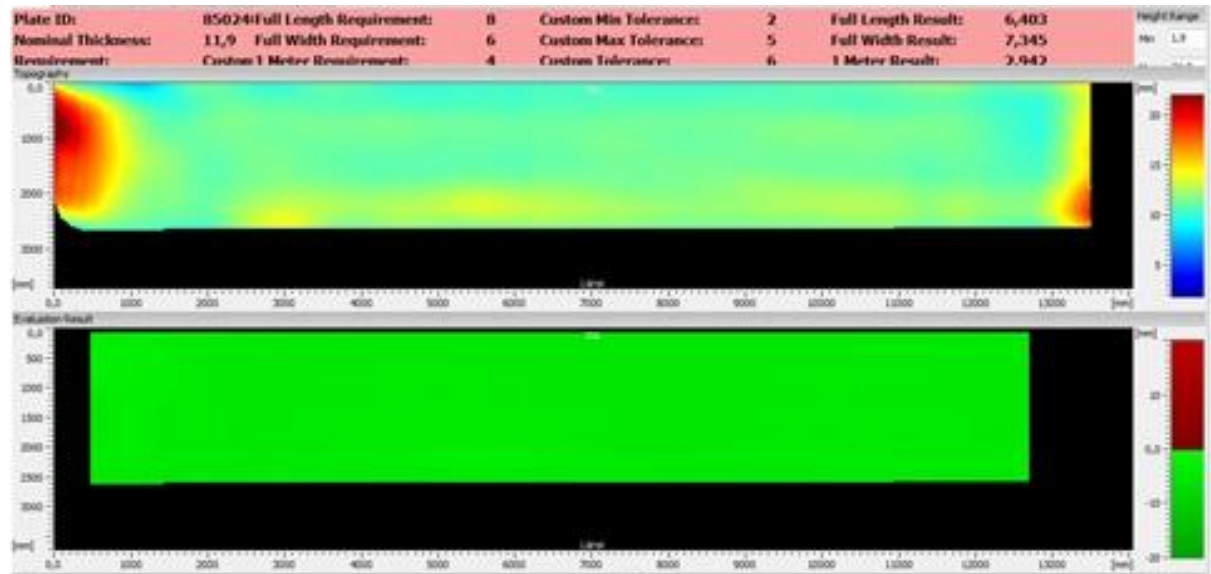
80327 041E



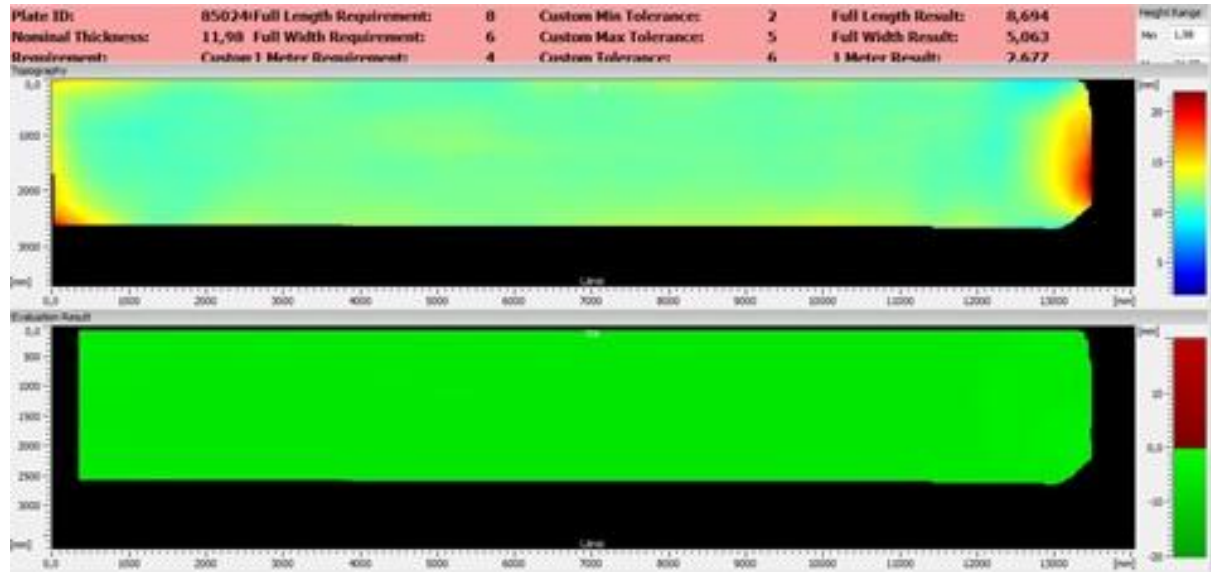
80331 024D



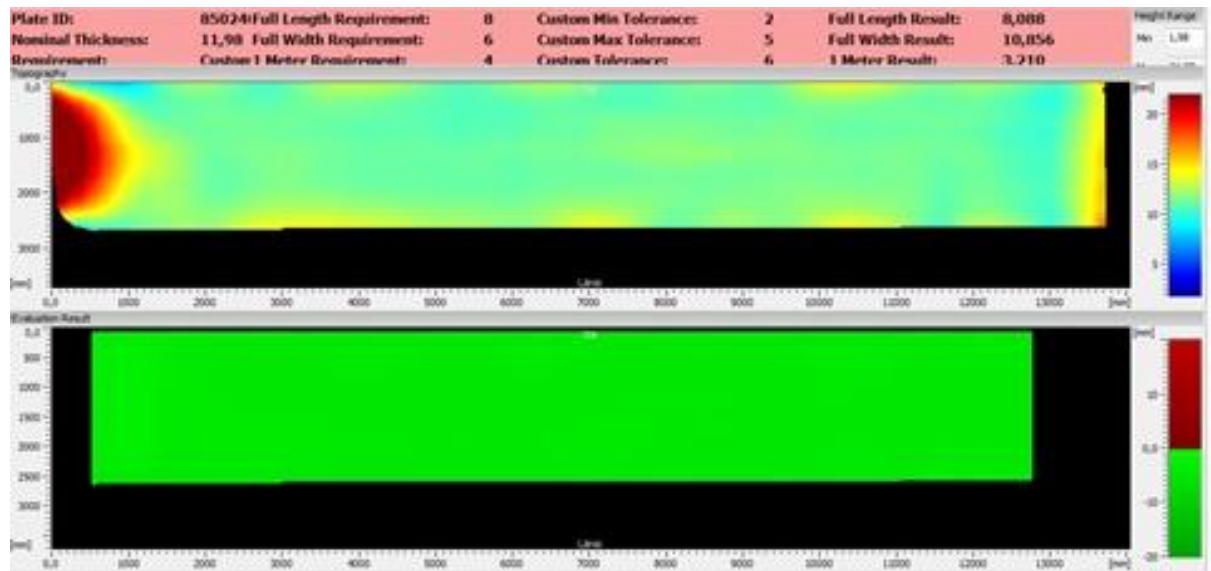
85024 013



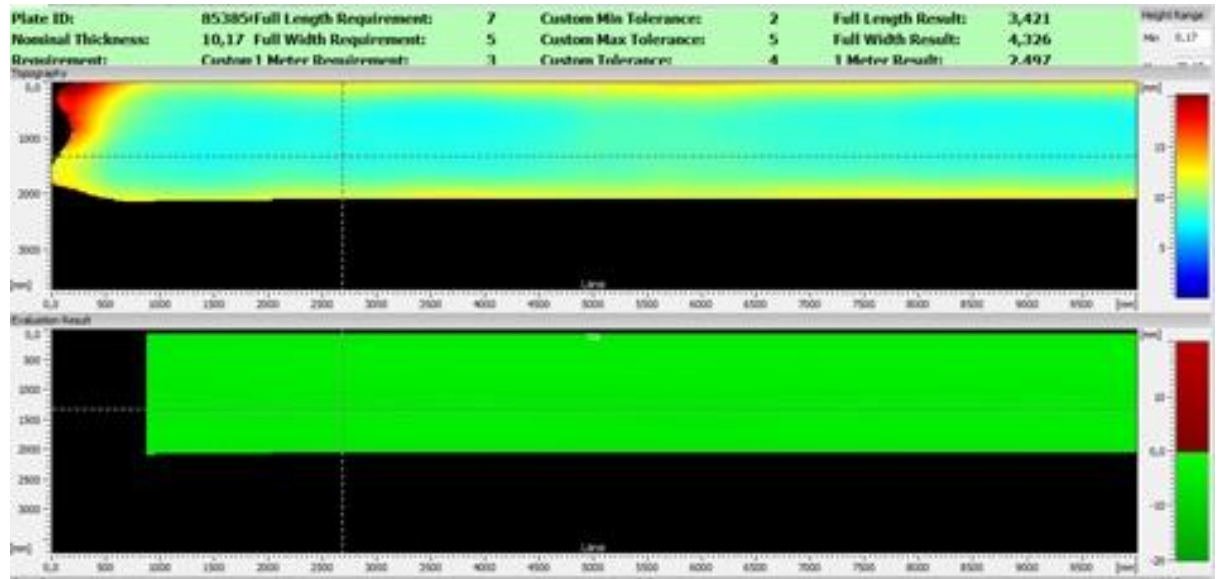
85024 011D



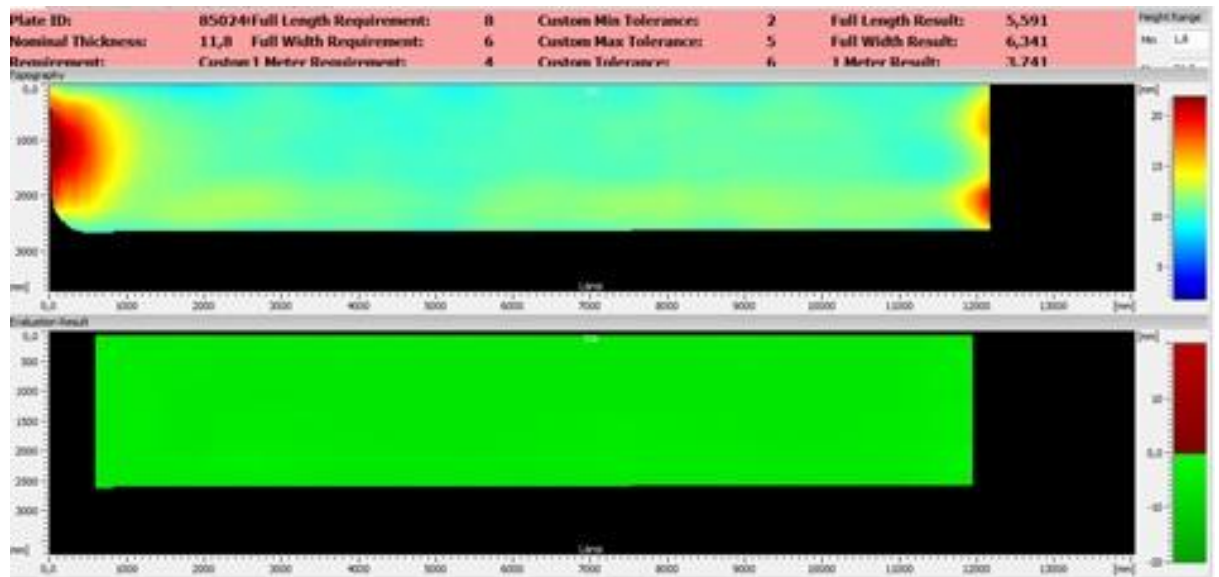
85024 011E



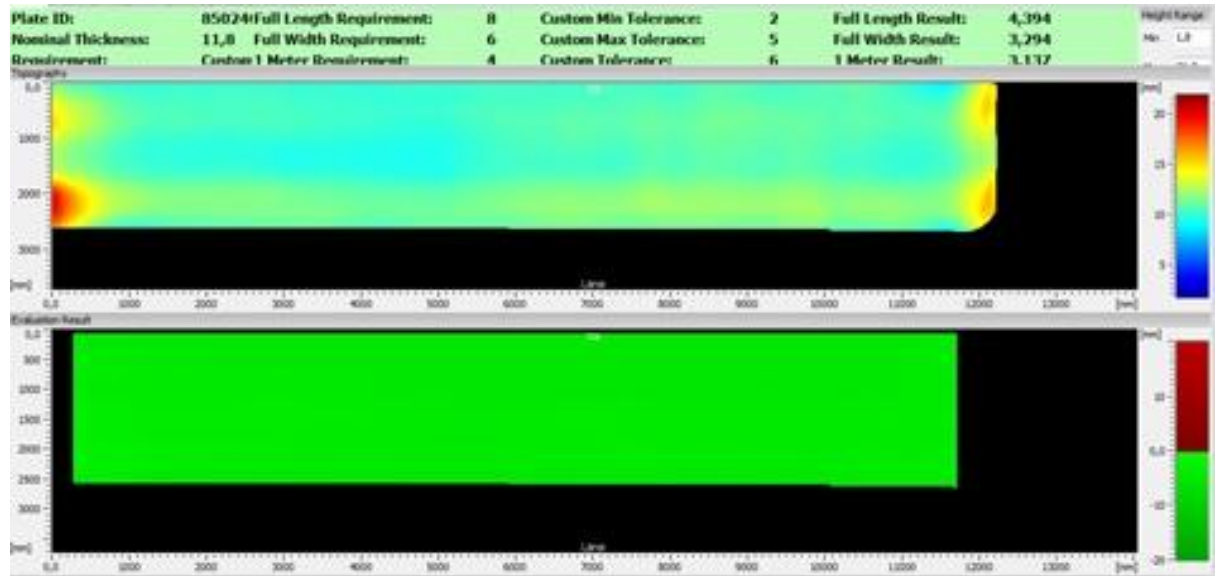
85385 036



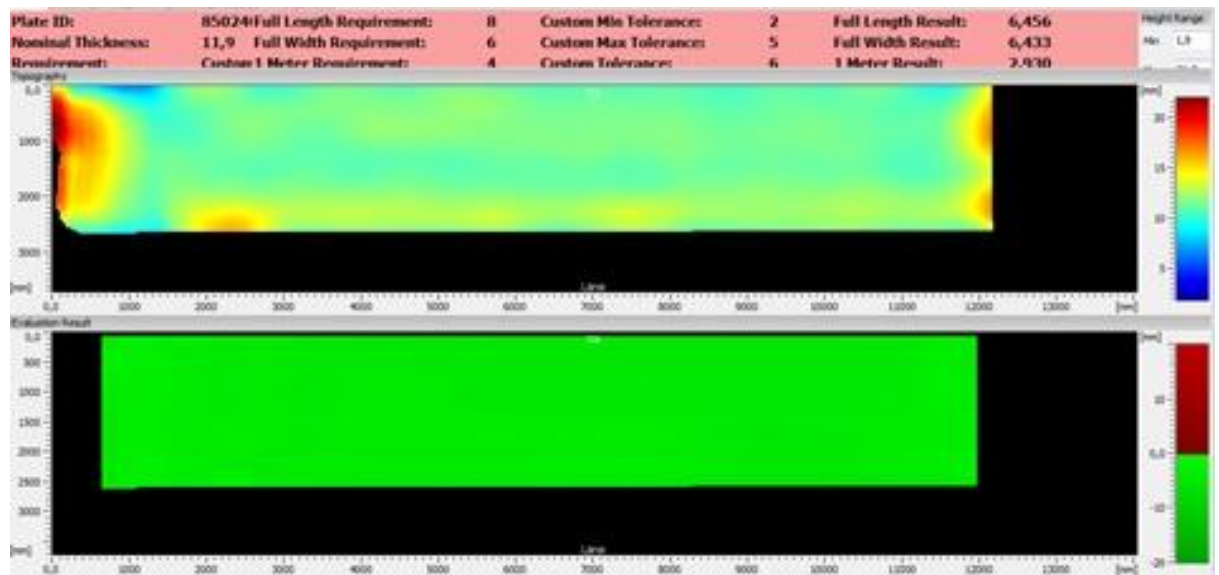
85024 024D



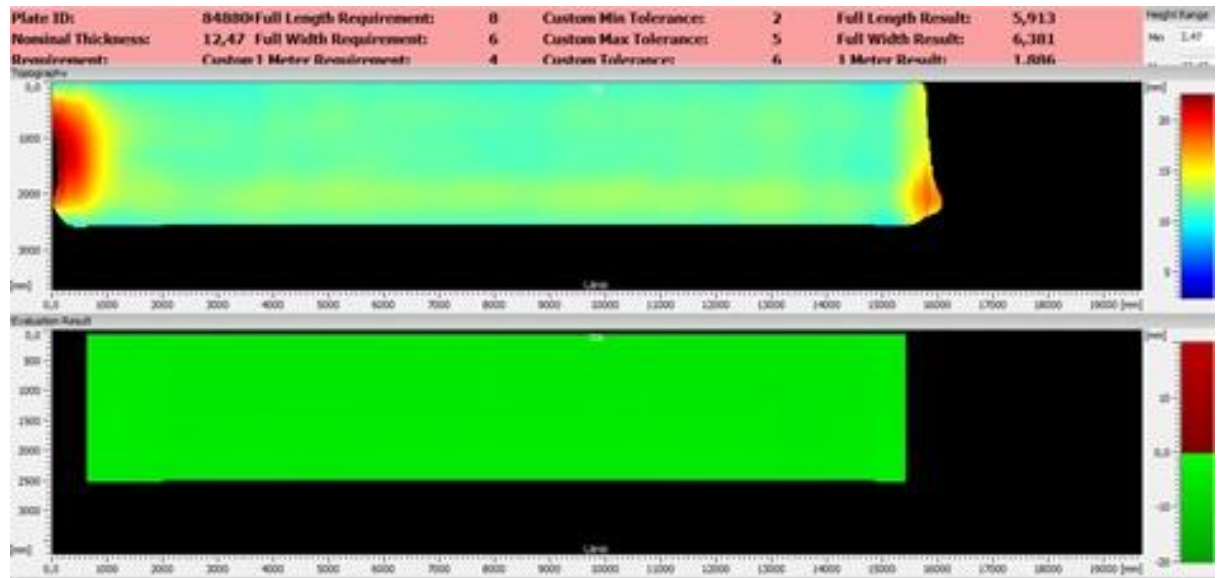
