

Ville Kivimäki

Levynpyörityksen tietämyksen

kehittäminen BE Group Oy Ab:ssä



Insinööri (AMK)

Konetekniikka

Kevät 2018



KAJAANIN
AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Tiivistelmä

Tekijä: Kivimäki Ville

Työn nimi: Levynpyörityksen tietämyksen kehittäminen BE Group Oy Ab:ssä

Tutkintonimike: Insinööri (AMK), konetekniikka

Asiasanat: levynpyöritys, pyörityskone, bombeeraus, planetaaritelat

Tämä opinnäytetyö käsittelee levynpyöritystä ja levynpyörityskoneita sekä muita asioita, jotka liittyvät edellä mainittuihin aiheisiin, kuten esimerkiksi bombeeraus. Työn toimeksiantajana toimi BE Group Oy Ab Lapuan toimipiste.

Toimeksiannon syynä oli yrityksen halu lisätä tietoaan levynpyörityksestä, jota oli alkutilanteessa melko vähän. Tämän opinnäytetyön avulla mahdollisen koneinvestoinnin tekeminen olisi yritykselle helpompaa tulevaisuudessa.

Levynpyörityksessä, jota kutsutaan myös mankeloinniksi, muodostetaan metallilevyistä erilaisia pyöreitä muotoja, joista yleisimmät ovat lieriöt ja kartiot. Tätä varten on olemassa eri kokoisia pyörityskoneita, käytetään myös nimeä mankeli, joilla voidaan valmistaa kyseiset pyörityskappaleet.

Työn tekeminen aloitettiin tiedonhankinnalla Kajaanin ammattikorkeakoulun kirjastossa ja sen jälkeen tiedonhakua jatkettiin Lapualla hyödyntäen eri tietokantoja sekä useiden levynpyörityskoneiden valmistajien materiaaleja. Tiedonhankinnan aikana tehtiin muistiinpanoja, jotka lopulta järjesteltiin aihealueittain ja koottiin yhteen tähän opinnäytetyöhön.

Työn tuloksena syntyi laaja opas levynpyörityksestä, josta on varmasti hyötyä toimeksiantajalle. BE Group sai käyttöönsä myös kaksi erilaista Excel-taulukkoa, joista toisella voidaan laskea pyöritykseen liittyviä arvoja ja toinen on pyörityskoneiden vertailutaulukko, joka on apuna päätöksen teossa liittyen koneen hankintaan.

Abstract

Author: Kivimäki Ville

Title of the Publication: Development of knowledge in roll plate bending in BE Group Oy Ab

Degree Title: Bachelor of Engineering, Mechanical Engineering

Keywords: roll plate bending, plate rolling machine, crowning, planetary guides

This thesis deals with roll plate bending and plate rolling machines, as well as other factors related to the aforementioned topic, such as crowning. The commissioner of this thesis was the Lapua office of BE Group Oy Ab.

The starting point of the thesis was the company's wish to upgrade their knowledge of roll plate bending, which was quite minor at the beginning of this thesis. With this thesis it would be easier for the company to make prospective machine investment in the future.

Roll plate bending is used to roll different metal sheets into various round shapes, such as cylinders and cones. There are different sizes of plate rolling machines available for this purpose.

The work was started by data acquisition at the library of Kajaani University of Applied Sciences, and after that, it was continued in Lapua by utilizing different kind of databases and materials given by manufacturers of plate roll machines. Notes were made while data acquisition, and they were organized into categories and combined to this thesis in the end.

The end result of the work comprises quite a large guide about roll plate bending, which should be useful to the client. The BE Group also received two different kind of Excel spreadsheets, one to count different kinds of roll plate bending variables and the other to compare a few plate rolling machines to help in making decisions about the prospective machine investment.

Sisällys

1	Johdanto	1
2	BE Group Oy Ab	2
3	Levynpyöritys	4
3.1	Yleistä levynpyörityksestä.....	4
3.2	Bombeeraus.....	13
4	Levynpyörityskoneet.....	15
4.1	Kaksitelaiset pyörityskoneet	15
4.2	Kolmitelaiset pyörityskoneet	15
4.3	Nelitelaiset pyörityskoneet	18
4.3.1	Lineaaritelat	20
4.3.2	Planetaaritelat.....	22
5	Yhteenveto.....	25
	Lähteet.....	26

1 Johdanto

Tämä opinnäytetyö on tehty BE Group Oy Ab:lle Lapuan toimipisteen toimeksiannosta. Opinnäytetyöni on sujuva jatke kesätöille ja työharjoittelulle, jotka suoritin BE Groupilla. Aiheena opinnäytetyössäni on yrityksen tiedon lisääminen levynpyörityksestä, joka oli alkutilanteessa hyvin vähäinen. Levynpyöritystä ei ole tällä hetkellä BE Groupin tuotantopalveluvalikoimassa, mutta virkistyneen tilauskannan myötä oli herännyt kiinnostus kyseistä työvaihetta kohtaan ja siksi yritys ehdotti tätä aihetta opinnäytetyökseni.

Levynpyörityksessä, jota kutsutaan myös mankeloinniksi, muodostetaan metallilevyistä erilaisia pyöreitä muotoja, joista yleisimmät ovat lieriöt ja kartiot. Tätä varten on olemassa eri kokoisia pyörityskoneita, käytetään myös nimeä mankeli, joilla voidaan valmistaa kyseiset pyörityskappaleet.

Opinnäytetyön tavoitteena on lisätä yrityksen tietoa mankeloinnista, jotta työstökoneen hankinta olisi tulevaisuudessa helpompaa ja sen jälkeen esimerkiksi myyntiparametrien luominen olisi vaivattomampaa, jotta työvaiheelle osataan antaa kilpailukykyinen hinta. Henkilökohtaisena tavoitteena on onnistua luomaan materiaalia, josta yritys oikeasti hyötyisi tulevaisuudessa ja lisätä siinä samalla omaa tietoutta metallin muokkauksen saralla.

Työssä kerrotaan yleistä tietoa levynpyörityksestä ja bombeerausesta sekä eri pyörityskoneiden eroavaisuuksista toisiinsa nähden. Pyörityksestä puhutaan tässä työssä myös taivutuksena.

2 BE Group Oy Ab

BE Group on terästehtaista riippumaton terästen ja alumiinien toimittaja. Sillä on tytäryhtiöitä Ruotsissa, Suomessa, Virossa, Latviassa, Liettuassa, Puolassa sekä Tšekissä (kuva 1). Pääkonttori sijaitsee Malmössä, Ruotsissa. Liikevaihto vuonna 2016 koko yhtiöllä oli 3870 MSEK ja liiketulos 16 MSEK. Työntekijöitä oli tuolloin keskiarvolta 739. [1.]



Kuva 1. BE Goup Oy Ab:n toimimaat [1]

Teräksen toimituksen lisäksi BE Group tarjoaa myös tuotantopalveluita, jotka sisältävät termisen ja ohutlevyleikkauksen, sahaus, taivuttamisen, porauksen ja koneistuksen sekä sinkopuhdistuksen ja suojamaalauksen. Tuotantopalveluita Suomessa tarjoavat teräspalvelukeskukset Lapualla, Turussa ja Lahdessa, joka on Suomen pääkonttori. Myyntiyksiköitä on Suomessa yhdeksän. [2.]

Lapuan toimipisteellä (kuva 2) on käytössä muut tuotantopalvelut paitsi ohutlevyleikkaus, sahaus ja suojamaalaus. Työntekijöitä siellä on 55, joista yhdeksän on toimihenkilöitä.

