



# **PUTKENTAIVUTUSKONEEN KÄYTTÖOHJEIDEN LAATIMINEN**

Risto Voutilainen

Opinnäytetyö  
Syyskuu 2011  
Kone- ja tuotantotekniikka  
Modernit tuotantojärjestelmät  
Tampereen ammattikorkeakoulu

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU  
Tampere University of Applied Sciences

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Kone- ja tuotantotekniikka  
Modernit tuotantojärjestelmät

VOUTILAINEN, RISTO: Putkentaivutuskoneen käyttöohjeiden laatiminen

Opinnäytetyö 33 s., liitteet 18 s.  
Syyskuu 2011

---

Tämän opinnäytetyön aiheena oli putkentaivutuskoneen englanninkielisen käyttöohjeen laatiminen Specma Hydraulic Oy:lle. Specma Hydraulic Oy on hydraulikka-alan maahantuontiyritys, ja sen Tampereen Workshop-toimipiste tekee alihankintatyönä hydrauliiikkaputki- ja -letkuasennelmia sekä kokoonpanoasennuksia.

Putkentaivutuskoneen käyttöohjeen tarkoituksena on toimia apuna uusien asentajien koulutettaessa sekä tukena vanhoille asentajille. Koneen alkuperäinen käyttöohje on vaikeaselkoinen ja puutteellinen. Lisäksi koneeseen on vuosien varrella tehty erilaisia modifikaatioita, joihin ei ohjeistusta ollut olemassa.

Työn teoriaosuudessa käydään läpi hydrauliikkaputken valmistaminen ja putken taivuttaminen yleisesti sekä taivutuskonetyypit. Tarkemmin tutkittiin putken takaisinjoustoja ja venymää sekä näiden asioiden kompensointia. Käyttöohje laadittiin vanhojen käyttöohjeiden, asentajien kokemusten sekä omien tutkimusten ja testien perusteella. Lisäksi luotiin selkeä menetelmä ylitaivutuskertoimen, laskennalliseen säteen ja pituussuuntaisen korjauksen selvittämiseksi.

---

Asiasanat: käyttöohje, taivutuskone, hydrauliikkaputki

## ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme in Mechanical Engineering and Industrial Engineering  
Option of Modern Production Systems

VOUTILAINEN, RISTO: Instructions on Tube Bending Machine

Bachelor's thesis 33 pages, appendices 18 pages  
September 2011

---

The objective of this thesis was to compile instruction on tube bending machine for Specma Hydraulic Oy. Specma Hydraulic Oy is a hydraulics importing company and the Tampere Workshop manufactures hydraulic tube assemblies, hose assemblies and machine assemblies as a subcontractor.

The purpose of the instructions on tube bending machine is to assist educating new mechanics and support senior mechanics. Original instructions were abstruse and incomplete. Also some technical modifications on machine were executed.

The theoretical section explores hydraulic tube manufacturing, tube bending generally and bending machine models. Springback, elongation and compensation of these factors were explored more accurate. Instructions were drafted based on original instructions, mechanics' knowledge, own studies and tests. A new explicit procedure for resolving overbending factor, computational bending radius and correction of length were created.

---

Key words: instructions, bending machine, hydraulic tube

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	5
2	YRITYSTIEDOT .....	6
3	HYDRAULIIKKAPUTKEN VALMISTAMINEN .....	7
4	TAIVUTUSKONETYYPIT .....	9
	4.1.1 Vetotaivutus .....	9
	4.1.2 Työntötaivutus .....	12
	4.1.3 Rullataivutus .....	13
	4.1.4 Puristintaivutus.....	13
5	PUTKENTAIVUTUSKONE BEDRAZZOLI BEND MASTER E-65.....	14
6	3D-MITTALAITE FARO TITANIUM ARM.....	16
7	PUTKEN TAIVUTTAMINEN.....	18
	7.1 Putken venymä.....	18
	7.2 Takaisinjousto .....	19
	7.3 Laskennallinen säde ja X-suuntainen korjaus.....	20
	7.4 Ohjelmointi .....	22
8	KÄSITTELY .....	24
	8.1 Korjausparametrien selvittäminen .....	24
	8.1.1 Koemittaukset 16x2 putkelle.....	24
	8.1.2 Mittaukset 10x1,5 putkelle.....	26
	8.2 Käyttöohjeen laatiminen .....	28
	8.3 Korjausparametrit-ohjelman laatiminen.....	29
9	JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA.....	31
	LÄHTEET.....	33
	LIITTEET .....	34

## 1 JOHDANTO

Tämän työn lähtökohtana oli CNC-putkentaivutuskoneen ja putkituotannon siirtäminen Puolaan. Asiakkaan siirrettyä tuotantoaan Puolaan on myös Specma Hydraulic Oy perustanut sinne oman tuotantoyksikkönsä. Työn tavoitteeksi asetettiin englanninkielisen käyttöohjeen laatiminen sekä mahdollisimman hyvien edellytysten luominen koneen siirrolle ja tuotannon sujuvalle jatkumiselle uudella toimipisteellä.

Koneen alkuperäinen käyttöopas on puutteellinen ja vaikeaselkoinen. Sen lisäksi koneeseen on ajan saatossa hankittu lisää taivutustyökaluja sekä tehty erilaisia modifikaatioita, joista ei ole käyttöohjeistusta olemassa. Näiden seikkojen pohjalta työn päätavoitteeksi asetettiin käyttöohje, joka tukisi mahdollisimman hyvin uusien asentajien koulutusta.

Työn oltua jo hyvässä vauhdissa ilmenikin, ettei taivutuskonetta siirretäkään Puolaan. Käyttöohjeen laatimisesta pidettiin kuitenkin edelleen kiinni. Sen lisäksi painopistettä siirrettiin enemmän taivutuskoneen eri korjausparametrien selvittämiseen, josta ei ollut olemassa ohjeistusta eikä myöskään vakiintunutta käytäntöä. Näitä parametrejä ovat ylitaivutuskerroin, laskennallinen taivutussäde sekä pituussuuntainen korjaus. Nämä ovat arvoja, jotka täytyy selvittää erityisesti uusia putkikokoja taivutettaessa.

Käyttöohjeen laatimisessa otettiin tavoitteeksi keskittyä asioihin, jotka alkuperäisessä käyttöoppaassa on selvitetty vaillinaisesti tai ne puuttuvat kokonaan. Tällaisia asioita ovat muun muassa taivutustyökalujen vaihto, tiedonsiirto ulkoisen PC-laitteen ja ohjauksen välillä sekä itse taivutuskoneen ohjelmointi. Lisäksi päätettiin laatia vielä Excel-ohjelma helpottamaan korjausparametrien laskemista.

## 2 YRITYSTIEDOT

Specma Hydraulic on yksi Pohjoismaiden johtavia hydraulikka-alan yrityksiä. Toimintaa on Pohjoismaiden lisäksi myös Baltian, USA:n, Kiinan, Venäjän, Puolan sekä Brasilian markkinoilla. Yrityksen liikeidea on kehittää, valmistaa ja markkinoida sovelluskohtaisia hydraulikkajärjestelmiä maailmanlaajuisille markkinoille sekä tarjota laaja valikoima hydraulikka-, pneumatiikka- ja johdinkomponentteja teollisuudelle ja jälkimarkkinoille. Markkinointiorganisaatio on jaettu kolmeen osaan: OEM Division mobiilihydrauliikan markkinoille, System Division teollisuuden ja merenkulun tarpeisiin sekä Component Division jälkimarkkinoita varten.

Specma Hydraulic Ab perustettiin Ruotsissa 1920 Specialmaskiner-nimisenä. Tuolloin yritys keskittyi puhtaasti kaupankäyntiin ja siirtyminen hydraulikka-alalle kehittyi asteittain vuosien kuluessa. Nykyisin yrityksen omistaa Investment AB Latour – sijoitusyhtiö. (Specma Hydraulic Historia.)

Suomessa historia alkaa vuodesta 1979, jolloin Hymat Oy perustettiin. Aluksi asiakkaille toimitettiin hydraulikkaletkuja, letkuasennelmia sekä liitostarvikkeita, ja myöhemmin ohjelmaan tulivat komponentit. Vuonna 1998 Hymat siirtyi Specma Hydraulic Ab:n omistukseen. Tampereen Workshop-toimipiste aloitti toimintansa Hymat Oy:n nimellä vuonna 2001 Kalmar Industries Oy:n tiloissa. Vuonna 2008 nimi vaihtui Specma Hydraulic Oy:ksi. (Specma Hydraulic Component Division Historia.)

### 3 HYDRAULIIKKAPUTKEN VALMISTAMINEN

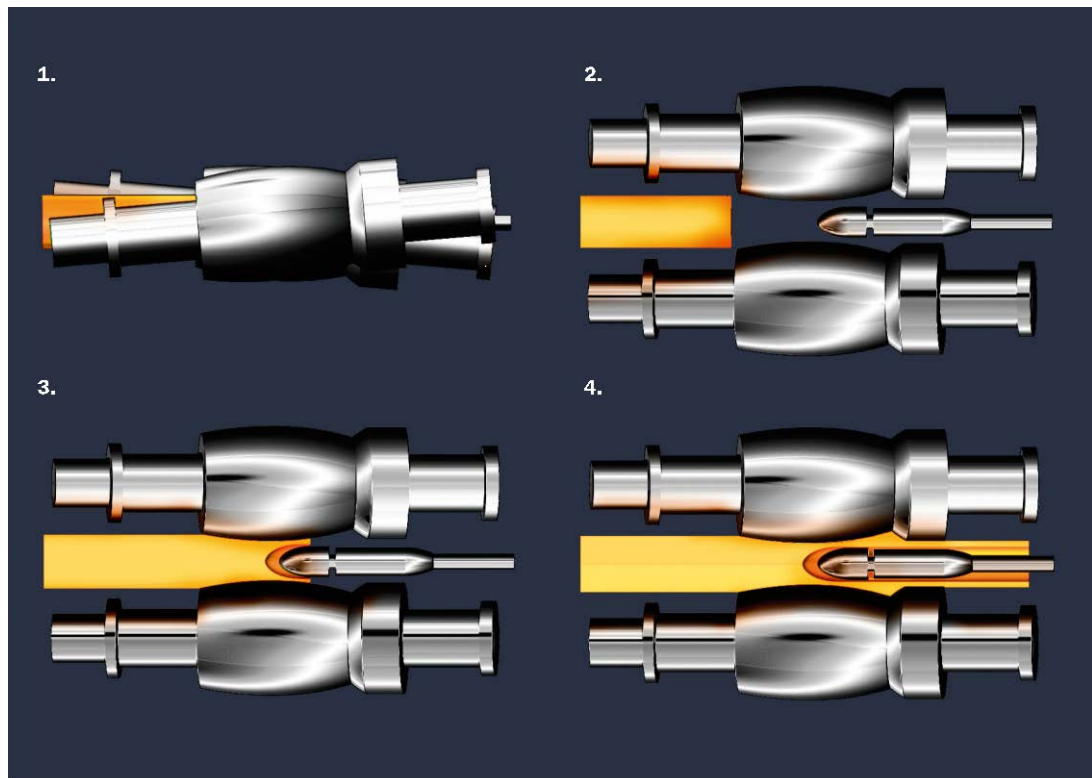
Teräsputki voidaan valmistaa joko hitsaamalla tai valssaamalla. Noin 70 prosenttia putkista valmistetaan hitsaamalla. Hitsausauma voi olla joko putken pituussuuntainen tai ruuvikierteen muotoinen. Kuviossa 1 (Teknologiateollisuus 2011) on esitetty hitsatun pituussaumaputken valmistusperiaate.



Kuvio 1. Hitsatun pituussaumaputken valmistusperiaate (Teknologiateollisuus 2011)

Joskus, kuten hydraulikkaputkien tapauksessa, vaaditaan putkelta saumattomuutta, joten hitsausta ei voida käyttää valmistusmenetelmänä. Putki on näin ollen valmistettava valssaamalla tai valamalla. Ensin kuumennettuun pyöreään teräsaihioon lävistetään reikä. Tämän jälkeen aihio kuumamuovataan lopulliseksi tuotteeksi. Kuviossa 2 (Teknologiateollisuus 2011) esitetyn putken kuumavalssausmenetelmän vaiheet ovat:

1. Valssien asento ylhäältä katsottuna.
2. Valssauksen aloitus. Aihio ohjataan vasemmalta valssien väliin.
3. Valssien viiston aseman sekä niiden muodon johdosta aihion keskelle repeää onkalo.
4. Valssauksen jatkuessa aihio valssautuu tuurnan ympärille, jolloin putken muoto saavutetaan.



Kuvio 2. Kuumavalssausmenetelmä (Teknologiateollisuus 2011)

Lopullinen muoto saavutetaan rullamuovauksessa, jossa putkiaihiota myös venytetään. Lopuksi hydrauliiikkaputket vielä kylmävedetään, Tällä saavutetaan parempi mittatarkkuus sekä pinnanlaatu.