85024 024E



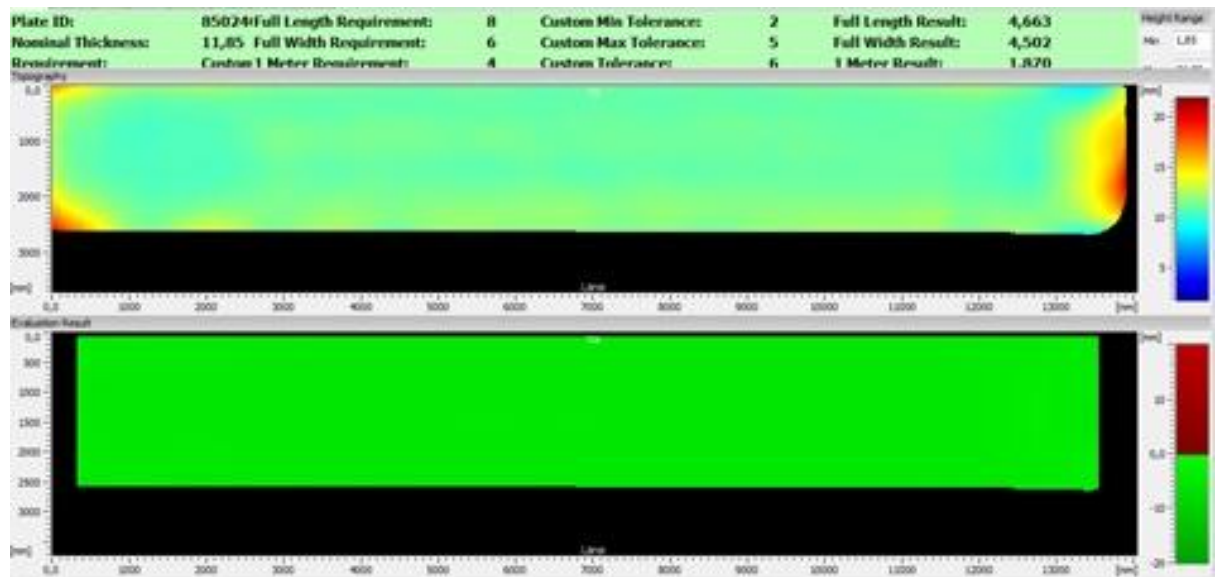
85024 025



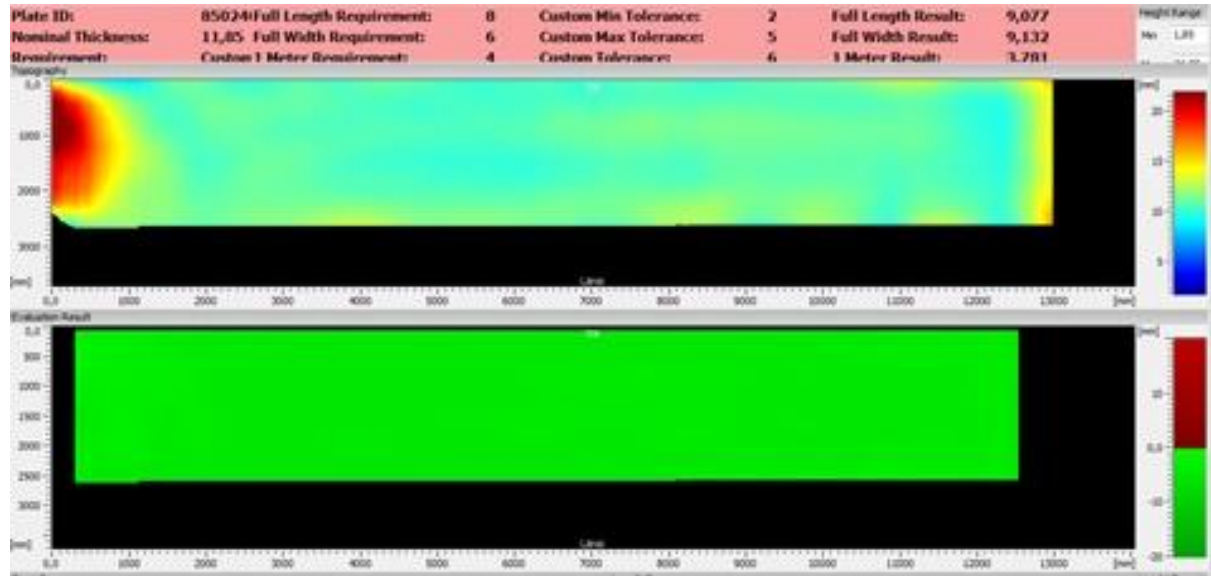
84880 033



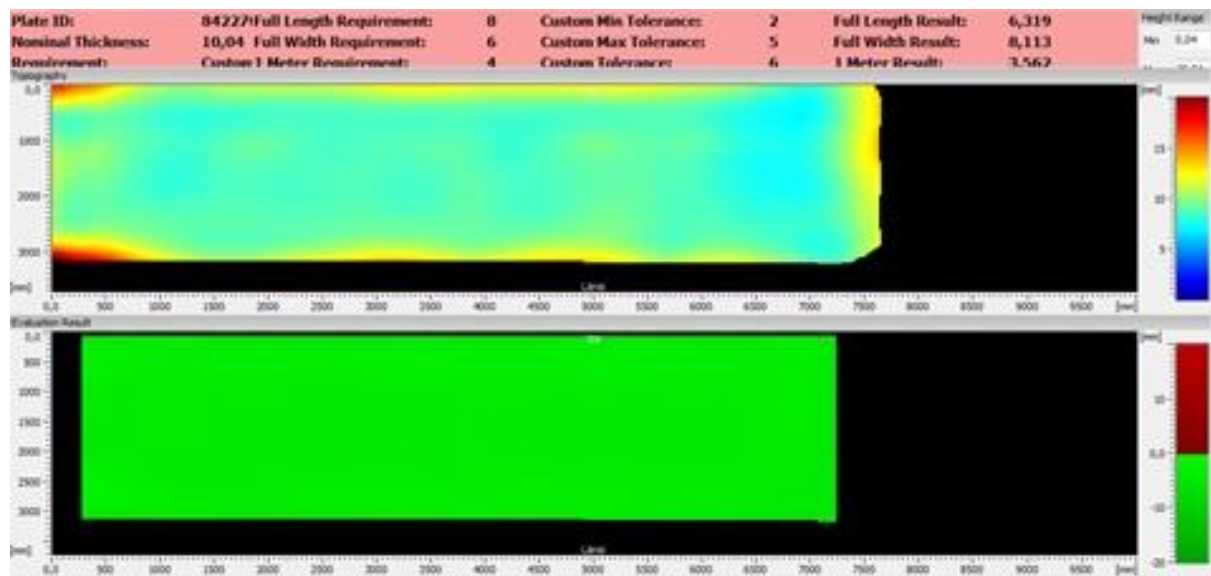
85024 021D



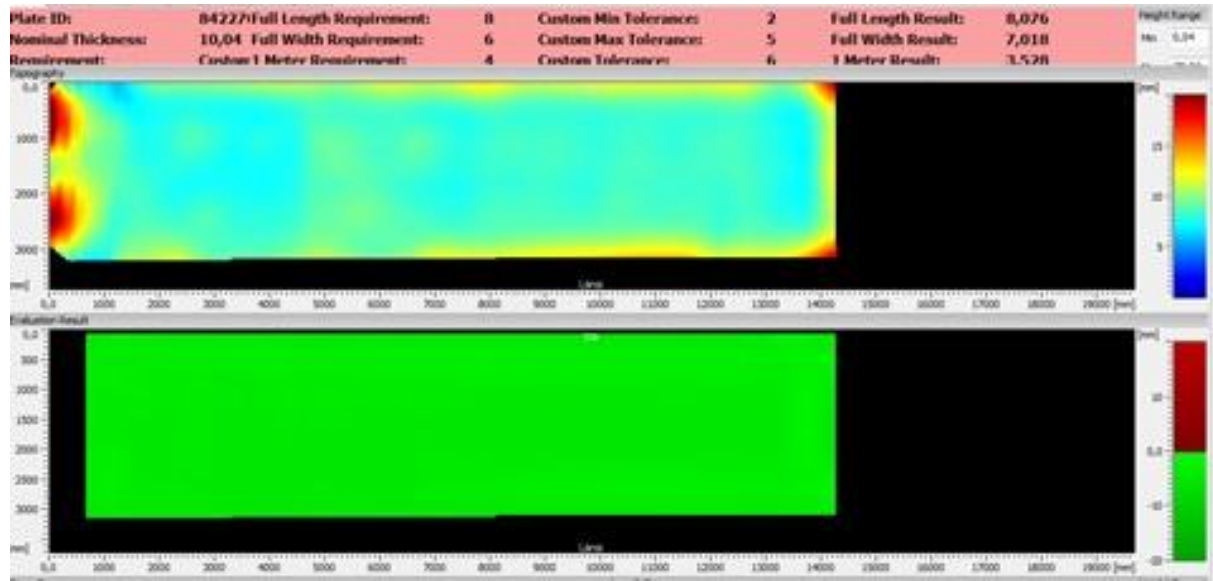
85024 021E



84227 011D



84227 011E



Esiokaisukoneen rakoarvojen kokeilu

Levy nro	Paksuus (mm)	Leveys (mm)	Lähtörullan asetus (-mm)	Rakoarvo (mm)	Plastisoituminen (%)	Tasomaisuus (mm/1m)	Pitkittäissuuntainen kaarevuus	Leveyssuuntainen kaarevuus (mm)