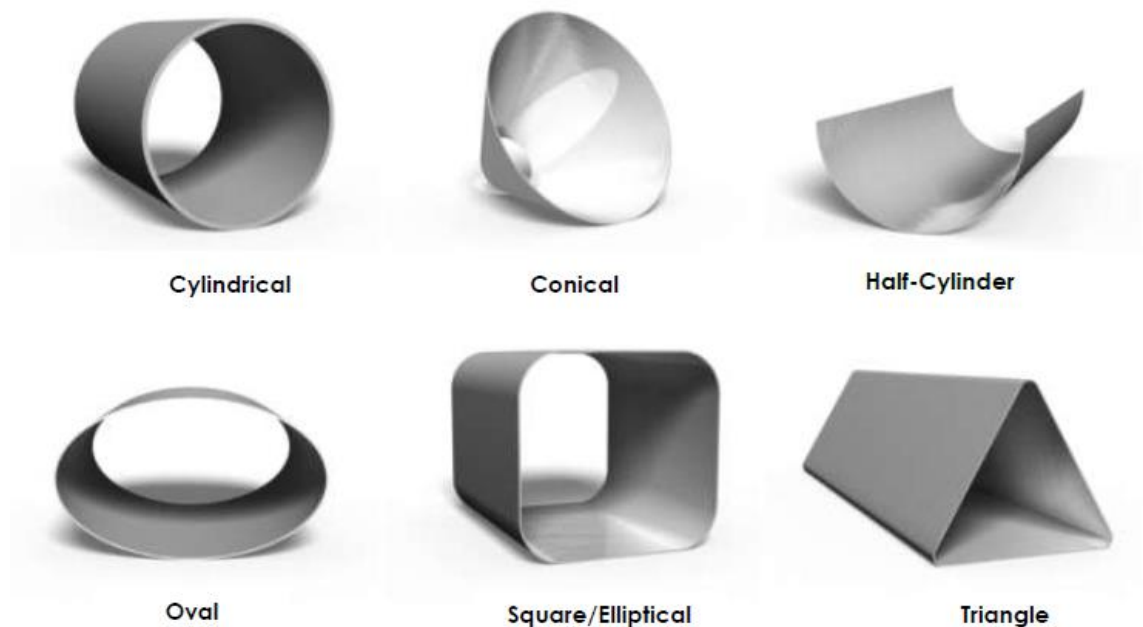


Kuva 2. Lapuan toimipiste

3 Levynpyöritys

3.1 Yleistä levynpyörityksestä

Levynpyöritys, josta käytetään myös nimeä levyn mankelointi, on yksi yleisimmistä työmenetelmistä, sillä pyöritys, kuten kulmauskin, on paljon käytetty levyrakenteen jäykistystapa. Pyöristetty rakenne säilyttää keveytensä samalla kun sen lujuusominaisuudet paranevat. Pyöreä rakenne tarvitsee vähän materiaalia, on joustava ja on hyvä ulkonäöltään. Lisäksi pyöritys on työvaiheena suhteellisen nopea menetelmä kappaleen jäykistämiseksi. Yleisimmät levynpyörityskoneella tehtävät kappaleet (kuva 3) ovat lieriöitä sekä kartioita ja niitä käytetään muun muassa tuulivoimaloiden sekä sillojen rakentamisessa, laiva- ja lentoteollisuudessa ja myös pienempien kokonaisuuksien kanssa, kuten esimerkiksi erilaisten holkkien valmistamisessa. [3.][4.]



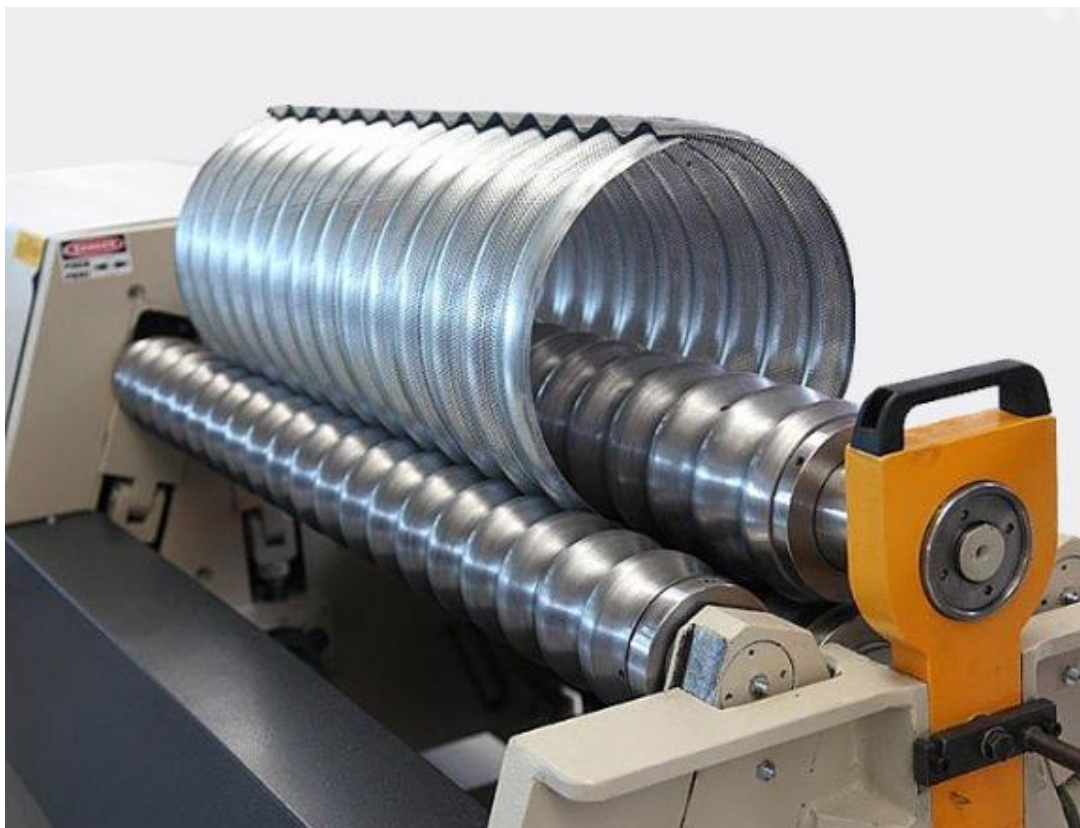
Kuva 3. Yleisimmät pyörityskappaleet [5]

Pyörityskoneissa on yleensä kolme pyöritystela. Käytössä on myös kaksi-, neli- ja useampitelaisia levymankeleita. Mankeleissa voi olla myös kartiokkaat telat (kuva 4) piippujen, suppiloiden ja sellaisten valmistamiseksi, mutta kartioiden teko onnistuu myös normaaleilla lieriömäisillä teloilla. Jos taivutetaan kappaleita, joissa on päätylaippoja tai urituksia, voidaan käyttää elastisella materiaalilla päällystettyjä teloja. Teräviä muotoja varten voi teloihin olla tehtynä kyseisiä muotoja vastaavia uria, mutta tällöin telat ovat usein

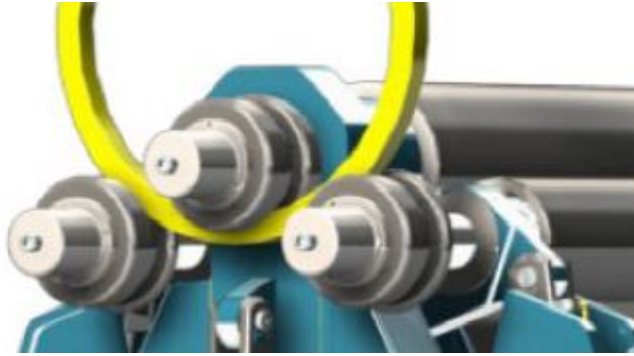
tuotekohtaisia (kuva 5). On myös koneita, joissa on rungon ulkopuolelle pidennetyt telat, jolloin samalla pyöristyskoneella voidaan taivuttaa myös profiileja (kuva 6) [6.][7.][8.]



Kuva 4. Kartiokas tela pyöristyskoneessa [9]



Kuva 5. Tuotekohtaiset telat pyöristyskoneessa [9]



Kuva 6. Pidentetyt telat, joilla taivutetaan profiileja [8]

Koneet ovat yleensä vaakatasossa, mutta erityisen raskaita ja isoja kappaleita varten on käytössä myös pystykoneita (

kuva 7). Lisäksi on olemassa kuljetettavia pyörästykoneita, joita käytetään silloin, kun valmiin pyörästykappaleen kuljetus tulisi liian kalliiksi ja halutaan valmistaa kappale vasta paikan päällä. Yksinkertaisimmat pienet koneet ovat käsikäyttöisiä, kun taas suuremmissa koneissa telojen pyöritys on joko hydraulinen tai sähköinen. [7.]



Kuva 7. Pystyssä oleva pyörityskone [11]

Pyörityskoneisiin on saatavissa numeerinen ohjaus, jolla voidaan mm. määritellä takatelan haluttua pyörityssädettä vastaava asema ja pyörityttävän kehän osaa vastaava syöttöpituus sekä levyn kulku- ja telojen pyörimisnopeus. Numeerisesti ohjatulla, eli NC- tai CNC-koneella, voidaan valmistaa pyöreiden kappaleiden lisäksi myös erilaisista kaarista ja suorista osuksista koostuvia poikkileikkauksia. [10.]

NC ja CNC eroavat pyörityskoneiden kohdalla siten, että NC-ohjauksessa tietyn levytyypin ensimmäinen ajo tehdään ”opettamalla”, eli periaatteessa käsin ohjailaan teloja sekä haetaan oikeat arvot ja tämän jälkeen kone ajaa sille opetetun ohjelman automaattisesti. CNC-ohjauksessa kone laskee itse kaikki arvot ja tekee taivutusohjelman, jota voi kuitenkin tarvittaessa korjailla. Koneen suorituskyky alenee käytettäessä CNC:tä, sillä toisin kuin NC:ssä, levyn pyöritys suoritetaan yhdellä ajolla, joka vie enemmän voimaa ja koneen kapasiteettia kuin monessa osassa tehty pyöritys. CNC-ohjauksella joudutaankin usein koeajamaan muutama levy ennen kuin ohjelmalla saadaan haluttu muoto, ja sitä suositellaan käytettäväksi monimutkaisiin tai monisäteisiin pyörityksiin. Yleensä numeerisesti ohjatussa pyörityskoneessa on käytössä sekä NC- että CNC-ohjaus. [5.]