## 4 TAIVUTUSKONETYYPIT

Ohutseinäputkia, joihin hydrauliiikaputketkin lukeutuvat, taivutetaan lähes poikkeuksetta kylmätaivutuskoneilla. Taivutusmenetelmät jakautuvat neljään eri päämenetelmään, jotka ovat:

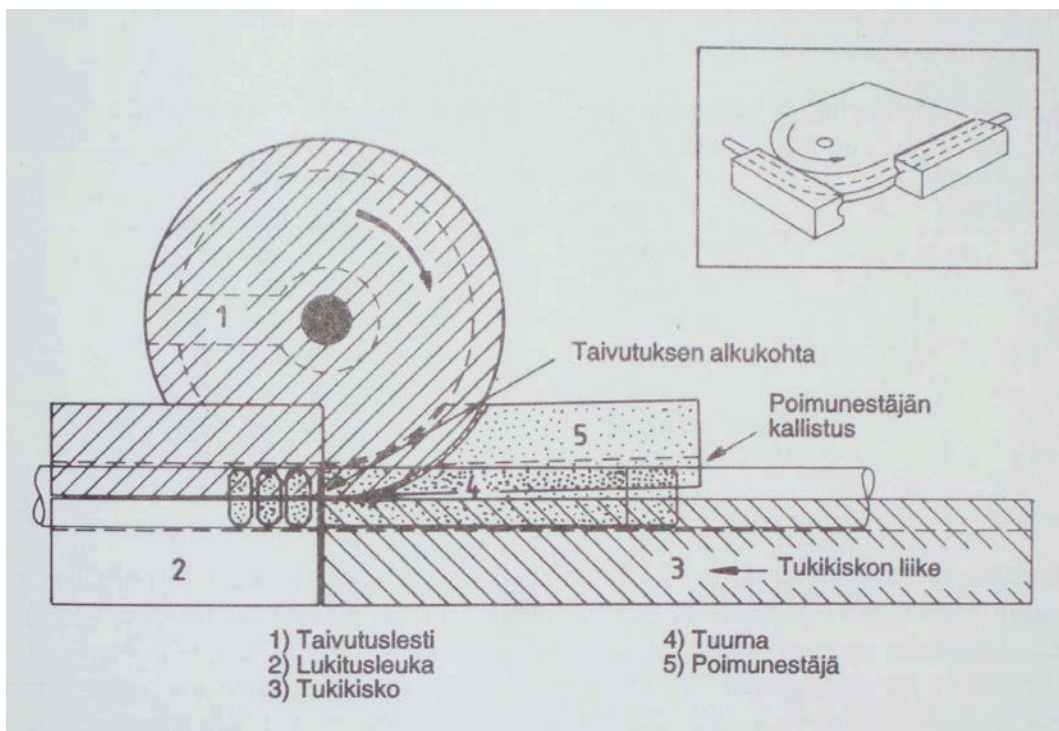
- Vetotaivutus
- Työntötaivutus
- Rullataivutus
- Puristintaivutus

Keskeisin asia taivutusmenetelmää valittaessa on putken  $D/t$  eli putken ulkohalkaisijan suhde seinämäpaksuuteen ja saavutettava minimitaivutussäde. Muita huomioitavia asioita ovat muun muassa tuotantokapasiteetti, putken materiaali ja valmiilta tuotteelta vaadittava laatu. (Röytiö 1994, 26.) Hydrauliiikaputkien taivutuksessa yleisimmät menetelmät ovat vetotaivutus ja työntötaivutus, koska näillä menetelmillä saavutetaan pienempi taivutussäde sekä parempi taivutustarkkuus.

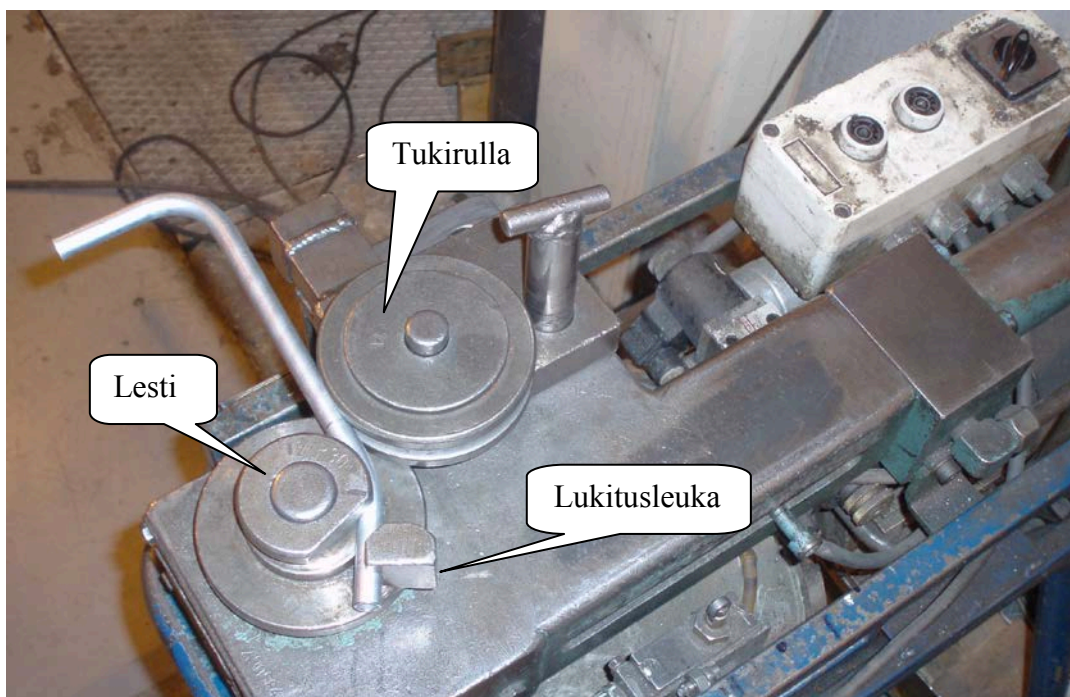
### 4.1.1 Vetotaivutus

Vetotaivutuksella saavutetaan pienempiä taivutussäteitä suuremmilla  $D/t$ -suhteilla kuin muilla menetelmillä, koska tällä menetelmällä on mahdollista käyttää putken sisäpuolista tuurnaa. Menetelmän heikkouksia työntötaivutukseen nähden ovat korkeammat kustannukset, suurempi ulkoseinämän oheneminen sekä putken päähän jäävä lukitusleuan vaatima taivuttamaton osuus. (Röytiö 1994, 26.) Ylimääräinen suora osuus voidaan poistaa taivutuksen jälkeen, mutta tämä lisää valmistuskustannuksia huomattavasti.

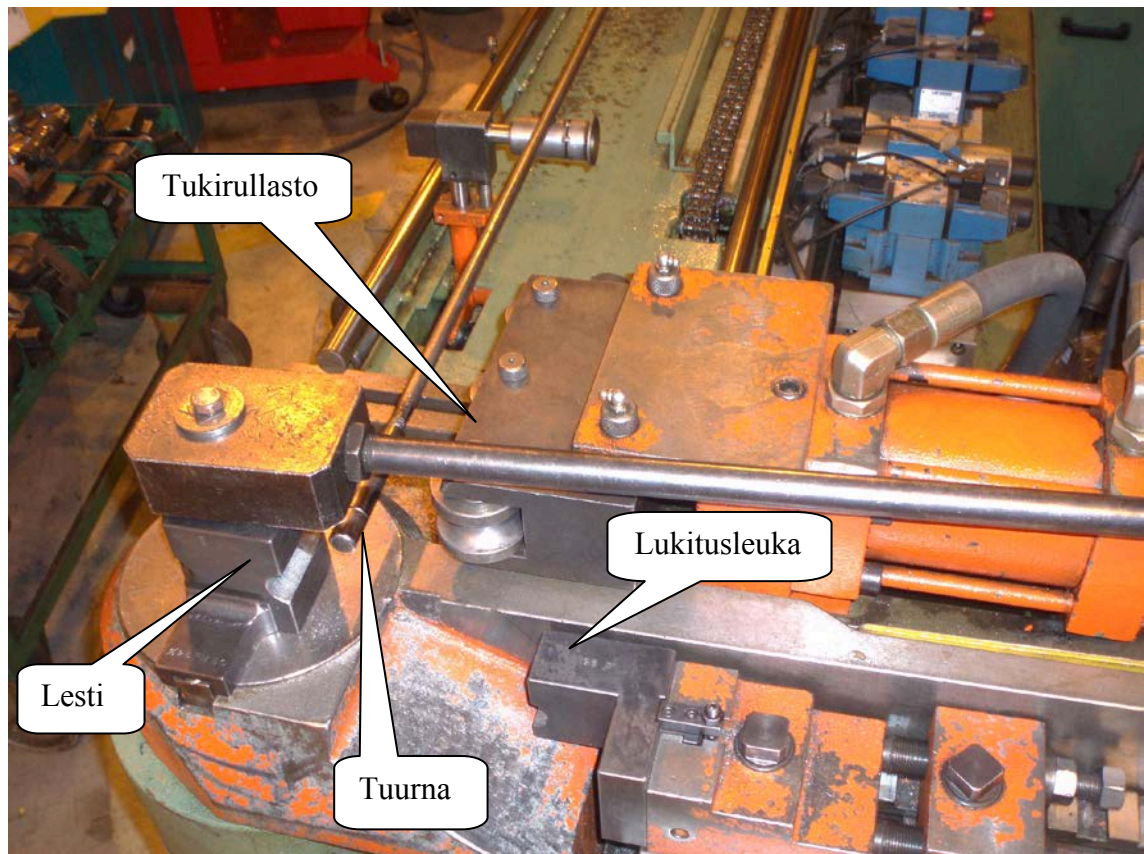
Kuviossa 3 (Röytiö 1994, 27) on esitelty vetotaivutuksen periaate. Taivutuslesti liikkuu putken ja lukitusleuan mukana. Tukikisko voi myös pysyä paikallaan toimien luistin tavoin tai se voi olla korvattu tukirullilla. Tuurnaa käytetään suuremmilla  $D/t$ -suhteilla sekä pienillä taivutussäteillä. Poimunestintä käytetään pienisäteisissä taivutuksissa ehkäisemään taivutuksen alkuun syntyvän poimun syntymistä. Kuvioissa 4 ja 5 on esitetty kaksi erityyppistä vetotaivutuskonetta.



Kuvio 3. Vetotaivutuksen sekä käytettävien työkalujen periaatekuva (Röytiö 1994, 27)

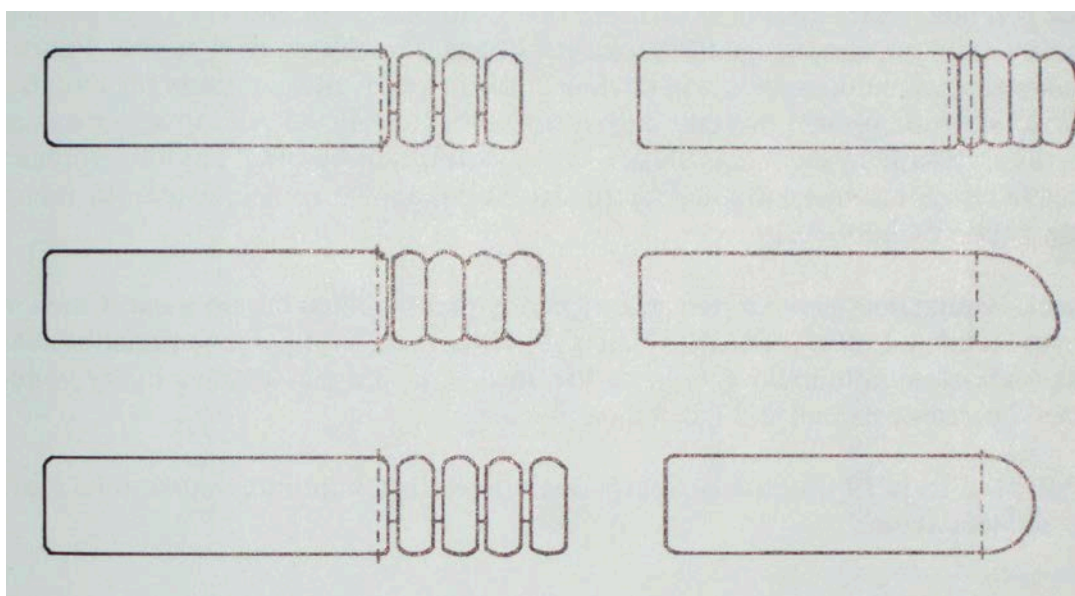


Kuvio 4. . Vetotaivutustyyppinen manuaalitaivutuskone (Kuva: Risto Voutilainen 2011)



Kuvio 5. Vetotaivutustyyppinen CNC-taivutuskone (Kuva: Risto Voutilainen 2011)

Tuurna voi olla malliltaan joko tappi, lusikka tai pallo. Tuurnamalleja on esitelty kuviossa 6 (Röytiö 1994, 29). Tappituurna on tuurnamalleista yleisin ja sitä käytetään kohtalaisen suurella säteellä pienellä  $D/t$ -suhteella. Pallotuurnia käytetään erityisen pienellä säteellä ja erityisen suurella  $D/t$ -suhteella taivutettaessa.