80331 022	12	2 612	3,0	1,0	55	17,451	33,571	20,334
80331 023	12	2 612	3,0	0,8	63	17,230	29,895	16,676
79623 262	8	2 245	3,0	1,5	43	17,778	22,619	12,916
80040 037	8	2 362	5,0	1,2	53	14,142	45,684	29,049
80331 021	12	2 612	4,0	0,4	72	13,787	25,685	22,676
80327 044	12	2 612	4,0	0,5	70	18,582	36,895	35,573
82576 055	12	2 128	5,0	0	80	12,891	19,153	27,002
82576 054	12	2 128	4,2	0	80	14,151	35,845	36,408
82576 053	12	2 128	4,2	-0,4	85	13,342	24,049	35,654
82576 052	12	2 128	4,2	-0,4	85	15,252	33,769	42,710
83060 019	12	2 128	4,2	-0,6	88	14,027	24,230	39,589
82576 051	12	2 128	4,2	-0,6	88	13,680	15,182	40,003
83002 013	12	3 000	4,2	0	80	13,408	33,459	35,100
83001 045	12	3 000	4,2	0	80	13,067	32,208	30,568
82617 019	8	2 156	3,1	0,0	85	13,122	23,083	12,402
84880 034	9,4	2 545	3,1	0,4	70	17,331	28,940	25,723