Pyörityskoneen pyörityskykyä on vaikea määritellä tarkoin. Siihen vaikuttavat mm. levyn leveys ja paksuus sekä lujuus, pyörityshalkaisija, suoraksi jäävän osan suurin sallittu leveys, pyörityskoneen telojen taipuma ja halkaisija. Pyörityskoneelle ilmoitetaan tavallisesti tietyn lujuisen levyn suurin sallittu paksuus koneen työleveydellä, esimerkiksi 20x3100 mm. Erilaisiin pyörityksiin on rakennettu erikokoisia pyörityskoneita. Kuten koneiden koko yleensäkin, niin myös pyörityskoneen koko valitaan valmistettavien tuotteiden laadun mukaan. Taivutettavat paksuudet vaihtelevat 0,5 mm:stä aina 50 mm:iin asti. Tilauksesta pyörityskoneita rakennetaan sitäkin paksumpia levyjä varten. Tiettyä pyöritysleveyttä vastaava suurin levypaksuus voidaan laskea kaavalla 1: [4.][10.]

$$s_2 = C * S_1 * \sqrt{\frac{L_1}{L_2}}$$

Kaava 1 [10]

S_1 = koneen suurin levyvahvuus koko työleveydellä

S_2 = suurin levyvahvuus aiotulla pyöritysleveydellä

C= korjauskerroin

L_1 = koneen työleveys

L_2 = aiottu pyöristysleveys

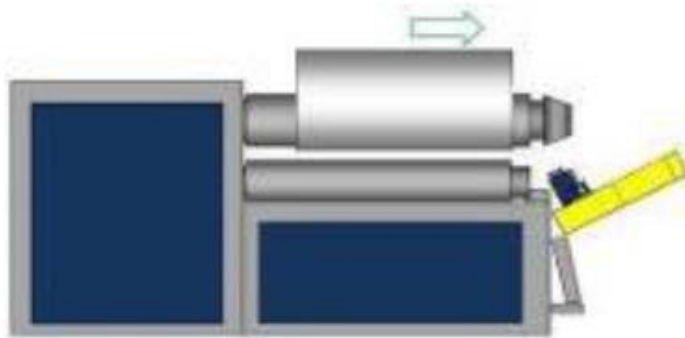
Pyöristyskoneiden taivutuskyky onkin yleensä ilmoitettu 260 MPa lujuisella materiaalilla, sillä sen korjauskertoimen on 1. Korjauskertoimelle on omia laskennallisia taulukoita, jotka ovat suuntaa antavia. Muuttuneet materiaalin ominaisuudet, kuten esimerkiksi myötöraja, voivat vaikuttaa koneen esitaivutus ja pyöristysominaisuuksiin korjauskertoimen mukaan [11.][12.]

Pyöristettävä kappale taipuu pyöristettäessä ylätelan ympärille, joten ylätelan halkaisija määrää koneella pienimmän mahdollisen taivutettavan lieriön halkaisijan. Kappaleen pyöristyshalkaisija säädetään yleensä ylä- tai alätelan korkeudensäädön avulla ja lieriön halkaisija voi olla minimissään 1,1–1,5-kertainen ylätelan halkaisijaan verrattuna, riippuen sivutelojen liikeradasta. Pienet halkaisijat vaativat enemmän voimaa kuin suuret. Yleensä suositellaan kappaleen halkaisijaa tehtäväksi vähintään viisi kertaa suuremmaksi kuin ylätelan halkaisija. Levyn paksuus voi vaikuttaa lieriön halkaisijan suuruuteen. Esimerkiksi jos koneen maksimikapasiteetiksi on ilmoitettu 100x3000 mm ja jos halutaan työskennellä maksimipaksuudella, niin pienin mahdollinen halkaisija on kolme kertaa ylätelan halkaisija. Mutta jos käytetään vain 60 %:n paksuuden kapasiteettia (esimerkin tapauksessa 60 mm), niin päästään haluttuun minimihalkaisijaan. [7.][10.][11.][12.]

Kun pyöristyssäde on suurempi tai yhtä suuri kuin viisi kertaa aineenpaksuus, neutraalitaso sijaitsee aineen keskellä. Tällöin voidaan laskea lieriöaihion pituus käyttämällä ympyrän piirin laskukaavaa ja käyttää kaavassa lieriön neutraalitaso halkaisijaa. Esimerkiksi jos lieriön sisähalkaisija on 300 mm ja ainepaksuus 2 mm, niin neutraalitaso halkaisija on tällöin 302 mm ja aihion oikaistu pituus näin ollen $\pi \cdot 302 \text{ mm} \approx 949 \text{ mm}$. [4.]

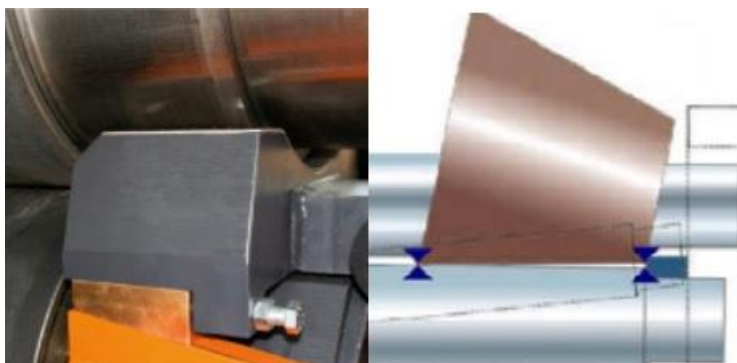
Kappaleen poistamiseksi koneesta on olemassa kaksi perusratkaisua. Ylätela voi olla laakeriensa läpi liikkuva, jolloin se voidaan vetää vaakatasossa pois kappaleen sisältä, tai

telan toisen pään kannatuslaakeri voi olla sivuun väistyvä, jolloin kappale voidaan pujottaa telalta pois (kuva 8). [10.]



Kuva 8. Kappale pujotetaan telalta pois [11]

Kartioiden taivutusta varten suurissa pyörityskoneissa on karkaistu jarrupala (kuva 9), joka kiinnitetään koneen ylätelaan. Tämä jarrupala estää kartion liikkumisen telan pituus-sunnassa pyörityksen aikana. Lisäksi kaatolaakerissa on erikoislukitus, joka ottaa vastaan pyörityksessä syntyvät sivuttaisvoimat. Kartioita pyöristettäessä (kuva 10) alatelan toista päätyä kallistetaan alaspäin, jolloin kartiokappaletta on helpompi pyöristää. Tällöin kartion suuremman säteen omaava puoli on puristettuna telojen välissä ja näin ollen nopeuttaa sen puolen syöttöä. Vastapuolella pienemmän säteen puoli hidastuu jarrukappaleen ja kappaleen väliin syntyvän kitkan ansiosta. Ympyräsektorin muotoisen kartioaihion syötön ohjaus tapahtuu lähes automaattisesti, sillä kappale pysyy hallinnassa telojen puristuskohdan ja jarrupalan välissä. Matalarunkoisilla koneilla pystytään tekemään kartioita, joilla ei periaatteessa ole geometrisia rajoja, sillä runko on telojen alapuolella ja sen ansiosta se ei voi osua kartioaihion reunoihin. [4.][12.]



Kuva 9. Alatelan jarrupala [8][13]



Kuva 10. Kartion valmistus [12]

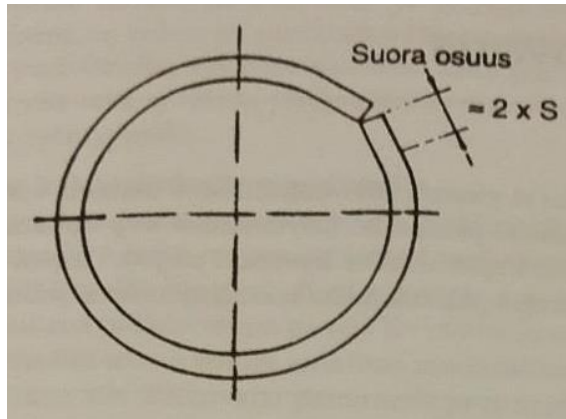
Yli neljän asteen kartiokkuus vähentää mankelin suorituskykyä taulukon 1 mukaan. Tämä johtuu epätasapainosta ylätelalla ja sen laakereilla. Mitä enemmän kartio taittuu, sitä enemmän koneen suorituskyky laskee. Tämä pätee 50 %:n maksimipituuteen ja -paksuuteen asti. Pääsääntö on, että kartiota pyöristettäessä koneen taivutuskyky on noin luokkaa puolet vastaavan lieriön pyöristyskyvystä. [10.][11.]