Kuvio 6. Erilaisia tuurnamalleja (Röytiö 1994, 29)

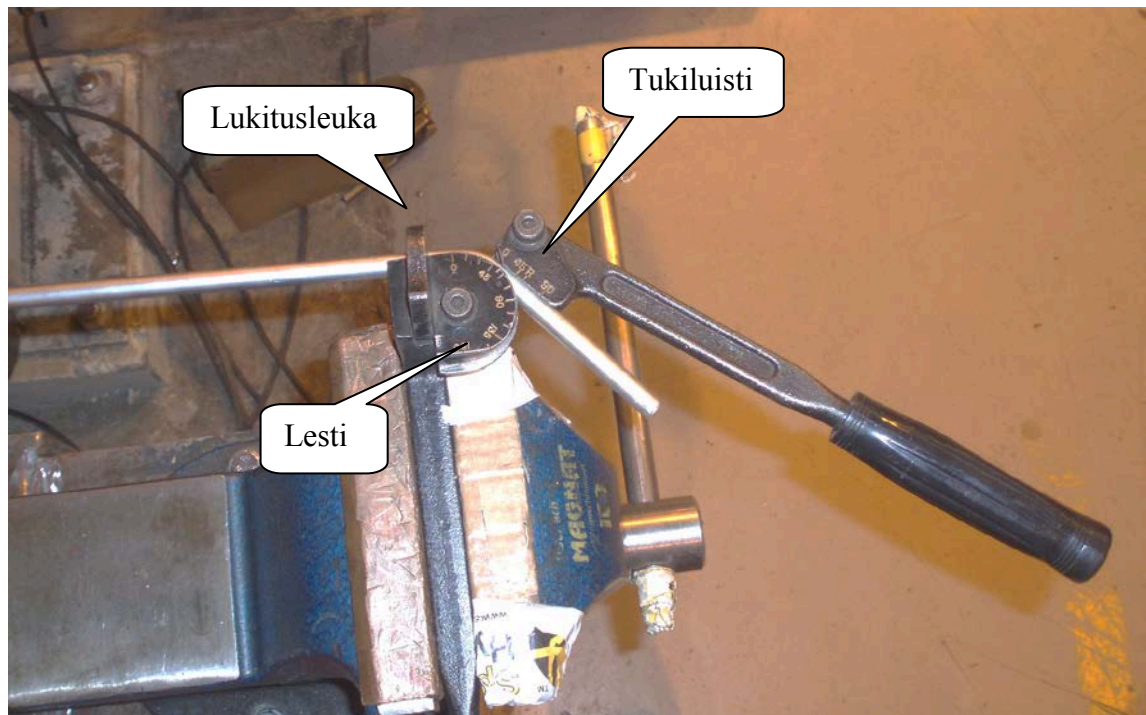


Tuurna vaatii voitelun. Öljypohjaisten voiteluaineiden haittapuolena on, että voiteluaine on yleensä pestävä putken sisältä pois. Voiteluaineissa onkin siirrytty nykyaikaisiin vesipohjaisiin voiteluaineisiin. Näiden etuina ovat puhtaus, öljyttömyys sekä ympäristöystävällisyys. Tuurnalla taivutettaessa jää yksi työvaihe kokonaan pois, koska putkea ei tarvitse pestä sisäpuolelta taivutuksen jälkeen. Nykyaikaisen vesipohjaisen voiteluaineen viskositeetti kasvaa lämpötilan noustessa päinvastoin kuin öljypohjaisella voiteluaineella, mikä parantaa voitelutehoa huomattavasti. Aineet suojaavat työkaluja jo hyvin ohuena kalvona, joten nestettä tarvitaan 50 % vähemmän. (Vossi 2011.)

#### 4.1.2 Työntötaivutus

Työntötaivutuksessa lukitusleuka sijaitsee ennen taivutuspäätä päinvastoin kuin vetotaivutuksessa. Tukikiskot tai -rullat liukuvat suhteessa putkeen ja painavat putken taivutuslestin muotoon.

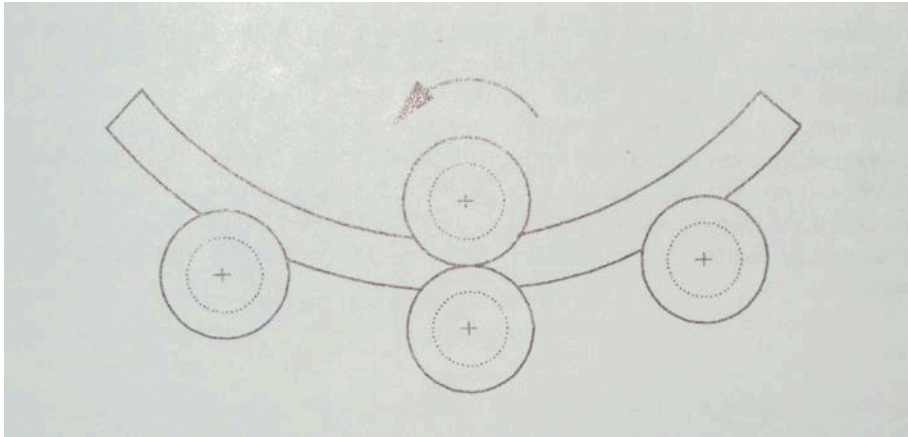
Koska työntötaivutuksessa ei ole mahdollista käyttää tuurnaa, ei sillä voida saavuttaa yhtä pieniä taivutussäteitä kuin vetotaivutuksella. Sen sijaan seinämäpaksuus säilyy paremmin, mutta poikkileikkauksen muodonmuutokset ovat suurempia. Kuvassa 7 on esitetty työntötaivutustyyppinen käsitaivutin.



Kuvio 7. Työntötaivutustyyppinen käsitaivutin (Kuva: Risto Voutilainen 2011)

#### 4.1.3 Rullataivutus

Rullataivutus soveltuu parhaiten loivien taivutusten valmistamiseen. Se on yksinkertainen menetelmä ja etuna on sen edullisuus. Putki ohjataan rullien läpi, jolloin haluttu taivutus saavutetaan. Menetelmä on esitetty kuviossa 8 (Röytiö 1994, 33).

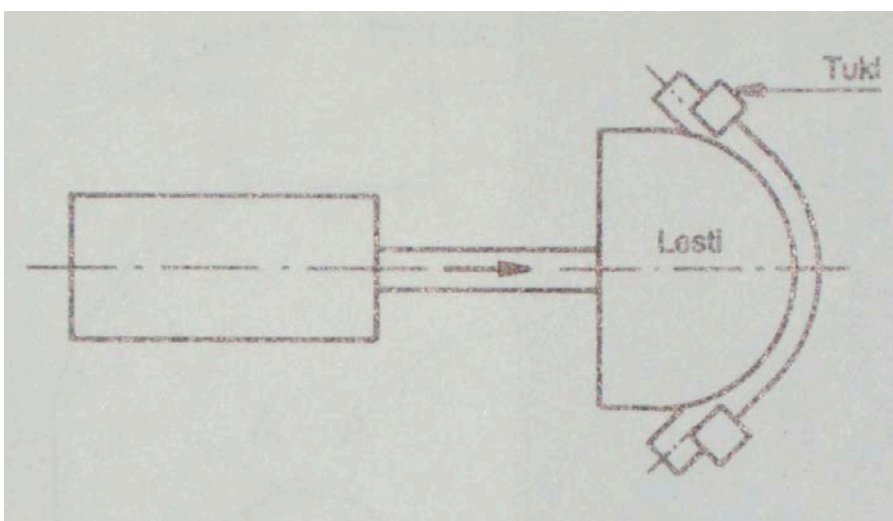


Kuvio 8. Rullataivutuksen periaate (Röytiö 1994, 33)

#### 4.1.4 Puristintaivutus

Puristintaivutus on taivutusmenetelmistä yksinkertaisin. Heikkoutena on sen huono taivutustarkkuus. Menetelmä soveltuu loivien taivutuskulmien valmistamiseen.

Kuviossa 9 (Röytiö 1994, 35) on esitetty puristintaivutuksen periaate. Puristin painaa taivutuslestin putkea vasten, jota tuetaan molemmilta puolilta. Tuet ovat tavallisesti rullia, jotka pyörivät putken mukana.



Kuvio 9. Puristintaivutuksen periaate (Röytiö 1994, 35)

## 5 PUTKENTAIVUTUSKONE BEDRAZZOLI BEND MASTER E-65

Italialaisvalmisteinen taivutuskone Bedrazzoli Bend Master E-65 (kuvio 10) ja sen itävaltalaisvalmisteinen ohjausyksikkö Cybelec CNC 7300C (kuvio 11) on valmistettu vuonna 1989. Kone on ollut kaikki vuodet aktiivisessa käytössä, ensin Kalmarin omassa tuotannossa, kunnes se vuonna 2001 siirtyi ulkoistamisen myötä nykyisen Specma Hydraulic Oy:n omistukseen. Kone on ollut mekaanisilta ominaisuuksiltaan erittäin toimintavarma. Ainoat toimintahäiriöt ovat ilmenneet lähinnä ohjausyksikön toiminnassa.



Kuvio 10. Bend Master E-65 putkentaivutuskone (Kuva: Risto Voutilainen 2011)

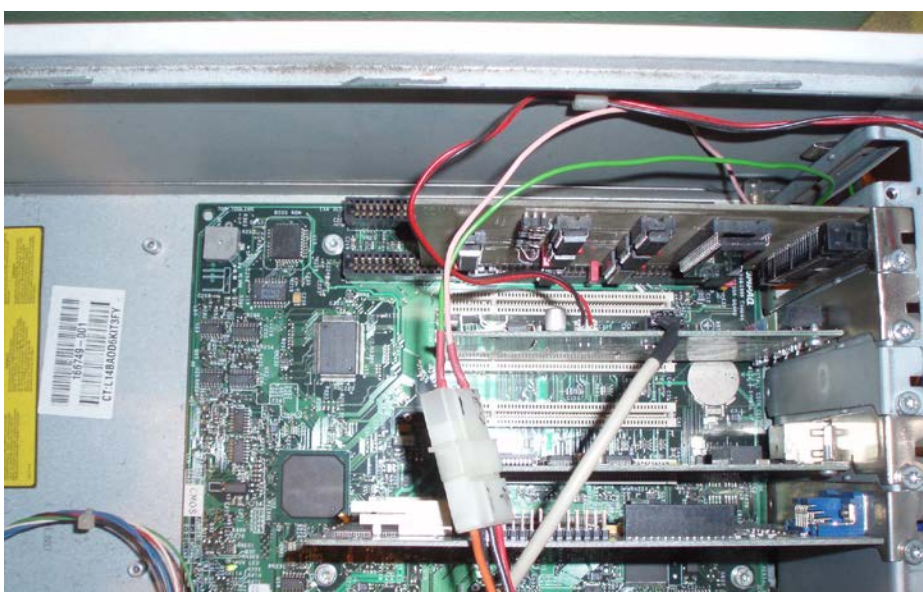
Kone on alkujaan tarkoitettu putkikokojen 16-65mm taivuttamiseen, kun tänä päivänä tuotanto koostuu lähinnä 6-30mm:n putkista. Vaikka koneeseen on myöhemmin hankittu lisäosia 10mm:n putken taivuttamiseen, on se silti liian iso ja raskastekoinen nykyisen tyyppiseen tuotantoon. Rajoituksia aiheuttavat koneen fyysiset mitat. Kahden taivutuksen välinen suora jää väistämättä joskus liian suureksi. Lisäksi viimeisen taivutuksen jälkeinen suora jää useasti pidemmäksi kuin olisi tarkoitus.





Kuvio 11. Cybelec 7300C –ohjausyksikön etupaneeli (Kuva: Risto Voutilainen 2011)

Cybelec 7300C –ohjausyksikön muistikapasiteetti käsittää ainoastaan 550 taivutusta, mikä käytännössä tarkoittaa vain noin sata putkiohjelmia. Muistikapasiteetin lisäämiseksi ohjausyksikkö on kytketty ulkopuoliseen PC-laitteeseen ISA-väylää (kuvio 12) pitkin. ISA-väylä on vanhanaikainen oheislaitteväylä, joita ei nykyaikaisissa tietokoneissa enää ole. Ongelmia aiheuttaa lisäksi ohjausyksikön hitaus, jonka takia tietokonetta on jouduttu ohjelmallisesti hidastamaan. Ohjausyksikössä ei myös ole minkäänlaista CAM-yhteensopivuutta, jonka takia se on ehdottomasti vanhanaikainen tämän päivän tuotantoon.



Kuvio 12. ISA-väylään kytketty kortti kuvassa ylimpänä (Kuva: Risto Voutilainen 2011)

## 6 3D-MITTALAITTE FARO TITANIUM ARM

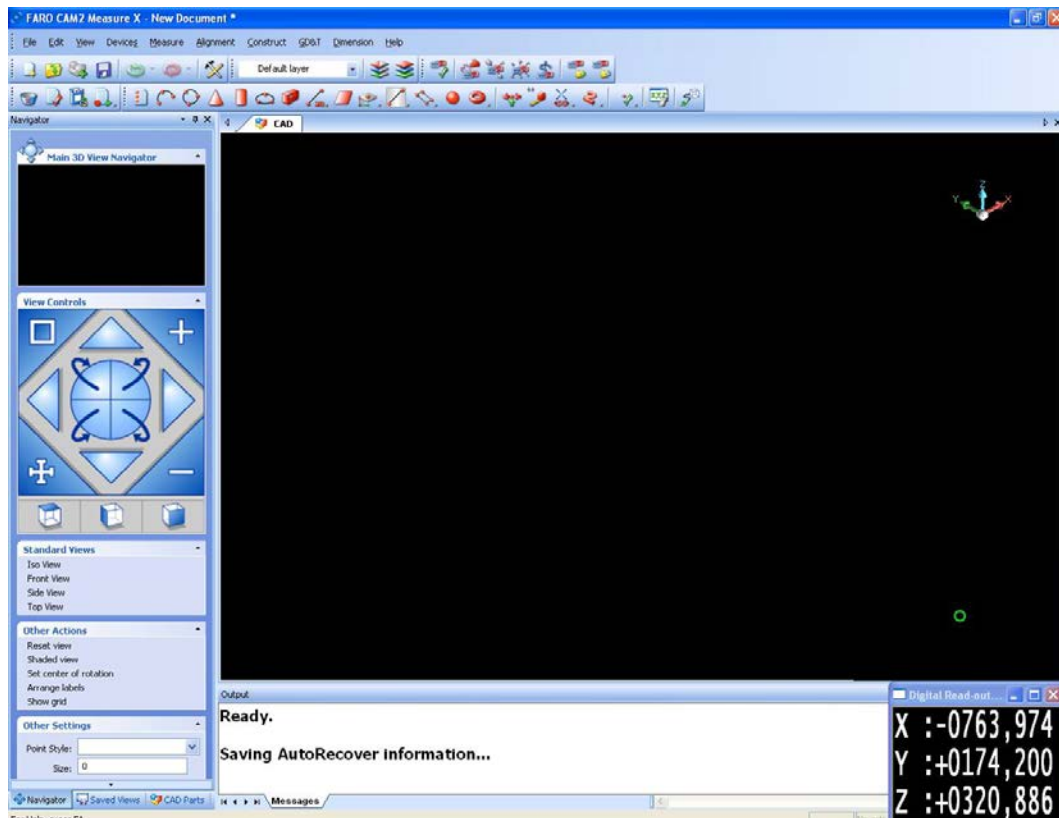
Malliputkien mittaamista ja valmiiden putkien tarkistusmittauksia varten käytössä on kuusiakselinen Faro Titanium Arm 3D-mittalaite (kuvio 13). Mittalaite on kuin käsivarsi, jossa on kolme taittuvaa ja kiertyvää niveltä. Laite kiinnitetään pöytään voimakkaalla magneetilla. Mittapäänä on pallo, joita on erikokoisia. Jos mitattava kappale on isompi kuin varren ulottuma, voidaan mittalaitetta siirtää kesken mittauksen kiinteän siirtopisteen avulla.