(jatkuu)

(jatkuu) Esioikaisukoneen rakoarvojen kokeilu

Levy nro.	Paksuus (mm)	Leveys (mm)	Lähtörullan asetus (-mm)	Rakoarvo (mm)	Plastisoituminen (%)	Tasomaisuus (mm/1m)	Pitkittäissuuntainen kaarevuus	Leveyssuuntainen kaarevuus (mm)
85024 022	12	2 636	3,1	0,0	80	15,923	28,320	17,640
85024 015	12	2 636	3,1	0,0	80	18,770	61,247	35,054
83595 021	10	3 166	3,1	-0,4	85	13,154	34,646	47,289
77381 031	10	2 636	3,1	-0,4	85	18,132	38,417	24,316
84846 036	10	2 636	3,1	0,0	80	20,840	72,952	45,252
84880 025	12	2 026	3,1	-0,4	85	17,746	21,605	39,352
85348 033	10	1 968	3,1	0,0	80	15,886	28,374	26,050
85924 044	10	2 050	3,1	0,0	80	27,209	28,924	35,254
86301 023	8	2 570	3,1	0,4	72	19,022	45,320	27,915
86301 024	8	2 570	3,1	0,4	72	20,053	41,870	27,101
86301 026	8	2 570	3,1	0,0	80	23,866	36,734	23,392
85927 037	8	2 570	3,1	0,0	80	24,531	42,016	26,197