Taulukko 1. Kartiokkuuden vaikutus suorituskykyyn [11]

CONE UP TO 4°	Machine Performance 92 %
CONE UP TO 15°	Machine Performance 70 %
CONE UP TO 30°	Machine Performance 60 %
CONE UP TO 60°	Machine Performance 50 %
CONE UP TO 90°	Machine Performance 40 %

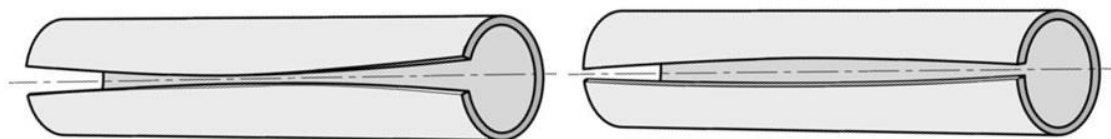
Pyöristyksessä on oleellista tietää, miten käytössä olevalla koneella pyöristetään lieriön reunat. Reunojen pyöristys onkin mankeloinnissa yleinen ongelma. Kiintein tai rajoitetusti liikkuvien valssiasetuksin rakennetut kolmitelaiset pyöristyskoneet eivät yleensä anna mahdollisuutta taivuttaa levyn reunaan jäävää, pituudeltaan noin puolet alatelojen etäisyydestä olevaa suoraa osaa (kuva 11). Jos telojen asema on liikuteltavissa, on esitaivutus yleensä mahdollinen rakenteesta riippuen joko kääntämällä levy kerran tai ilman kääntöä.

Silti reunaan jää lyhyt, karkeilla levyillä 1,3 – 2 kertaa ja ohutlevyillä 3 – 5 kertaa levynpaksuuden mittainen suora osa. Suora osa voidaan esitaivuttaa särmäyspuristimessa, leikata pois tai kalibroida hitsauksen jälkeen. Nelitelaisilla pyörityskoneilla esitaivutuksen ongelmaa ei ole, sillä niillä pystytään suorittamaan esitaivutus pyörityksen yhteydessä neljännen telan avulla. [10.][12.]



Kuva 11. Levyn jäävä suora osa [7]

Pyöritysvirheitä ovat suorien levynpäiden aiheuttaman epäpyöreiden lisäksi telojen taipumisesta johtuva lieriön muotovirhe, jota esiintyy tynnyrimäisyytenä tai tiimalasisuutena. Kummassakaan tapauksessa taivutetun lieriön reunat eivät ole vastakkain, vaan irvistävät joko päistä tai keskeltä (kuva 12). [10.]



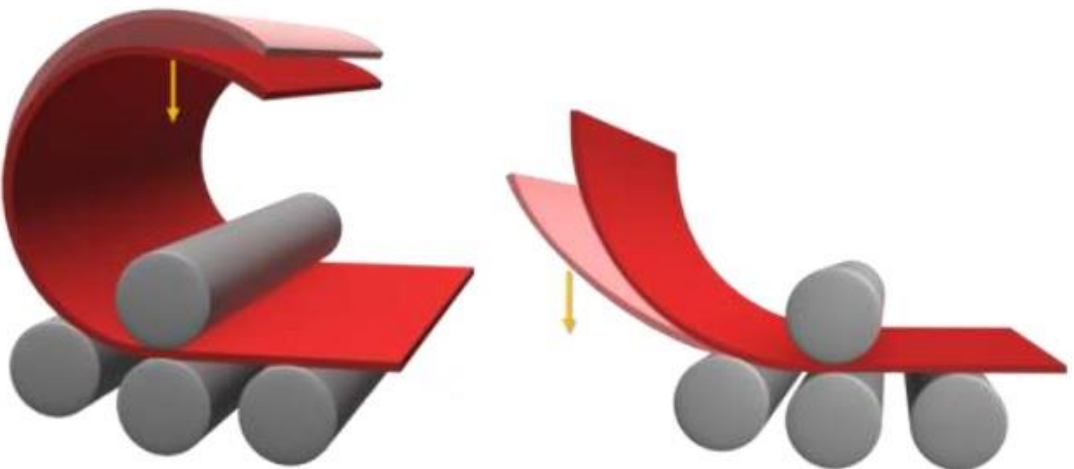
Kuva 12. Lieriön muotovirheet [14]

Aine kylmämuokkaantuu, kun sitä taivutetaan useita kertoja. Tämä aiheuttaa pyörityksen yhteydessä sitä, että lieriö joustaa takaisin. Takaisinjousto tulee ottaa huomioon, kun pyöristetään paksuja levyjä. Tällöin yleensä lieriön vaippa silloitetaan lieriön ollessa vielä pyörityskoneessa. Samankaltaista ongelmaa ehkäisevät myös sivu- ja ylätuot (kuva 13). Pyörityksen aikana on mahdollista tulla ongelmia esimerkiksi levyn ohuuden ja painon kanssa. Jos levy on ohut ja siitä tehdään suuren halkaisijan lieriötä, niin levy alkaa painovoiman vaikutuksesta painua kasaan ja siten muuttaa pyöritettyä sädettä (kuva 14).

Sivu- ja ylätukien avulla tätä ongelmaa ei tule. Tuet eivät siis kannattele levyä, vaan pelkästään tukevat. [4.][5.][11.]



Kuva 13. Pyörästyskoneen tuet [15]



Kuva 14. Levyn taipuminen ilman tukia [5]

Pyöreiden tarkistus kuuluu olennaisena osana työsuoritukseen. Apuna voidaan käyttää mittaa tai erilaisia malleineita (kuva 15). Mikäli tarkistuksen yhteydessä huomataan, että säde ei ole kaikissa kohdissa saman suuruinen, voidaan asiaa yrittää korjata lyömällä lieriön ulkopintaan kevyitä iskuja sille kohdalle, jossa säde on haluttua pienempi, kuitenkin niin ettei lyönneistä jää jälkiä lieriön pintaan. Kartion mittaamisessa voidaan käyttää muuten samoja periaatteita, mutta tarvitaan kaksi mallinetta, eli kummallekin päälle omansa.

Kartion pyöristys on tehty oikein, jos kartio tason päälle asetettuna on jokaisesta kohdastaan tasossa kiinni. Lieriö on oikein pyöristetty, kun malline on mitattaessa koko ajan pyöristetyssä pinnassa kiinni. [4.]

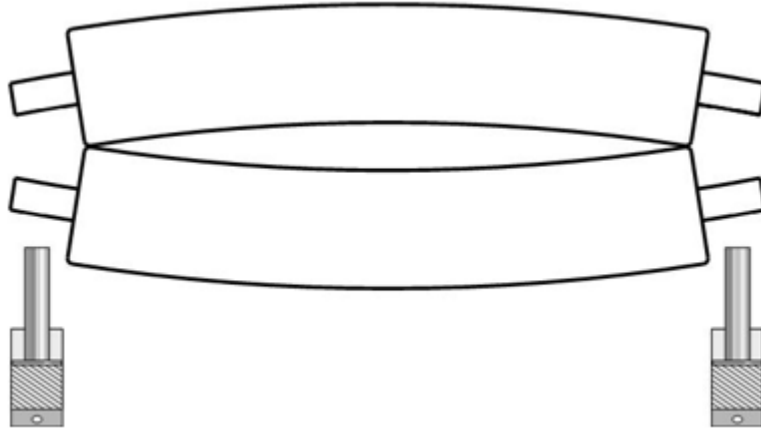


Kuva 15. Pyöristysmalline [16]

3.2 Bombeeraus

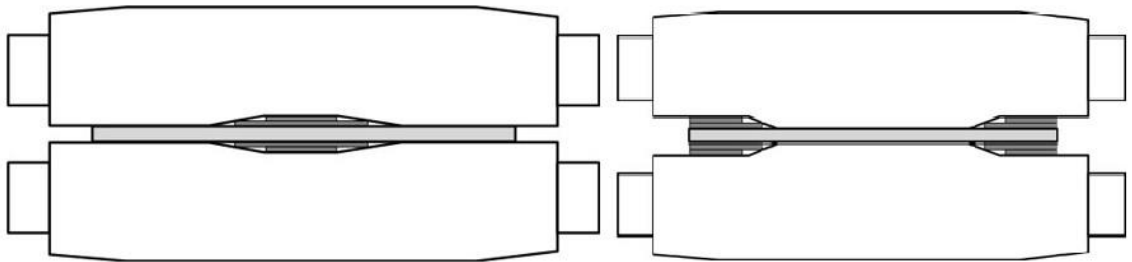
Bombeerauksella tarkoitetaan telan muotoilua tynnyrimäiseksi, jota ei silmällä huomaa helposti. Tällä voidaan kompensoida telan taipumisesta tulevaa ongelmaa ja lisäksi pyöristettävä levy ei ajaudu koneen reunaan niin helposti bombeeratuilla teloilla. [11.]

Tela on päistään tuettu ja pyöristämisen aikana siihen kohdistuu voimia, jotka saavat aikaan telan taipumaa (kuva 16). Tämä taipuminen aiheuttaa levyn ”irtoamisen” telan keskeltä, missä taipuminen tapahtuu. Tästä johtuva kontaktin ja puristuksen puute aiheuttavat lyhyen suoran osan keskelle levyä ja lieriön tynnyrimäisyyden. Jotta tätä voidaan kompensoida, telat bombeerataan. [14.]