Kuvio 13. Putken mittausta Faro 3D-mittalaitteella (Kuva: Risto Voutilainen 2011)

Mittalaitetta hallitaan PC-koneeseen asennetulla Faro Cam 2 –ohjelmistolla (kuvio 14). Putken mittaamiseksi valitaan ohjelmiston työkaluvalikosta mittaustavaksi ”Measure - Round Tube”. Tämän jälkeen ohjelmiston ohjeita seuraamalla mitataan ensin putken alkupää vähintään neljällä pisteellä. Sen jälkeen mitataan putken kukin suora osuus vähintään yhdeksällä pisteellä ja lopuksi putken loppupää vähintään neljällä pisteellä. Tulokseksi ohjelmisto antaa putken mitat 3D-koordinaatteina, konekoordinaatteina, putken halkaisijan sekä taivutussäteen. Putkea ei mitata ollenkaan taivutuksen kohdalta, joten taivutussäde on ohjelmiston tekemä arvio. Sekä taivutussäde että putken halkaisija voidaan korjata manuaalisesti mittauksen jälkeen vastaamaan nimellistä mitta. Tämän jälkeen mittaustulokset voidaan tulostaa 3D-kuvan kanssa paperille.





Kuvio 14. Faro Cam 2 –ohjelmiston aloitusruutu

Mittalaitteen käyttöohjekirja ilmoittaa mittatarkkuudeksi  $\pm 0,086\text{mm}$ . Yleisiä virhelähteitä koordinaattimittauksessa ovat muun muassa (Andersson, Paul 1997, 76)

- mittaaja
- lämpötilaerot ja lämpölaajeneminen
- ilmavirtaus
- kappaleen kiinnityksestä aiheutuvat muodonmuutokset ja liikkuminen
- kappaleen pinta, karheus, pehmeys ja lika
- mittapään lika tai kuluneisuus
- laitteen muodonmuutokset
- laitteen kalibrointi
- koneen ohjelmisto

Putkia mitattaessa kappaleen kiinnityksestä aiheutuvat muodonmuutokset ja liikkuminen ovat suurimmat virhelähteet. Erityisesti ohuiden ja pitkien putkien kiinnittäminen on vaikeaa ilman että putki joustaisi mittalaitteen kosketuksen voimasta.

## 7 PUTKEN TAIVUTTAMINEN

### 7.1 Putken venymä

Putkea taivutettaessa eri taivutusmenetelmien putkeen kohdistamat rasitukset ovat samankaltaisia. Sisäkaarteessa vallitsee puristusjännitys ja ulkokaarteessa vetojännitys. Pienellä taivutussäteellä saattaa ulkokaarteen venymä muodostua rajoittavaksi tekijäksi. Saavutettava keskitaivutussäde voidaan arvioida seuraavalla kaavalla (Röytiö 1995, 37)

$$R = 50 \cdot \frac{D}{A_5} \quad (1)$$

jossa  $R$  on saavutettava keskitaivutussäde (mm)

$D$  on putken halkaisija (mm)

$A_5$  on vetokokeen ilmoittama murtovenymä (%)

Kaava ohjeellinen ja todellinen minimitaivutussäde selviää vain kokeilemalla. Alalla vallitsevan käytännön mukaan tulisi hydrauliiikkaputken minimitaivutussäde olla vähintään kaksi kertaa putken halkaisija. Johdinputkistandardi EN10305-4 (taulukko 1) ilmoittaa yleisimmän hydrauliikkaputkityypin E235:n vähimmäismurtovenymäksi 25%. Kun tämä sijoitetaan yllä olevaan kaavaan, saadaan säteeksi juurikin kaksi kertaa halkaisija:

$$R = 50 \cdot \frac{D}{25} = 2D$$

Taulukko 1. Johdinputkien mekaaniset ominaisuudet huoneenlämmössä

Steel grade		Yield strength <sup>a</sup> $R_{eH}$ min. MPa	Tensile strength $R_m$ min. MPa	Elongation $A$ min. %
Name	Number			
E215	1.0212	215	290 to 430	30
E235	1.0308	235	340 to 480	25
E355	1.0580	355	490 to 630	22

<sup>a</sup> For tubes with outside diameter  $\leq 30$  mm and wall thickness  $\leq 3$  mm, the  $R_{eH}$  minimum values are 10 MPa lower than the values given in this table.

NOTE The steel grades defined in this part of EN 10305 have an intrinsic minimum transverse impact energy of 27 J at 0 °C.

Taivutettaessa putken ulkoreuna venyy aina enemmän kuin putken sisäreuna painuu kasaan. Koska CNC-koneella taivutettaessa putki katkaistaan määrämittaansa ennen taivutusta, on tämä venymä huomioitava taivutusparametreja asetettaessa. Venymä on selvitettävä aina putkikohtaisesti kokeilemalla. Venymän selvittämistä on käsitelty kappaleessa 8.1 Korjausparametrien selvittäminen.

## 7.2 Takaisinjousto

Takaisinjousto on putkikohtainen ja riippuu putken materiaalista, seinämävahvuudesta, sekä taivutussäteestä. Takaisinjousto ja sen myötä todellinen taivutussäde kasvavat, kun taivutuksen  $R/D$ -suhde ja putken seinämävahvuus kasvavat. Taivutuskulman kasvaminen vaikuttaa takaisinjoustoan ja todelliseen taivutussäteeseen lineaarisesti. Takaisinjoustoan vaikuttavat materiaaliominaisuudet ovat

- Kimmokerroin
- Myötöraja
- Todellisen jännitysvenymäkäyrän muoto, johon vaikuttaa myös muovausnopeus

Teräsputkilla, joita hydraulikkaputketkin ovat, merkittävimmät takaisinjoustoan vaikuttavat materiaaliominaisuudet ovat seinämäpaksuus ja myötölujuus (Röytiö 1994, 44). Seinämäpaksuuden kasvaessa takaisinjousto pienenee ja myötölujuuden kasvaessa takaisinjousto suurenee. Muiden materiaaliominaisuuksien vaikutus on hyvin pieni.

Takaisinjouston takia on taivutukseen lisättävä ylitaivutusta. Cybelec CNC 7300C - ohjauksessa ylitaivutus muodostuu vakioista  $C$  sekä kertoimesta  $K$ . Cybelec CNC 7300 C käyttöohjeen mukaisesti ylitaivutuksen selvittämiseksi tehdään kaksi koemutkaa:  $20^\circ$  sekä  $120^\circ$ . Näin saadaan poikkeamat:

$$\Delta\alpha = 20^\circ - \alpha(20) \quad (2)$$

$$\Delta\beta = 120^\circ - \beta(120) \quad (3)$$

jossa  $\alpha(20)$  on mittaustulos ( $20^\circ$ )

$\beta(120)$  on mittaustulos ( $120^\circ$ )

Tästä saadaan kerroin ylitaivutuskerroin  $K$ :

$$K = \frac{\Delta\beta - \Delta\alpha}{120^\circ - 20^\circ} = \frac{\Delta\beta - \Delta\alpha}{100^\circ} \quad (4)$$

Vakioarvo  $C$  lasketaan kaavalla:

$$C = \Delta\alpha - 20^\circ \cdot K = \Delta\beta - 120^\circ \cdot K \quad (5)$$

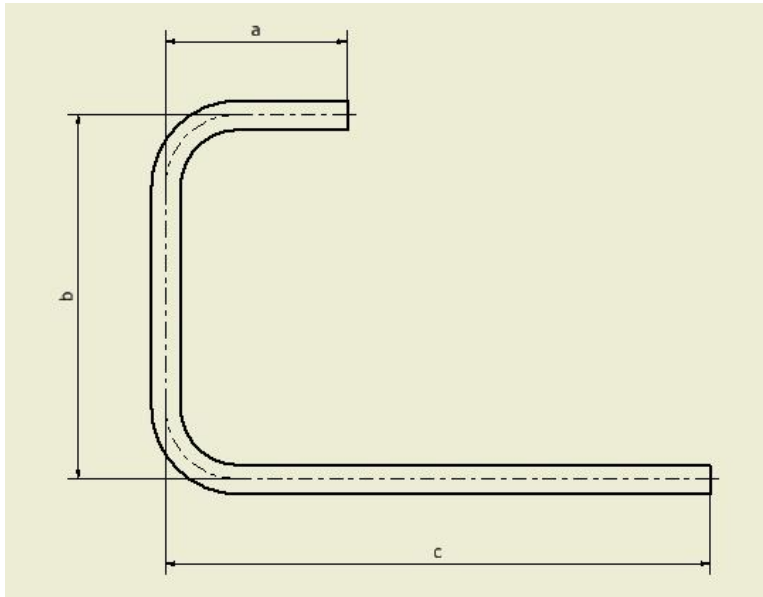
### 7.3 Laskennallinen säde ja X-suuntainen korjaus

Putken todellinen katkaisumitta on aina vastaavaa piirustusmittaa pienempi. Tähän vaikuttaa erityisesti putken venymä mutta myös ylitaivutus. Ylitaivutuksen ansiosta on mutkan todellinen säde suurempi kuin nimellinen säde, jolloin syntyy niin sanottu mutkan oikaisu. Mutkan oikaisua kompensoidaan X-suuntaisella korjauksella, joka Cybelec 7300C –ohjauksella tehdään manuaalisesti. X-korjaus on riippuvainen ylitaivutuskertoimesta.

Putken venymä ja mutkan oikaisu lyhentävät katkaisumittaa suhteessa piirustusmittaan. Koska Cybelec 7300C –ohjausyksikköön ei ole mahdollista syöttää putken venymä- eikä mutkan oikaisuarvoja, täytyy näiden asioiden kompensoimiseksi määritellä laskennallinen säde.

Laskennallisen säteen määrittäminen tapahtuu taivuttamalla putki ja vertaamalla taivutetun putken mittoja ohjelman mittoihin. Helpoin tapa tehdä tämä, on taivuttaa putkeen kaksi  $90^\circ$ :n mutkaa. Mutkien lukumäärällä tai asteluvulla ei sinänsä ole merkitystä, mutta  $90^\circ$ :n mutkat helpottavat mittaamista sekä korjausarvojen laskemista. Lisäksi kahden  $90^\circ$ :n mutkan välillä on helppo tarkistaa X-korjauksen oikeellisuus.

Esimerkkitapauksessa taivutetaan putkeen kaksi  $90^\circ$ :n mutkaa (kuvio 15).



Kuvio 15. Esimerkkiputki

Ohjelmoidaan putken koordinaatit ja lisätään ylitaivutuskertoimen mukaiset X-korjaukset. X-korjaus  $90^\circ$ :n taivutukselle lasketaan kaavalla

$$X(90^\circ) = R(nim) - R(tod) \quad (6)$$

,jossa  $X(90^\circ)$  on korjaus taivutuksen molemmin puolin (mm)

$R(nim)$  on nimellinen säde (mm)

$R(tod)$  on todellinen säde (mm)

$R(tod)$  taas saadaan kaavalla

$$R(tod) = R(nim) \cdot (1 + K + C/90) \quad (7)$$

,jossa  $K$  on ylitaivutuskerroin ja  $C$  on ylitaivutusvakio. Teoriassa korjausarvo muuttuu lineaarisesti suhteessa kulmaan, mutta jos putkelta vaaditaan äärimmäistä tarkkuutta, selviää oikea korjausarvo ainoastaan kokeilemalla.

Ongelman tuottaa ylitaivutuksen vakioarvo C:n selvittäminen, koska sen suuruus on riippuvainen tukiluistin rullien säädöstä. Käytännön mukaisesti tukiluistin rullat säädetään niin, että vakioarvo C kompensoituu pois, jolloin sitä ei tarvitse ohjelmallisesti asettaa. Siitä huolimatta arvo on olemassa ja se vaikuttaa X-korjauksen sekä laskennallisen säteen arvoon. Voidaan siis todeta, että X-korjauksen arvo löytyy ainoastaan kokeilemalla.