85928 033	8	2 570	3,1	0,0	80	20,970	36,413	22,322
86301 027	8	2 570	3,1	-0,4	85	16,898	29,547	20,536
86301 021	8	2 570	3,1	-0,4	85	17,250	36,629	26,306
85927 048	8	3 330	3,1	0,0	80	16,279	27,774	24,600
86301 022	8	2 570	3,1	-0,4	85	19,624	29,503	17,783
85927 049	8	3 328	3,1	-0,4	85	17,970	45,359	45,079

Levy nro	Paksuus	Leveys	Rakoarvo	Asiakasvaatimus tasomaisuus <mm/1m	Tasomaisuus (mm/1m)
80327 041D	12	2 612	2.0	4	1,456
80327 041E	12	2 612	2.0	4	3,050
80331 024	12	2 612	0,6	4	2,220
85024 013	12	2 636	-0,4	4	2,942
85024 011D	12	2 636	-0,4	4	2,677
85024 011E	12	2 636	-0,4	4	3,210
85385 036	10	2 100	0,0	3	2,497
85024 024D	12	2 635	0,4	4	3,741
85024 024E	12	2 635	0,4	4	3,137
85024 025	12	2 635	0,4	4	2,930
84880 033	12	2 545	0,4	4	1,886
85024 021D	12	2 636	0,4	4	1,870
85024 021E	12	2 636	0,4	4	3,781
84227 011D	10	3 168	0,0	4	3,562
84227 011E	10	3 168	0,0	4	3,528