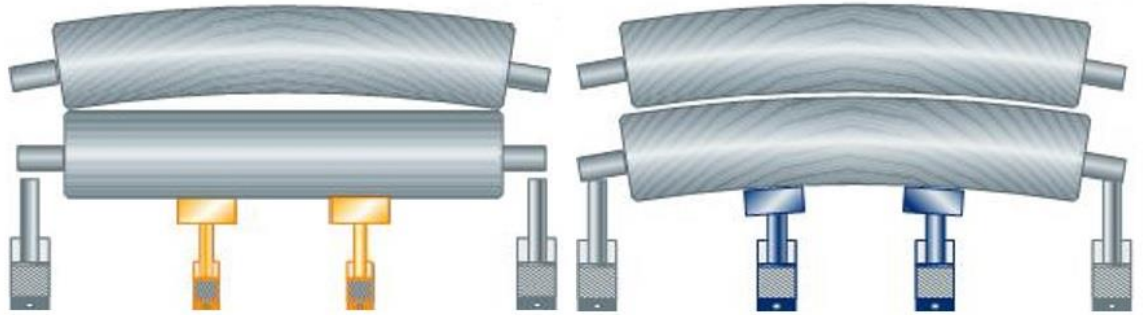
Kuva 16. Telojen taipuminen liioitellusti kuvattuna [14]

Kun jotakin tiettyä levynpaksuutta varten bombeeratuilla teloilla pyöristetään ohuempia levyjä, levy jää irti tällä kertaa reunoilta. Tästä johtuvan puristuksen puutteen seurauksena syntyy lieriöön koveruutta eli tiimalasivirhettä. Tämän takia bombeeratuilla teloilla pystytään pyöristämään levyjä, joiden paksuus on minimissään kolmasosa koneen ilmoitetusta kapasiteetista. Muissa tapauksissa pyöristetyissä lieriöissä esiintyy tiimalasisuutta ohuilla levyillä ja tynnyrimäisyyttä paksuilla levyillä. Näiden virheiden kompensoimiseksi levy voidaan ”kiilata” (kuva 17) joko keskeltä, pyöristettäessä paksuja levyjä, tai päistä, pyöristettäessä ohuita levyjä. Kiilaaminen on yleinen menettelytapa mankeloinnissa. [14.]

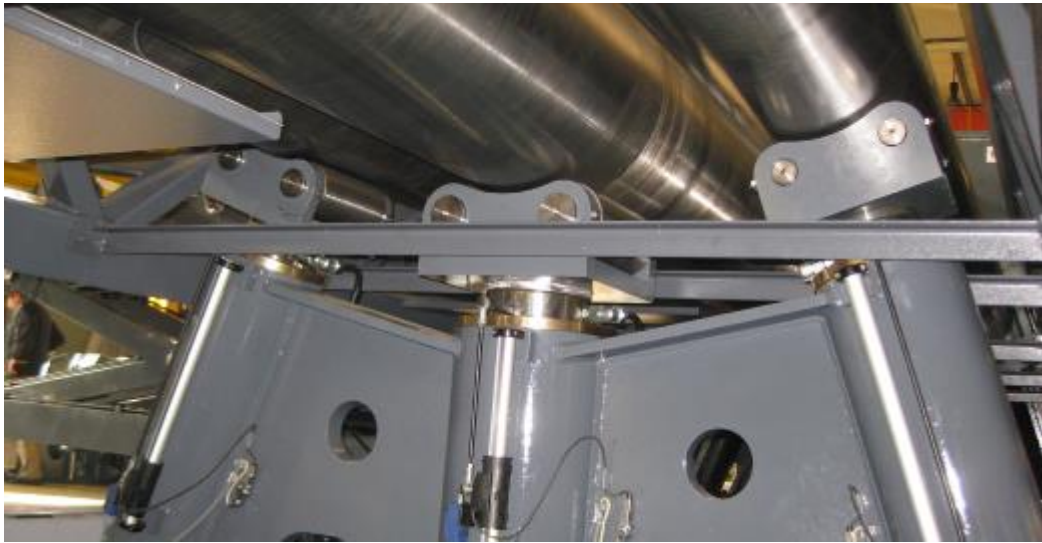


Kuva 17. Levyjen kiilaamistavat [14]

Raskaiden koneiden alatelaja voidaan tukea taipumisen estämiseksi erityisillä tukirullilla. Rullat voivat kompensoida taipumisvirheitä niinkin, että ne itse taivuttavat alatelaa ylöspäin ja näin ”kopioivat” ylätelan taipumisen, jolloin levy on koko matkalta puristettuna. Tämä estää lieriön muotovirheitä laajalta paksuusalueelta (kuva 18 ja kuva 19). [7.][14.]



Kuva 18. Taipumista estävät rullat [14]



Kuva 19. Telojen tukirullat [8]

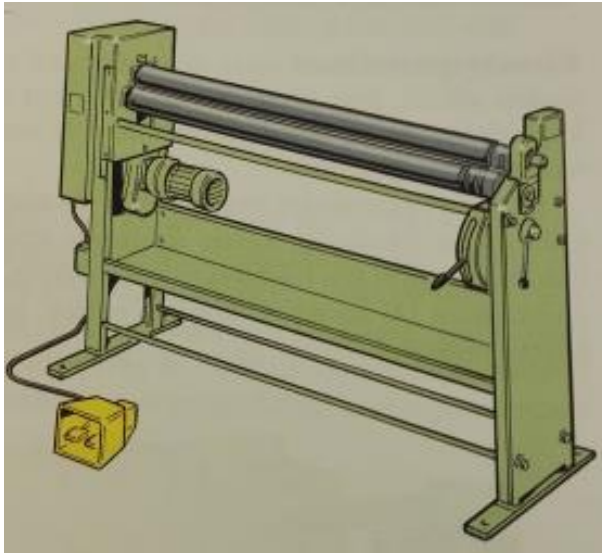
4 Levynpyörityskoneet

4.1 Kaksitelaiset pyörityskoneet

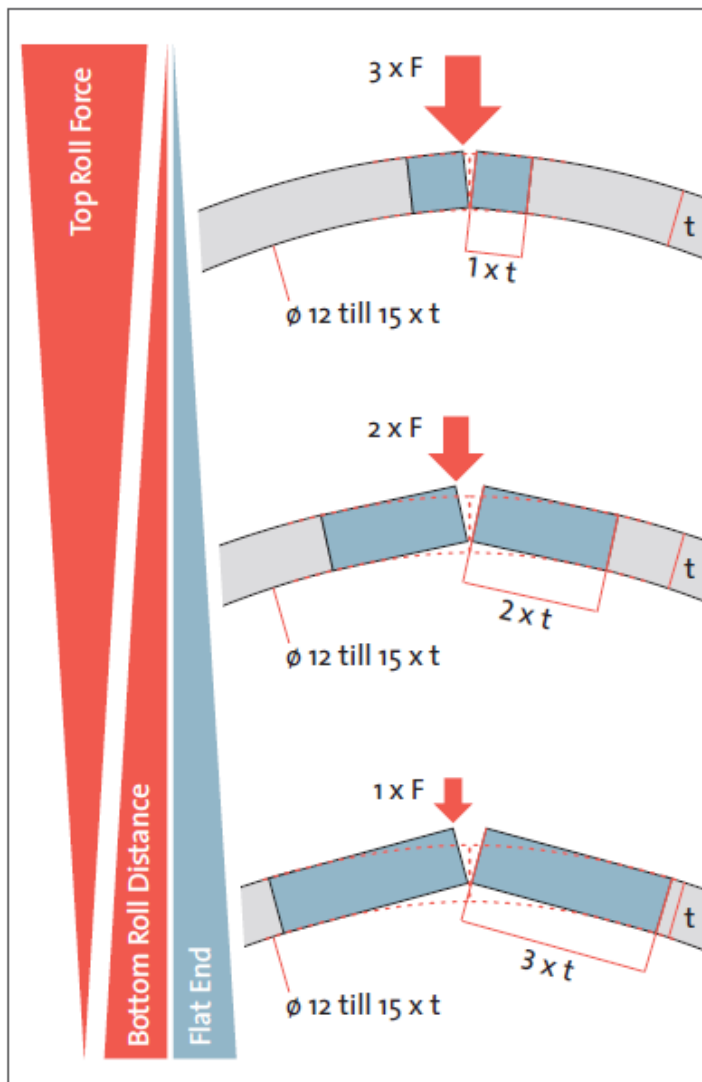
Kaksitelaisella pyörityskoneella voidaan tehdä lieriöitä, puoliympyröitä ja muita peruskaarevia muotoja. Kone muodostuu kahdesta telasta, joiden välistä levy syötetään. Kaksitelaisilla mankeleilla ei voi tehdä kartioita tai muita yksityiskohtaisia geometrisia muotoja. [\[17.\]](#)