Taivutussäteeksi syötetään nimellissäde tai oletettu laskennallinen säde. Taivutetaan putki ja mitataan mitat a ja b. Jos niissä havaitaan poikkeamia, tehdään muutokset X-korjauksiin. Kun mitat a ja b ovat oikein, mitataan mitta c. Putken venymä näkyy mitan c liiallisena pituutena. Merkitään putken pituuden poikkeamaa muuttujalla  $\Delta l$ , joka ratkeaa peruskaavalla

$$\Delta l = \frac{2\pi \cdot \Delta R \cdot \Sigma \alpha}{360^\circ} \Rightarrow \Delta R = \frac{\Delta l \cdot 360^\circ}{2\pi \cdot \Sigma \alpha} \quad (8)$$

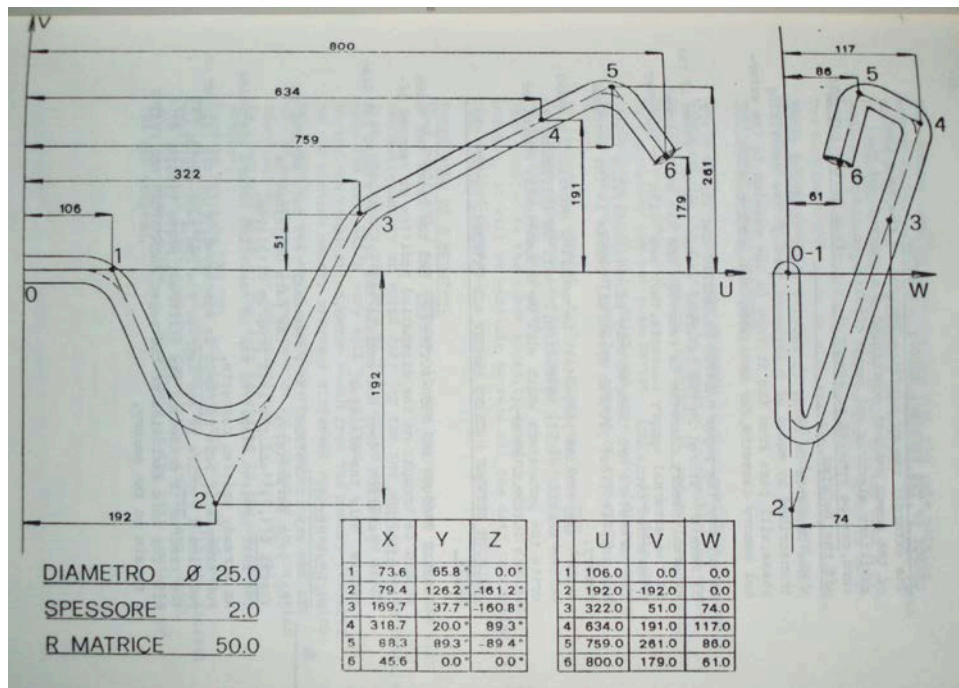
jossa  $\Delta R$  on säteen muutos.

Tästä voidaan pituuden korjaamiseksi laskea uusi säde kaavalla

$$R_{\text{ uusi }} = R_{\text{ vanha }} - \frac{\Delta l \cdot 360}{2 \cdot \pi \cdot \Sigma \alpha} = R_{\text{ vanha }} - \frac{\Delta l \cdot 180}{\pi \cdot \Sigma \alpha} \quad (9)$$

#### 7.4 Ohjelmointi

Taivutuskoneen ohjelmointi suoritetaan joko konekoordinaateilla XYZ tai avaruuskoordinaateilla UVW. Konekoordinaateissa X vastaa putken pituussuuntaista liikettä, Y taivutuskulmaa ja Z kiertokulmaa. Avaruuskoordinaateilla UVW määritetään taivutuksen kuviteltu leikkauspiste. Koordinaatit on esitetty kuviossa 16.



Kuvio 16. Ohjelmointikoordinaatistot (Cybelec käyttöohje, 60)

Jokaisella putkikoolla ja -tyypillä on omat korjausparametrinsä, jotka tulee syöttää ohjelmaan. Näitä ovat ylitaivutuskerroin, laskennallinen säde ja pituussuuntainen X-korjaus, jolla kompensoidaan ylitaivutuksesta aiheutuvaa mutkan oikaisua. Avaruuskoordinaateilla ohjelmoitaessa tulee koordinaatit muuttaa konekoordinaateiksi ennen taivutusta ohjausyksikön laskentatoiminnolla (Calculate UVW  $\rightarrow$  XYZ). Konekoordinaattien perusteella lasketaan putken katkaisumitta (Calculate Tube Length).

Taivutuskoneen fyysiset mitat tekevät tiettyjä rajoituksia ohjelmointiin. Taivutettavan putken suurin mahdollinen katkaisumitta kyseisellä koneella on kuusi metriä. Tämä on varsin riittävä mitta, koska putkiaihiot tehtaalta tullessaan ovat niin ikään kuusi metriä pitkiä. Sen sijaan enemmän ongelmia tuottaa kahden taivutuksen välisen suoran ja viimeisen taivutuksen jälkeisen suoran osuudet. Viimeisen suoran jälkeisen osuuden eli niin sanotun hännän pituus on melko suuri. Puristinholkin, jolla putkeen tartutaan, vähimmäisetäisyys on 250mm. Vaikka putki tarvittaessa irtoaa puristinholkista viimeistä mutkaa taivutettaessa, jää hännän mitaksi taivutuskulmasta ja -säteestä riippuen noin 150-250mm. Kahden taivutuksen välisen suoran osuus on minimissään lestin ja lukitusleuan mitta eli 30-90mm. Kiertokulmasta riippuen mitta voi olla huomattavasti suurempi, koska taivutettu osuus putkesta voi ottaa koneen runkoon kiinni. Koska käytössä ei ole minkäänlaista mallinnusohjelmaa, on muutoinkin koneen rungon ja lattian asettamien rajoitusten selvittäminen hankalaa ja usein selviää ainoastaan kokeilemalla.

## 8 KÄSITTELY

### 8.1 Korjausparametrien selvittäminen

#### 8.1.1 Koemittaukset 16x2 putkelle

Ylitaivutuskertoimen selvittämiseksi koemielessä tehtiin 20°:n ja 120°:n koetaivutuksia kappaleessa 7.2 Takaisinjousto esitetyn ohjeen mukaisesti. Putkena oli E235 standardin mukainen 16x2mm:n hydrauliiikan johdinputki, jonka ylitaivutuskertoimenä oli käytetty 1,7%:a. Taivutetut putket mitattiin Faro Platinum Arm 3D-mittalaitteella. Mittavirheiden huomioimiseksi kumpikin taivutus suoritettiin kolmeen kertaan sekä jokainen putki mitattiin kolmeen eri kertaan. Saadut tulokset on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Ylitaivutuskerroin, putkikoko 16x2

Putki	Mittaus 1	Mittaus 2	Mittaus 3	KA
1	19,45	19,47	19,44	19,45
2	19,48	19,41	19,46	19,45
3	19,40	19,39	19,40	19,40
				19,43
Putki	Mittaus 1	Mittaus 2	Mittaus 3	KA
1	118,05	118,03	118,04	118,04
2	118,15	118,15	118,13	118,14
3	117,80	117,78	117,78	117,79
				117,99

Saadut mittaustulosten keskiarvot sijoitettiin kaavoihin 2-5.

$$\Delta\alpha = 20^\circ - 19,43^\circ = 0,57^\circ$$

$$\Delta\beta = 120^\circ - 117,99^\circ = 2,01^\circ$$

$$K = \frac{\Delta\beta - \Delta\alpha}{120^\circ - 20^\circ} = \frac{2,01^\circ - 0,57^\circ}{100^\circ} = 1,44\%$$

$$C = \Delta\alpha - 20^\circ \cdot K = 0,57^\circ - 20^\circ \cdot 1,44\% = 0,28^\circ$$



Näin ollen saatiin ylitaivutuskertoimeksi 1,4%, kun kyseisen putken ylitaivutuskertoimena oli käytetty 1,7%:a. Ylitaivutusvakioksi saatiin 0,3°, kun käytännön mukaisesti se tulisi kompensoida pois tukiluistin rullia säätämällä. Syitä poikkeamaan on vaikea arvioida, koska tiedossa ei ole kuinka alkuperäiset arvot on aikoinaan määritetty. Putkissa on havaittu materiaalipoikkeamia, jotka vaikuttavat suurestikin taivutukseen. Toinen vaihtoehto on, että ylitaivutuserroin on alkujaan määritetty huolimattomasti. Taivutustyökaluja vaihdettaessa taivutetaan 90°:n koemutka, joka asetetaan tarkaksi tukiluistin rullia säädettäessä. 90°:n taivutus on siis aina tarkka riippumatta ylitaivutuskertoimesta, mikäli vain työkalujen vaihto tehdään huolellisesti. Poikkeamaa syntyy siis vain selkeästi loivempiin tai jyrkempiin taivutuksiin.

Korjausparametrien korjaamisessa jälkikäteen on ongelma, että se joudutaan tekemään erikseen jokaiseen jo tehtyyn ohjelmaan. Tässä tapauksessa se tarkoittaisi jopa satoja ohjelmia. Tämän takia tarkasteltiin teoreettisesti virheen suuruutta eri ylitaivutusarvoilla.

180°:n taivutus:

$$\left(180^\circ \cdot \frac{1.017}{1.014} - 0.3^\circ\right) = 180.23^\circ$$

20°:n taivutus:

$$\left(20^\circ \cdot \frac{1.017}{1.014} - 0.3^\circ\right) = 19,76^\circ$$

Suurimmalla mahdollisella 180°:n taivutuskulmalla poikkeama on +0,23° ja 20°:n taivutuskulmalla -0,24°. Poikkeamien pienuudesta johtuen päätettiin, että korjausarvoja ei aleta muuttamaan.

Koetaivutuksia jatkettiin X-korjauksen ja laskennallisen säteen tarkistamiseksi. Taivutettiin kuvion 5 mukainen putki kappaleen 7.3 ohjeiden mukaisesti. Arvoiksi asetettiin suoraan käytössä vakiintuneet  $X=-1/90^\circ$  ja  $R=38,2$  nimellisen säteen ollessa 40. Putken mitat ohjelmoitiin seuraavasti:

a=100

b=200

c=300

Taivutettiin kolme putkea, jotka mitattiin Faro 3D-mittalaitteella. Tulokset on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. Laskennallinen säde, putkikoko 16x2

Putki	a	b	c
1	101,1	200,2	299,6
2	100,2	200,4	299,6
3	100,1	200,4	299,8
KA	100,5	200,3	299,7

1,1mm:n poikkeama putken 1 a-mitassa johtuu todennäköisesti putkiahion huolimattomasta katkaisusta. Muuten a- ja b-mitan poikkeamista voidaan havainta, että X-korjaus on 0,1-0,2mm liian pieni. Taivutuksen c-mitta taas oli keskimäärin 0,3mm lyhyt. X-arvon muuttaminen  $-1,1/90^\circ$ :een lyhentäisi kyseisellä taivutuksella a-mittaa yhdellä mm:llä, b-mittaa kahdella mm:llä ja pidentäisi c-mittaa kolmella mm:llä. Tällöin päästäisiin todella lähelle ohjelmoituja arvoja. Kyseiset poikkeamat ovat kuitenkin huomattavan pieniä, ja esimerkiksi b-mitan maksimipoikkeamaa 0,4mm on melko vaikeaa edes todentaa tavanomaisilla mittalaitteilla kuten rullamitalalla. Voidaankin siis todeta, että jo valmiisiin ohjelmiin ei ole syytä tehdä muutoksia tämän mittauksen perusteella, mutta jatkossa voidaan ottaa huomioon saadut tulokset.

#### 8.1.2 Mittaukset 10x1,5 putkelle

Suoritettiin mittaukset korjausparametrien selvittämiseksi E235 10x1,5mm:n hydraulikan johdinputkelle. Arvojen laskemisessa käytettiin hyväksi työn aikana laadittua Correction-Excel-ohjelmaa. Ylitaivutuskertoimen selvittämiseksi tehtiin  $20^\circ$ :n ja  $120^\circ$ :n taivutuksia edellä mainittuun tapaan. Tulokset on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 4. Ylitaivutuskerroin, putkikoko 10x1,5

Putki	Mittaus 1	Mittaus 2	Mittaus 3	KA
1	19,67	19,69	19,68	19,68
2	19,64	19,65	19,63	19,64
3	19,63	19,67	19,64	19,65
				19,66
Putki	Mittaus 1	Mittaus 2	Mittaus 3	KA
1	117,68	117,70	117,69	117,69
2	117,66	117,67	117,68	117,67
3	117,76	117,75	117,75	117,75
				117,70

20°:n taivutuksen keskiarvoksi saatiin 19,66° ja 120°:n 117,70°. Arvot syötettiin Correction-Excel-ohjelmaan, jolloin saatiin K:n arvoksi 1,96% ja C:n arvoksi -0,052°.

X-korjauksen ja laskennallisen säteen selvittämiseksi jatkettiin taivuttamalla kuvan xxxx mukaisia putkia. Putken mitat ohjelmoitiin seuraavasti:

$$a=135$$

$$b=170$$

$$c=335$$

X-korjauksen arvoksi asetettiin  $-1/90^\circ$  ja R:n arvoksi nimellismitta eli 35. Putken mitoiksi mitattiin:

$$a=135,6$$

$$b=169,6$$

$$c=337,9$$

Tuotannon kiireistä johtuen taivutuksia ja mittauksia ei suoritettu enempää, vaan todettiin, että x-korjauksen arvo on riittävän lähellä. Putken c-mitan +2,9mm:n poikkeaman korjaamiseksi arvo syötettiin Correction-ohjelmaan, jolloin laskennalliseksi säteeksi saatiin 40,1. Suoritettiin yksi tarkistustaivutus. Mitoiksi saatiin:

a=135,4

b=169,5

c=334,8

Putken a- ja b-mitan poikkeamat ovat molemmissa tapauksissa epäloogisesti erimerkkiset. Syy voi mahdollisesti olla liian pitkässä ahiomitassa. Arvot ovat kuitenkin tarpeeksi lähellä tuotannon käynnistämiseksi kyseisellä putkikoolla. Tuotannon alkuvaiheen aikana tulee tehdä riittävästi tarkistusmittauksia. Tämä on tärkeää, jotta arvot saadaan täsmällisiksi ennen kuin ohjelmien määrä kasvaa lukuisiksi.