4.2 Kolmitelaiset pyörityskoneet

Kolmitelaisella pyörityskoneella pystytään työstämään samanlaisia kappaleita kuin kaksitelaisellakin, mutta suurimpana erona kaksitelaiseen on se, että kolmitelaisella kappaleen muoto on paremmin hallittavissa. Kolmitelaisessa pyörityskoneessa (kuva 20) kaksi etummaista ovat syöttöteloja. Alempi syöttötela on yleensä kiinteä ja ylempi tela on pystysuunnassa liikuteltava eri levypaksuuksia varten. Taaempi tela, eli taivutustela, kiertyy keskiön ympäri, ja sen asema määrää levyn pyörityksen säteen. Telojen keskinäistä asentoa vaihdetaan jokaisella ajokerralla, kunnes saavutetaan haluttu muoto. Jos pyöritykseltä vaaditaan suurta tarkkuutta ja kyseessä olevalla koneella ei voida tehdä esipyöritystä, on levyn alkupää esipyörityttävä ennen koneeseen syöttämistä, sillä muuten levy saa hieman vaaditusta poikkeavan muodon. Kolmitelaisessa koneessa ylätelan työntövoima määrittelee maksimipyörityspaksuuden sekä esipyörityksessä syntyvän suoran osuuden pituuden (kuva 21). [\[3.\]](#)[\[6.\]](#)[\[17.\]](#)[\[18.\]](#)



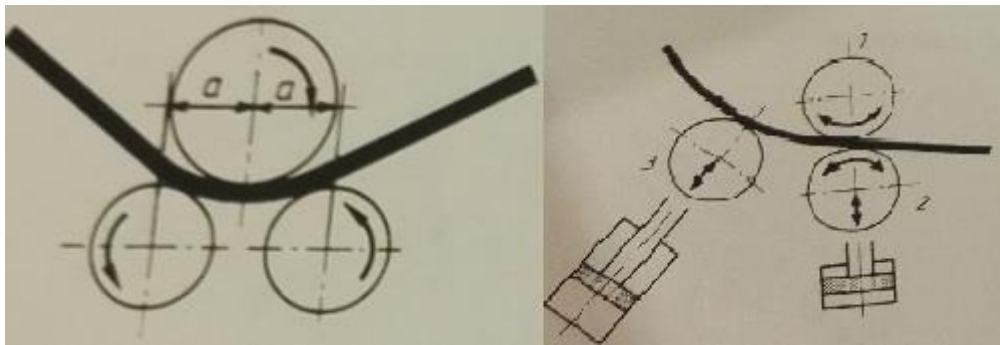
Kuva 20. Pieni moottorikäyttöinen kolmitelainen pyöristyskone [3]



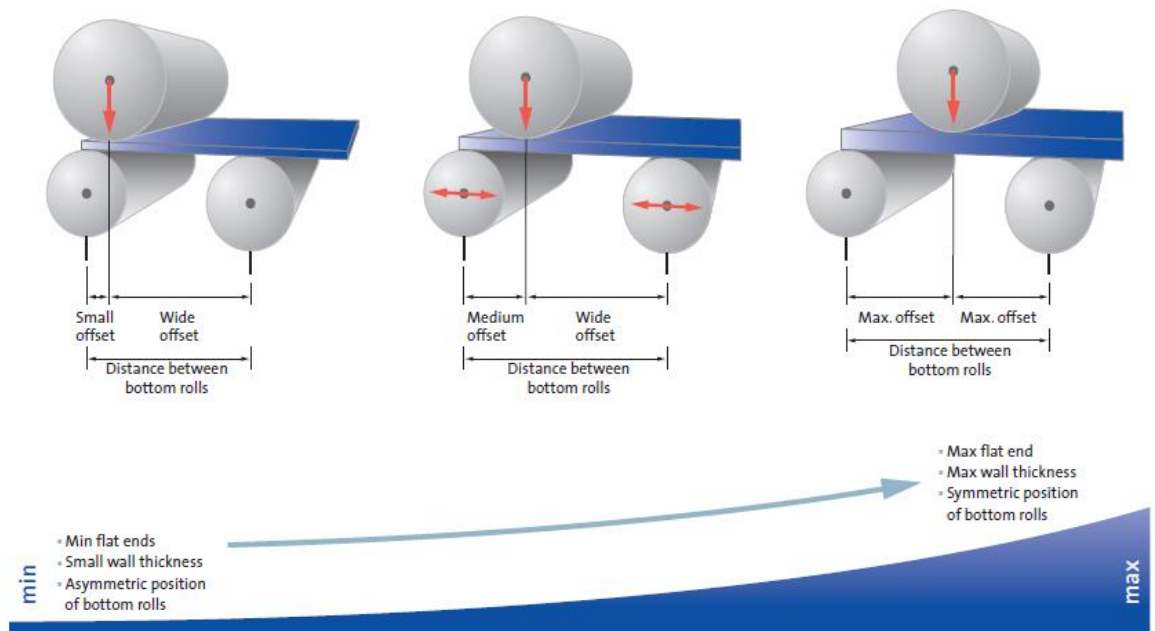
Kuva 21. Ylätelan voiman vaikutus levyyn [18]

Kolmitelaisessa pyörityskoneessa telat voivat olla sijoitettuna joko symmetrisesti tai epäsymmetrisesti (kuva 22). Symmetrisessä koneessa ylätela sijaitsee symmetrisesti yläpuolella verrattuna alateloihin, jotka ovat kiinteästi laakeroituna koneen runkoon. Ylätelan korkeudella säädetään pyörityssädettä. Symmetrisellä telajärjestelmällä voidaan pyöristää paksumpia levyjä kuin epäsymmetrisellä, mutta levyn suora osuus jää silloin pidemmäksi (kuva 23). [3.][18.]

Epäsymmetrisessä koneessa kaikkia teloja voidaan säätää toisistaan riippumatta ja tämän ansiosta koneen käyttö monipuolistuu ja nopeutuu. Epäsymmetrisillä koneilla voidaan tehdä myös levyn esipyöritys. [3.]



Kuva 22. Telojen symmetrinen ja epäsymmetrinen sijoitus [4]



Kuva 23. Telojen keskinäisen aseman vaikutus levyyn [18]

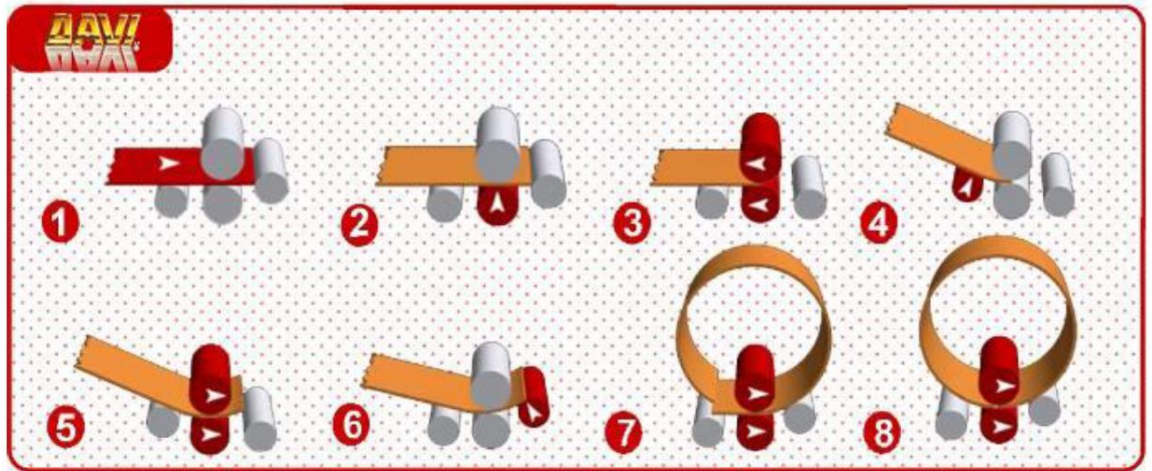
4.3 Nelitelaiset pyörityskoneet

Nelitelainen pyörityskone on tällä hetkellä markkinoiden tuotteliain ratkaisu. Levy syötetään koneeseen vaakatasossa, eikä kallisteta kuten kolmitelaisen koneen kanssa. Tämä vähentää levyn vinoon pyörityksen riskiä. Nelitelaisella koneella pyöritys on nopein tapa pyörittää levy lieriöksi, sillä muoto pystytään toteuttamaan jopa yhdellä ajolla, johon kuuluu esipyöritys. Tämän ansiosta nelitelainen pyörityskone on 50–80 % nopeampi kuin mikään kolmitelainen. Lisäksi se on sopivin NC-tuotantoon, koska levy on paremmin hallinnassa puristettuna ylä- ja alatelan välissä, kunnes kappale on valmis. Joillakin malleilla pystytään suorittamaan samankaltaisia työstöjä kuin särmäyspuristimellakin. Lisäksi nelitelaisilla pyörityskoneilla on mahdollista valmistaa suorakulmaisia ja muita neliskulmaisia kappaleita taivuttamalla aihiota vain tietyistä kohdista (kuva 24). [12.][17.]



Kuva 24. Neliskulmaisen kappaleen valmistus [15]

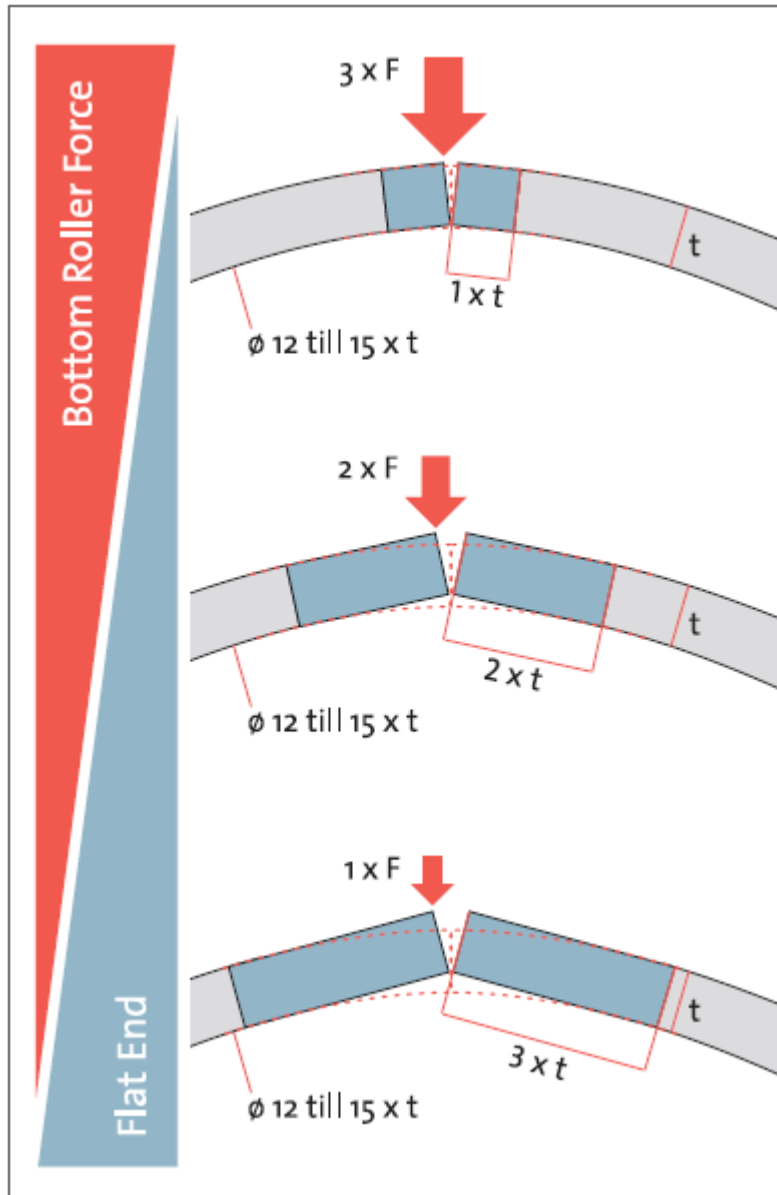
Nelitelaisen pyörityskoneen toimintapa eroaa selvästi kolmitelaisesta pyörityskoneesta, johtuen luonnollisesti yhdestä ylimääräisestä telasta (kuva 25).



Kuva 25. Nelitelaisen pyöristykoneen toimintaperiaate [12]

1. Levyn asetus takatelaa vasten.
2. Levyn puristus alatelalla ylätelaa vasten.
3. Kone liikuttaa levyä taaksepäin ylä- ja alateloiden välissä niin kauan, kunnes levyn pää on kohtisuorassa telojen tangentteja vastaan. Tämä minimoi suoran osuuden levyn alussa, mikä on ongelmana kolmitelaisien koneiden kanssa.
4. Levyn alla oleva sivutela nousee ja tekee esitaivutuksen.
5. Ylä- ja alatela pyörivät ja syöttävät levyä, kunnes levyn etureuna on pyöristetty.
6. Levyn alla oleva sivutela laskee ja toinen sivutela nousee levyn etureunaan kiinni.
7. Telat syöttävät levyä kunnes haluttu muoto saavutetaan.
8. Levyn syöttöä jatketaan hieman yli täyden ympyrän, jotta levyn takareunaan ei tulisi suoraa osuutta.

Nelitelaisella mankelilla tehtävässä esipyöristyksessä levyn suora osuus riippuu lähes yksinomaan alatelan työntövoimasta (kuva 26). Mitä enemmän voimaa voidaan kohdistaa alatelasta, sitä lyhempi suora osuus levyssä. Sivutelan nousukorkeus esitaivutuksessa ei vaikuta tähän. Alatelan voima ja sen avulla saavutettavat suorat osuudet ovatkin tärkeimmät kohdat, kun määritellään nelitelaisen pyöristykoneen kapasiteettia. [12.][18.]



Kuva 26. Alatelan voiman vaikutus levyyn [18]

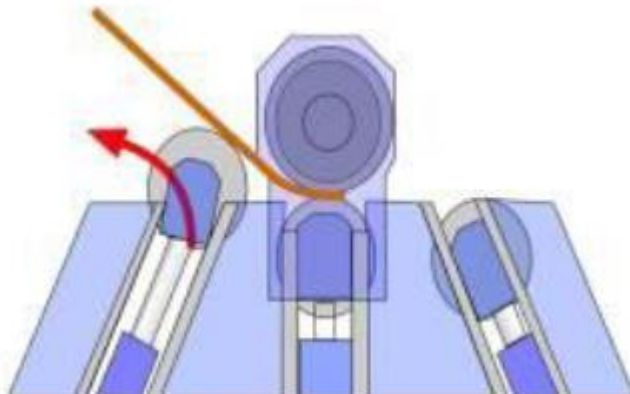
4.3.1 Lineaaritelat

Aikaisemmin nelitelaisiin pyöristyskoneisiin oli tapana tehdä lineaarisesti liikkuvat sivutelat (kuva 27). Linearisessa liikeradassa on kuitenkin useita haittoja. Lineaaritelat liikkuvat tietyssä kulmassa kallistetussa asennossa. Ne lähtevät liikkeelle pohjalta, niiden keskinäisen välimatkan ja etäisyyden koneen keskipisteeseen ollessa todella suuri, ja ne lähestyvät toisiaan ylös noustessa, kun pyöristetään pienen halkaisijan lieriöitä. [12.]



Kuva 27. Lineaaritelat [12]

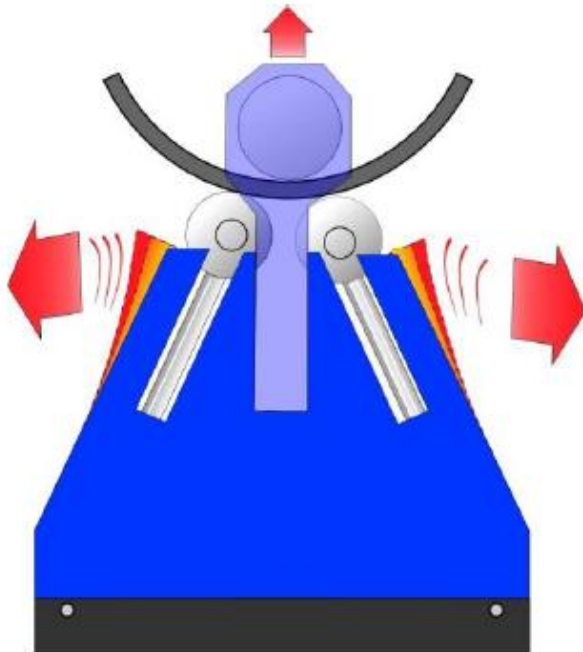
Telat painavat levyä ylätelaan vasten liian lähellä toisiaan, ja tämä aiheuttaa hukkaan menevää voimaa johtuen lyhyestä taivutusvarresta. Telojen lyhyt välimatka kasvattaa myös lieriön minimihalkaisijan mitta. Sivutelat aiheuttavat taipumaa ylätelaan ja sen myötä kappaleiden tynnyrimäisyyden riskiä, koska ne painavat sitä jatkuvasti suoraan alapuolelta. Lyhyen taivutusvarren takia sivuteloilla on enemmän levyä nostettavana alkupyörityksessä ja sen myötä ne tarvitsevat enemmän voimaa. Sylintereiden ollessa lähes ääri-asennossa, esimerkiksi esipyörityksessä, levystä tulevat vastavoimat vääntävät telan ohjuria poikkeuma-asentoon ja aiheuttavat jatkuvaa kitkaa ohjurin uraan (kuva 28). Lisäksi takaisinjoustopotentialin mahdollisuus on suurempi, koska telojen keskinäinen välimatka on lyhyt. [12.]