## 8.2 Käyttöohjeen laatiminen

Käyttöohjetta laadittaessa oli lähtökohtana koneen siirto Puolaan. Uuden käyttöohjeen tulisi täydentää alkuperäistä vaillinaista käyttöohjetta sekä toimia tukena uusien asentajien koulutettaessa. Kieleksi valittiin englanti.

Työn oltua hyvässä käynnissä kävikin ilmi, että taivutuskonetta ei siirretäkään Puolaan, vaan se jää Tampereen yksikön tuotantokäyttöön tai se vaihtoehtoisesti myydään myöhemmässä vaiheessa. Englanninkielinen käyttöohje päätettiin joko tapauksessa laatia loppuun. Sen laajuutta supistettiin jonkin verran sekä päätettiin siirtää painopistettä enemmän taivutuskonetta korjausparametrien selvittämiseen, joiden ohjeistus oli tähän asti ollut puutteellista.

Alkuperäistä käyttöohjetta käytettiin hyväksi, josta saatiin muun muassa taivutuskonetta osien ja taivutustyökalujen englanninkieliset nimet. Alkuperäisen ohjeen perusteella laadittiin koneen käynnistys- ja sulkemisohteet. Taivutustyökalujen vaihto sekä ohjelmoinnin perusteet laadittiin asentajien kokemusten pohjalta. Ylitaivutuskertoimen selvittäminen päätettiin laatia uudelleen selvyden vuoksi alkuperäisen käyttöohjeen pohjalta. X-korjauksen ja laskennallisen säteen laskemisesta ei ennestään ollut minkäänlaista ohjeistusta eikä käytäntöä, joten ne jouduttiin selvittämään itse. Koneen huolto-ohjeet päätettiin jättää laatimatta, koska ne on käsitelty alkuperäisessä käyttöohjeessa.

Koneen ohjelmoinnista laadittiin vain perusteet. Kappaleessa käydään läpi perusohjelmointi kone- ja avaruuskoordinaateilla sekä taivutussäteen muuttaminen. Tarkempiin yksityiskohtiin paneutumista ei katsottu tarpeelliseksi.

Käyttöohjeen laadintaa vaikeutti se, että ohjeistettuja toimintamalleja ei ollut olemassa. Koneen käyttäjille ei missään vaiheessa ollut järjestetty varsinaista käyttökoulutusta. Perehtyminen koneen ominaisuuksiin on tapahtunut itsenäisesti työn lomassa. Näin ollen syventyminen on jäänyt melko pinnalliseksi. Jokaisella käyttäjällä on myös ollut omia tapoja tehdä asioita, eikä yhtenäistä käytäntöä ole muodostunut. Työntekijöiden vaihtuvuuden myötä tietotaitoa on myös jonkin verran kadonnut. Havaittavissa myös oli, että yrityksessä ei ole panostettu koneen optimaalisen käytön selvittämiseen, vaan tuotannossa on pidättäydytty ensimmäisessä tavassa, jolla riittävä tarkkuus saavutetaan.

### 8.3 Korjausparametrit-ohjelman laatiminen

Korjausparametrien laskemiseksi laadittiin Excel-taulukko-ohjelma. Ohjelman tarkoitus on helpottaa asentajia korjausparametrien laskemisessa.

Nykytuotannossa korjausparametrien arvoja lasketaan melko harvoin, joten varsinaista rutiinia toimenpiteeseen ei pääse syntymään. Tämän takia ohjelman tulee olla riittävän selkeä ja yksinkertainen, jotta asentajan on sitä helppo käyttää tuotantotöiden lomassa.

Laadittiin ohjelma, johon ylitaivutuskertoimen selvittämiseksi käyttäjä syöttää koetaivutusten mitatut kulmat  $\alpha(20)$  ja  $\beta(120)$ , jolloin ohjelma palauttaa kaavoihin 2-5 perustuen ylitaivutuskertoimen  $K$  ja ylitaivutusvakion  $C$  (kuvio 17). Laskennallisen säteen selvittämiseksi käyttäjä syöttää vanhan laskennallisen säteen  $R$ , pituuden poikkeaman  $\Delta l$  ja taivutusten yhteenlasketut asteet  $\Sigma\alpha$ , jolloin ohjelma palauttaa kaavaa xxxx perustuen uuden laskennallisen säteen  $R$ . Ohjelmaan ei sisällytetty  $X$ -korjauksen laskemista, koska  $X$ -korjauksen arvo selviää käytännössä vain kokeilemalla, ja ohjelmasta haluttiin selkeyden vuoksi jättää kaikki ylimääräinen pois.

	A	B	C	D	E	F
2	<u>Overbending</u>					
3						
4						
5	Measured bending (20°)	$\alpha(20)=$	19,66		$\Delta\alpha=$	0,34
6	Measured bending (120°)	$\beta(120)=$	117,7		$\Delta\beta=$	2,3
7						
8					$K*20=$	0,392
9					$K*120=$	2,352
10						
11	Overbending factor	$K=$	1,960 %			
12						
13	Overbending constant	$C=$	-0,052			
14						
15						
16						
17						
18	<u>Computational radius</u>					
19						
20						
21	Used computational radius	$R=$	35			
22	Length variation	$\Delta l=$	3			
23	Bending degrees in total	$\Sigma\alpha=$	180			
24						
25						
26	New computational radius	$R=$	34,045			
27						
28						
29						

Kuvio 17. Korjausparametrien laskentaohjelma

## 9 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Työn alkuperäisenä tavoitteena oli valmistella putkentaivutuskone Puolaan siirtoa varten ja laatia koneelle käyttöohje, joka tukee mahdollisimman hyvin uusien asentajien koulutusta. Siirron peruunnuttua siirrettiin painopistettä enemmän korjausparametrien selvittämiseen, mutta englannin kielinen käyttöohje päätettiin kuitenkin laatia loppuun. Käyttöohje tulee toimimaan apuna uusia asentajia koulutettaessa sekä tukena vanhoille asentajille. Lisäksi englanninkielisestä käyttöohjeesta käy ilmi keskeiset termit sekä työkalujen nimet, joiden hallinta kansainvälisessä työympäristössä on hyväksi myös asentajille.

Opinnäytetyötä tehdessä hankittiin käytännön osaamista tukevaa syventävää teoreettista tietoa. Erityisesti putken venymää ja takaisinjoustoja tutkittiin teoriassa sekä käytännössä. Luotiin menetelmä korjausparametrien selvittämiseksi, johon aiemmin ei ollut olemassa käytäntöä. Lisäksi laadittiin Excel-ohjelma parametrien laskemista helpottamaan.

Ylitaivutuskertoimen, laskennalliseen säteen ja X-korjauksen selvittämistä testattiin käytännössä. Luotettavien tulosten saamiseksi olisi koetaivutuksia pitänyt suorittaa huomattavasti suurempi määrä. Työn aikana tehdyillä koetaivutuksilla kuitenkin havaittiin menetelmä oikeaksi ja saatiin luotua selkeä menetelmä, jolla voidaan tuotannon lomassa tehdä tarkistusmittauksia ja muutoksia korjausparametreihin.

Huomion arvoista on, että putkissa on huomattavia materiaali eroja eri valmistajien välillä sekä myös saman valmistajan putkissa jopa samassa valmistuserässä. Tähän vaikuttaa putken valmistusmenetelmä. Näin ollen absoluuttisen tarkkojen korjausparametrien selvittäminen on lähes mahdotonta. Tarkat arvot löytyvät ainoastaan kokeilemalla. Käytännössä vaadittava tarkkuus on kuitenkin harvoin sitä luokkaa, että korjauksia perusasetuksiin jouduttaisiin tekemään.

Vaikka kyseinen taivutuskone ja sen ohjausyksikkö alkavatkin olemaan elinkaarensa loppupuolella, pysyvät ne silti tuotantokäytössä mahdollisesti vielä vuosia. Iästäan huolimatta itse taivutuskonetta voidaan pitää hyvinkin toimintavarmana. Lähellä toisiaan olevat taivutukset tulevat tuottamaan jatkossakin ongelmia, eikä siihen ole ratkaisua olemassa koneen fyysisten mittojen takia. Viimeisen taivutuksen jälkeisen suoran mittaa voisi sen sijaan mahdollisesti lyhentää esimerkiksi erilaisella tartuntamenetelmällä. Yksi vaihtoehto voisi olla puristinholkin korvaaminen putken sisäpuolisella tartuntamenetelmällä. Valitettavasti tämän asian tutkimiseen ei aika riittänyt tämän opinnäytetyön puitteissa.



## LÄHTEET

Andersson, P. H. & Tikka, H. 1997. Mittaus- ja laatutekniikat. Helsinki: WSOY

Bedrazzoli Bend Master E65 Manual

Cybelec CNC 7300 C käyttöohje

Faro Titanium Arm -käyttöohjekirja

Röytiö, H. & Söderberg, K. 1993. Ohutseinäputket –ominaisuudet ja käyttö. Helsinki: Metalliteollisuuden Kustannus Oy

Specma Hydraulic Ab 2011. Component Division Historia. Luettu 20.9.2011.  
<http://www.specmahydraulic.se/Finnish/ComponentDivision/Historia.aspx>

Specma Hydraulic Ab 2011. Historia. Luettu 20.9.2011.  
<http://www.specmahydraulic.se/Finnish/Mitteemme/Historia.aspx>

Teknolomiteollisuus 2011. Teräsputket. Luettu 5.6.2011.  
[www.teknolomiteollisuus.fi/file/7058/TERSPUTKET5.pdf.html](http://www.teknolomiteollisuus.fi/file/7058/TERSPUTKET5.pdf.html)

Vossi 2011. Ircmo öljyttömät teknologiat. Luettu 15.8.2011.  
[http://www.vossi.fi/edustukset/tarvik/irmco\\_index.htm](http://www.vossi.fi/edustukset/tarvik/irmco_index.htm)

**BEDRAZZOLI BEND MASTER E65  
& CYBELEC 7300C  
USER'S GUIDE**



1	BENDING FORMER SETTING.....	3
1.1	Starting the Machine .....	3
1.2	Shutting Down the Machine.....	4
1.3	Tools.....	5
1.4	Removing Tools .....	7
1.5	Setting Tools .....	8
1.5.1	Counter Die Jaw Distance.....	10
1.5.2	Exceptions on Setting Tools .....	11
1.6	Test Bending .....	11
2	DATA TRANSFER .....	14
2.1	Loading New program .....	14
2.2	Saving program .....	14
2.3	Erasing cassette (Cybelec memory).....	14
3	PROGRAMING.....	15
3.1	Writing New Program using machine coordinates .....	15
3.2	Writing New Program using Cartesian coordinates.....	15
3.3	Changing Bending Radius.....	16
4	NEW TUBE SIZE OR TUBE MATERIAL .....	17
4.1	Over-bending.....	17
4.2	Correction Value X and Computational Bending Radius.....	17

## 1 BENDING FORMER SETTING

### 1.1 Starting the Machine

1. Main switch ON
2. Wait for CNC video lighting
3. Start the hydraulic pump (figure1)
4. Display page TEST MANUAL on video screen and check that all tools are in the work start position:

COUNTER DIE JAW	OPEN
SLIDE SUPPORT	OPEN
MANDREL	FRONT
BOOSTER SLIDE	FRONT
COLLET	OPEN

5. Select semi-automatic cycle (38, figure 2)
6. Display the video screen page on MAN.TEST (43, figure 2)
7. Press START-button (35, figure 2)