Kuva 28. Sivutelan ohjurin taipuminen (runko piirretty matalammaksi kuin se oikeasti on) [12]

Lineaarisilla teloilla kuormitus keskittyy rungon ulkolaitaan, joka on rungon heikoin kohta (kuva 29). Runko tehdään telojen yläpintaa korkeammaksi, jotta telat ovat tuettuna myös silloin, kun tehdään mahdollisimman pienen halkaisijan lieriöitä. Tämä rungon korkeus

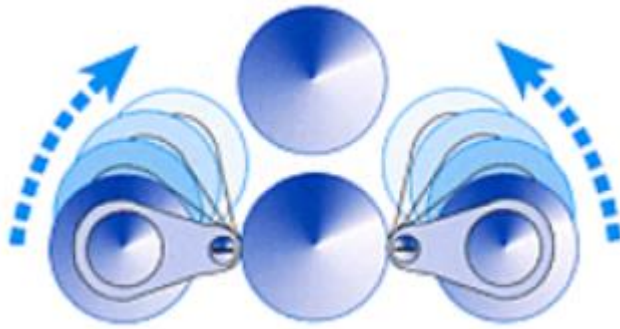
vaikuttaa varsinkin pienten lieriöiden poistoa koneesta. Jos runko olisi matalampi, niin silloin telat eivät olisi tarpeeksi tuetut pienten lieriöiden kanssa. [12.]



Kuva 29. Kuormitus rungon ulkolaidassa (runko piirretty matalammaksi kuin se oikeasti on) [12]

4.3.2 Planetaaritelat

Planetaarisessa telojen muodostelmassa (kuva 30 ja kuva 31) ala- ja sivutelojen muodostamat voimat kohdistetaan laajemmalla alueella ylätelaan, joka on mitoitettu riittävän suureksi kestämään kyseiset voimat mahdollisimman pienellä taipumalla. Kaikki kuormitus on keskitetty koneen keskiosaan ja runko on hieman matalammalla kuin telojen yläpinta, joten kappaleen poisto onnistuu helpommin, kun kappale voidaan vain liu'uttaa koneesta pois. [12.]



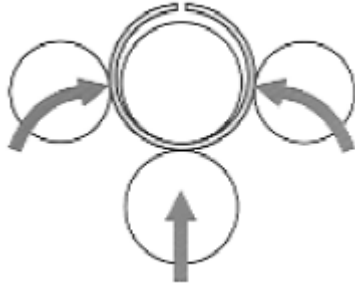
Kuva 30. Planetaarinen telamuodostelma [11]



Kuva 31. Planetaaritelallisen pyöristyskoneen rakenne [13]

Planetaariohjurit eivät tarvitse ”kulku-uria” eivätkä sen myötä myöskään voitelua, vaan ne pyörivät ohjatusti akselin ympäri ja sen avulla sivutelat osuvat ylätelaan ympyrän kehällä hieman ylemmäksi kuin lineaaritelat ja siten painavat ylätelaan suuremmalla välimatkalla (kuva 32). Tämän asennon ansiosta on käytössä pitempi taivutusvarsi ja sen avulla pystytään tekemään minimissään jopa 1,1-kertainen lieriön halkaisija ylätelan halkaisijaan verrattuna. Lineaarilla sivuteloilla vastaava luku on noin 1,3–1,5. Suuremmalla taivutusvarrella planetaaritelat tarvitsevat vähemmän voimaa levyn alkupyöristyksessä muodos-

taakseen mahdollisimman lyhyen suoran osan. Suurempi taivutusvarsi hukkaa vähemmän voimaa ja on näin ollen myös ympäristöystävällisempi ratkaisu. Painamalla ylätelaa hieman enemmän sivulta kuin alta vähentävät ylätelään kohdistetut vertikaaliset voimat ja sen myötä vähenee riski telan taipumiseen ja lieriöiden tynnyrimäisyyteen. Myös takaisin-jouston mahdollisuus vähenee, koska telojen välimatka on pidempi. [5.][12.]



Kuva 32. Planetaaritelojen liikerata [11]

5 Yhteenveto

Opinnäytetyön tarkoituksena oli lisätä tietämystä levynpyörityksestä BE Groupissa. Opinnäytetyöstä saadut tiedot olisivat yrityksen apuna levynpyörityskonetta hankittaessa sekä lisäksi auttaisivat myynnin kannalta tärkeiden myyntiparametrien luontia.

Aloitin opinnäytetyön teon tiedon keruulla Kajaanin ammattikorkeakoulun kirjastossa, joka oli erittäin tärkeä päivä työtä ajatellen, sillä lopun ajan tein työtä Lapualla, joten samanlainen kirjaston palvelujen käyttö olisi ollut myöhemmin hankalaa. Tämän jälkeen tiedonhankinta jatkui käyttäen hyväksi eri tietokantoja sekä pyörityskoneiden valmistajien materiaaleja. Saaduista tiedoista tein muistiinpanoja ja järjestelin ne lopulta omiin aihealueisiinsa.

Työn tuloksena syntyi laaja opas levynpyörityksestä työvaiheena sekä tietoa erilaisista pyörityskoneista. Yritys sai käyttöönsä Excel-taulukon, jolla voidaan laskea kaavan 1 mukaan joko aiotun pyörityspeveyden tietyllä paksuudella tai vastaavasti aiotun paksuuden tietyllä pyörityspeveydellä. Taulukossa on myös laskuri lieriön aihion laskemiseen. Lisäksi tein vertailutaulukon eri pyörityskoneista, joista sain tarjoukset ja se on avuksi BE Groupille pyörityskoneen hankinnassa.

Työ oli hyvin samankaltainen kuin projektit, joita olin tehnyt koulussa, joten sen kanssa oli melko helppo työskennellä. Tiedonhankinnassa oli hienoa huomata, että eri lähteistä saadut tiedot tukivat toisiaan ja toisaalta myös se, että vastaavaa teosta tai julkaisua ei löytynyt, jossa levynpyörityksestä kerrottaisiin näin laajasti.

Lähteet

- (1) BE Group kansainväliset verkkosivut. Saatavilla: <http://www.begroup.com/en/Steel-aluminium-stainless/>. Haettu 12.2.2018.
- (2) BE Group Suomen maasivusto. Saatavilla: <http://www.begroup.com/fi/BE-Group-Finland/BE-Group/>. Haettu 12.2.2018.
- (3) Heinonen M, Keinänen T, Kärkkäinen P. Konetekniikan perusteet. 12., uudistettu painos ed. Helsinki: Sanoma Pro Oy; 2016.
- (4) Katainen H, Mäkinen A. Muovaava ja leikkaava työstö. Porvoo: WSOY; 1989.
- (5) Akyapak tarjousesite [Maahantuojalta saatu materiaali]. Akyapak.
- (6) Woxen R, Woxen R, Eiro O. Konepajatekniikka: muovaava ja lastuava työstö. 2. osa. 2. p. ed. Porvoo: WSOY; 1954.
- (7) Mäki-Mantila J. Ohutlevyjien taivutus ja muovaus. Helsinki: Metalliteollisuuden keskusliitto; 2001.
- (8) Durma tuote-esite. Saatavilla: <http://www.durmausa.com/images/datasheets/Plate-Rolls.pdf>. Haettu 15.2.2018.
- (9) SAHINLER product list. Saatavilla: <http://www.sahinlermetal.com/en/products>. Haettu 19.2.2018.
- (10) Aaltonen K, Andersson P, Kauppinen V. Levytyö- ja työvälinetekniikat. 1. p. ed. Porvoo; Helsinki ; Juva: WSOY; 1997.
- (11) MG tarjousesite [Maahantuojalta saatu materiaali]. MG.
- (12) DAVI tarjousesite [Maahantuojalta saatu materiaali]. DAVI.
- (13) 4 ROLL PLATE BENDING MACHINE – HR4WR. Saatavilla: <http://www.roc-ciasrl.com/plate-roll/4-roll-plate-bending-machine/?lang=en>. Haettu 15.2.2018.
- (14) Barrel deflect bending process [Power-Point esitys]. Akyapak.
- (15) DAVI Automation Video List. Saatavilla: http://www.davi.com/int/en/Automation_Video_List. Haettu 12.2.2018.

(16) DAVI MCB [Youtube video]. Saatavilla: <https://www.youtube.com/watch?v=w55j8TBTWh8>. Haettu 12.2.2018.

(17) Differences Between 2 Roll, 3 Roll, 4 Roll and Geometry Plate Benders. Saatavilla: <https://www.quantummachinerygroup.com/machinery-blog/2017/3/27/differences-between-2-roll-3-roll-4-roll-and-geometry-plate-benders>. Haettu 8.2.2018.

(18) HAEUSLER 3- ja 4-telaisten pyöristyskoneiden tuote-esitteet. Saatavilla: <http://www.haeusler.com/en/home/company>. Haettu 15.2.2018.