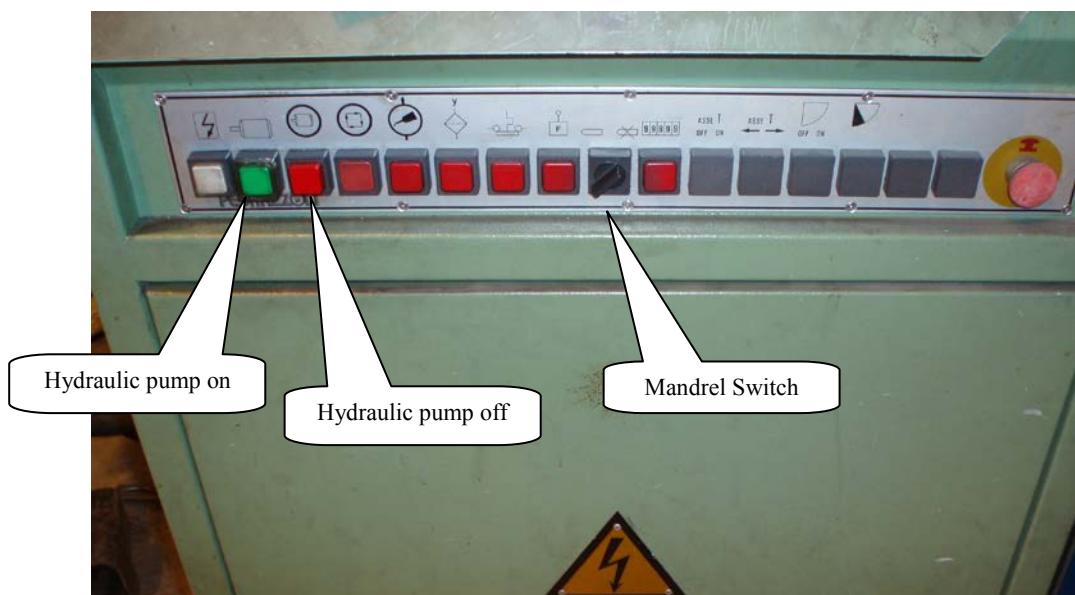


Figure 1: Bend Master power unit

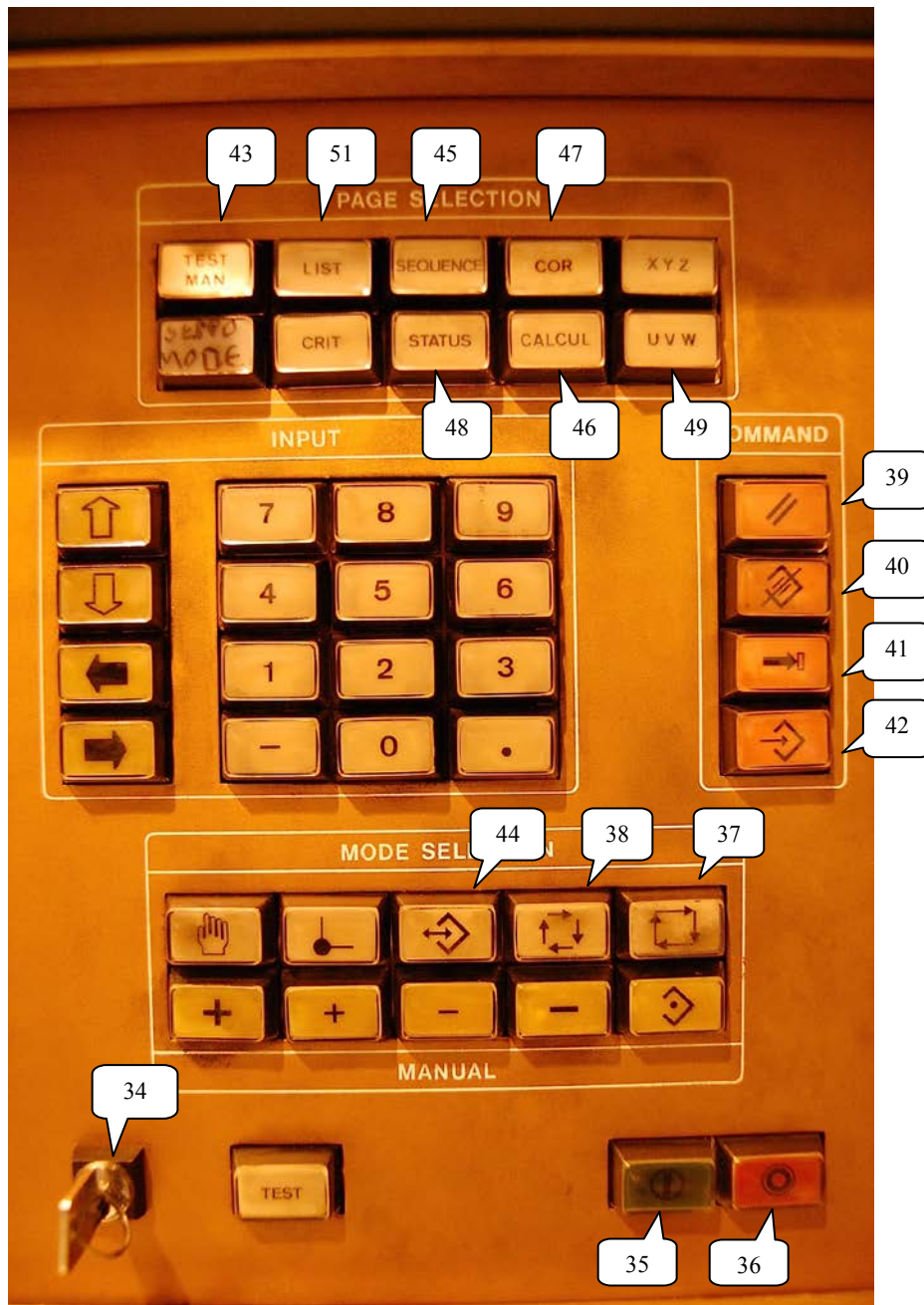


Figure 2. Control panel

## 1.2 Shutting Down the Machine

While hydraulic pump on perform the P.O.B carriage (+ / -) motion on CNC-control panel (figure 2) until the first support roller (figure 10) stands up. (First select TEST MAN on control panel and bring cursor on X-axis with up/down – arrows.)

1. Switch OFF the hydraulic pump (figure 2).
2. Main switch OFF.



### 1.3 Tools

- Die (1, figure 3)
- Die shaft (2, figure 4)
- Counter die jaw (3, figure 3)
- Clamp support (4, figure 3)
- Ring nut (5, figure 7)
- Tube collet (6, figure 7)
- Tierod (7, figure 3)
- Follower rollers (8, figure 5)
- Mandrel (9, figure 5)
- Mandrel rod (10, figure 5)
- Plug spanner for ring nut (11, figure 7)
- Collet cup (12, figure 7)
- Collet counter plate (13, figure 7)

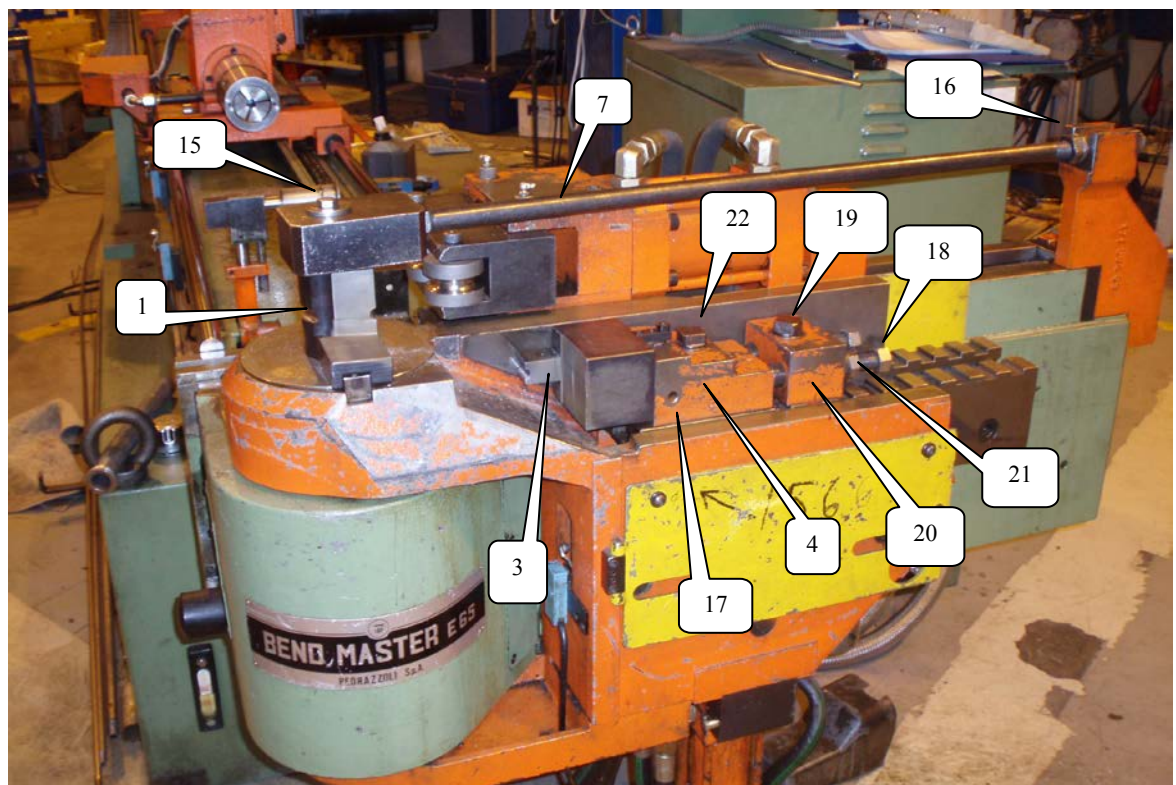


Figure 3: Bend Master front view



Figure 4. Die shaft

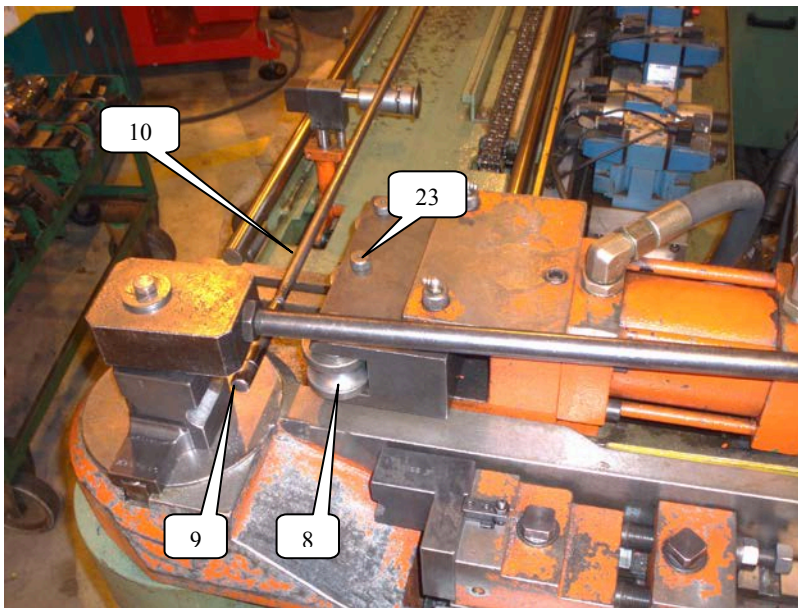


Figure 5. Bend Master Top view

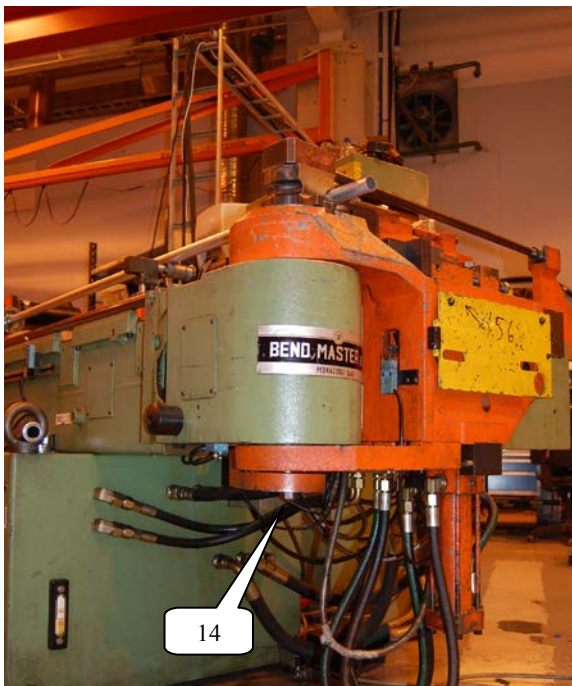


Figure 6. Die shaft locking

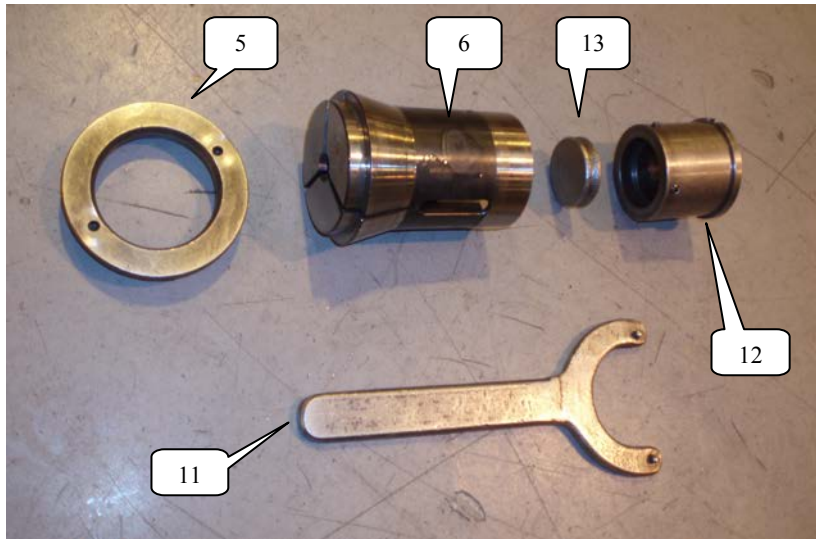


Figure 7. Tube collet tools

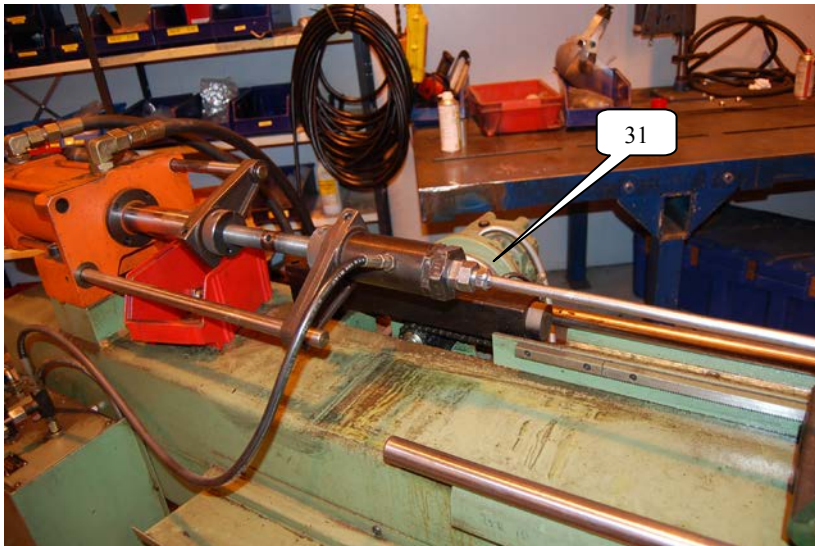


Figure 8. Mandrel device

#### 1.4 Removing Tools

1. **Tierod:** Unscrew the screw (15, figure 3) and loosen nuts (16, figure 3).  
Remove the tierod (7, figure 3).
2. **Die:** Lift up the die (1, figure 3).
3. **Die shaft:** Unscrew the nut (14, figure 6) and lift up the die shaft (2, figure 4) (if needed, see table 1)
4. **Counter die jaw:** Loosen the screw (17, figure 3) and remove the Counter die jaw (3, figure 3).



5. **Mandrel:** Unscrew the mandrel (9, figure 5) from the rod (10, figure 5).  
Loosen the nut (31, figure 8) and unscrew the rod (if needed, see table 1). Act the mandrel switch when necessary (figure 2).
6. **Follower rollers:** Remove bolts (23, figure 5) and follower rollers (8).
7. **Tube collet:** Loosen the ring nut (5, figure 7) with the plug spanner (11).  
Remove the ring nut, the tube collet (6) and the collet cup (12).

## 1.5 Setting Tools

1. **Tube collet:** Set the tube collet (6, figure 7) and the collet cup (12) with a suitable collet counter plate (13) according the mandrel rod (See table 1). Lock the ring nut (5) with the plug spanner (11). (For exceptions see chapter 1.5.2 Exceptions on Setting Tools)
2. **Follower rollers:** Set follower rollers (8, figure 5) and bolts (23).
3. **Mandrel:** Act the mandrel switch when necessary (figure 2). Screw the mandrel rod (10, figure 5) on the device. Screw the mandrel (9) on the rod. Check the mandrel distance (figure 9) and lock the screw (31, figure 8) (if needed, see table 1.)
4. **Die shaft:** Set the die shaft (2, figure 4) and lock with the nut (14, figure 6).
5. **Die:** Set the die (1, figure 3).
6. **Counter die jaw:** Set the counter die jaw (3, figure 3) to the support (4, figure 3). Set the counter die jaw at a distance of 156,6 mm (see capture 1.5.1 Counter Die Jaw Distance) from the die (1, figure 3) by loosening the screw (22, figure 3) and nuts (21) and acting on screws (18). When necessary loosen the screw (19) and move the second support (20). Finally lock all nuts and screws.
7. **Tierod:** Set tierod (7, figure 3). Act on the two nuts (16) for adjusting its position. Tighten nuts and lock the screw (15).
8. **Support roller:** Perform the P.O.B carriage motion to negative X-direction on CNC-control panel until the support rollers stand up (figure 10). Loosen screw (32, figure 10). Adjust the height by acting screw (33). Place a suitable tube on its position to ease adjusting the height. Finally tighten the screw (32).



Figure 9. Checking mandrel distance

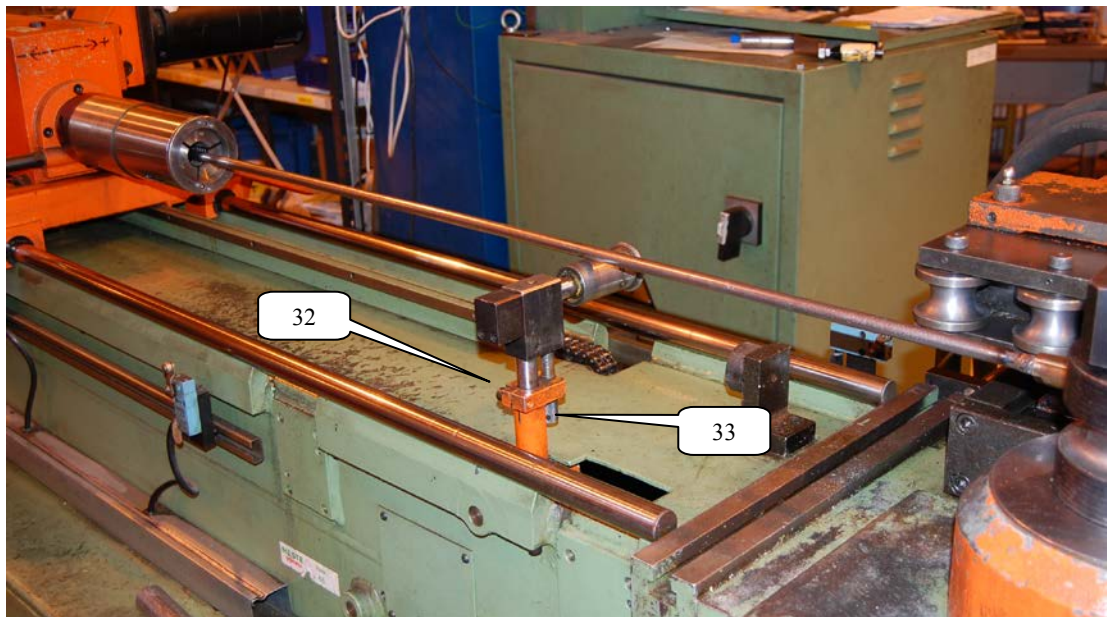


Figure 10. Support roller

Table 1. Choosing tools

<b>Tube size</b>	<b>Die Shaft</b>	<b>Mandrel</b>	<b>Mandrel Rod</b>	<b>Counter Plate</b>	<b>Mandrel Distance</b>
<b>Ø10</b>	Ø40	-	-	Solid	-
<b>Ø12</b>	Ø50	-	-	Solid	-
<b>Ø15</b>	Ø56	-	-	Solid	-
<b>Ø16</b>	Ø40	-	-	Solid	-
<b>Ø18</b>	Ø60	-	-	Solid	-
<b>Ø20</b>	Ø60	-	-	Solid	-
<b>Ø22</b>	Ø60	-	-	Solid	-
<b>25x2,5</b>	Ø60	Ø20	Small	Small hole	47
<b>28x2,5</b>	Ø60	Ø23	Small	Small hole	55
<b>30x3</b>	Ø60	Ø24	Small	Small hole	58
<b>38x4</b>	Ø60	Ø30	Medium	Medium hole	73
<b>38x5</b>	Ø60	-	-	Solid	-
<b>45x2,5</b>	Ø60	Ø40	Large	Large hole	75

### 1.5.1 Counter Die Jaw Distance

The counter die jaw distance may vary depending on tube size. With an insufficient clamping force the tube could slide. With an excessive clamping force the tube could be deformed. To ensure accurate distance follow procedure below:

1. Set the counter die jaw at a greater distance than nominal.
2. Place a suitable tube on the die.
3. Perform the counter die carriage closing acting on CNC control panel on TEST.MAN page (43, figure 2).
4. Act on screws (18, figure 3) to approach the counter die jaw to the tube.
5. Tighten nuts (21, figure 3) and screw (22).
6. Perform the counter die carriage opening acting on CNC control panel on TEST.MAN page (43, figure 2).

### 1.5.2 Exceptions on Setting Tools

- **Ø10** – use special collet tool (27, figure 11) and special collet plate (24) with Ø20 collet, special counter die jaw tool (25) with Ø16 counter die jaw, special follower tool (26) + one follower roller
- **Ø12** – use Ø15 follower roller + special follower tool (26, figure 11), counter die jaw distance apx. 198 mm
- **Ø18** – use Ø20 follower rollers, counter die jaw distance apx. 198 mm

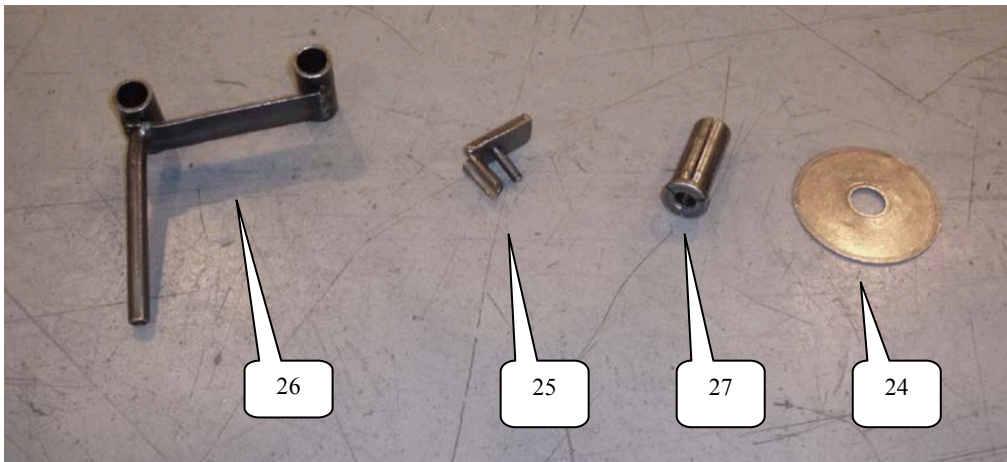


Figure 11. Special tools

### 1.6 Test Bending

1. Loosen screw (28, figure 12). By means of crank-lever adjust the centerline in correspondence with bending radius which can be read on scale (29, figure 12). Lock screw (28).
2. Loosen screw (30, figure 12). By means of crank-lever adjust the follower supporting group in correspondence with bending radius which can be read on scale (29). **To avoid backlash act always crank-lever finally clockwise.**
3. Write a test bending program (see chapter 3.1 Writing New Program Using Machine Coordinates) corresponding actual tube size or load a completed test bending program (table 2).
4. Act on crank-lever (50, figure 12) until bending obtains accurate. When overbending appears act clockwise. When shybending appears act anti-clockwise. Finally lock screw (30, figure 12).

Table 2. Correction parameters and test bending programs

<b>Tube size</b>	<b>R</b>	<b>K</b>	<b>X/90°</b>	<b>Test Bending</b>
<b>10x1</b>	33,6	2,2	-1	Status, 1
<b>10x1,5</b>	34,1	1,9	-1	
<b>12x1,5</b>	33,8	2,5	-2	Wille, 22
<b>16x2</b>	38,2	1,7	-1	Status, 2
<b>18x2</b>	42	2,0	-1	Wille, 18
<b>20x2</b>	47,7	1,4	-1	Status, 3
<b>20x2,5 E355</b>	47,7	2,3	-1	
<b>22x2,5</b>	49	1,0	-1	Wille, 11
<b>25x2,5</b>	47	2,0	-2,5	Status, 5
<b>25x2,5 E355</b>	47	3,0	-1,4	
<b>25x3</b>	47,7	2,1	-1,5	
<b>28x2,5</b>	67,5	1,5	-2,5	Wille, 108
<b>30x3</b>	56	1,8	-2	Status, 7
<b>30x3 E355</b>	56,4	2,7	-2	
<b>38x4</b>	65	1,8	-2	Status, 9
<b>38x5 E355</b>	65	2,8		
<b>38x5 E355</b>	95	2,0		
<b>45x2,5</b>	96,4	2,0		
<b>10x1 rst</b>	33,6	3,3	-1	
<b>15x1,5 rst</b>	40	3,0	-2	
<b>16x2 rst</b>	38,2	2,3	-1	
<b>20x2 rst</b>	47,7	2,3	-1	
<b>20x3 rst</b>	47,7	1,4		

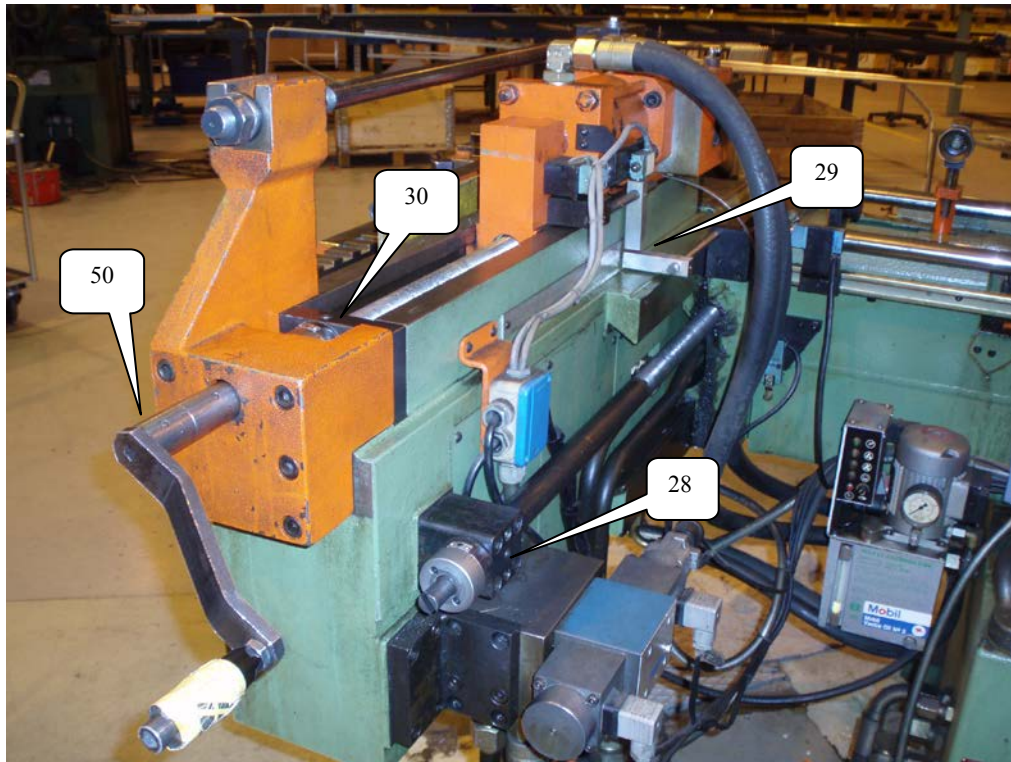


Figure 12. Adjusting center line and follower slide

## 2 DATA TRANSFER

### 2.1 Loading New program

1. Press F1-key on computer keyboard
2. Type cassette name (without extension ".txt") and press Enter
3. Depress the PROGRAM-key (44, figure 2) and bring cursor on "component" on STATUS-page, type program number and depress the ENTER-key (41, figure 2)

### 2.2 Saving program

1. Open the cassette on computer where you want to save the program (F1-key on computer keyboard)
2. Depress the PROGRAM-key (44, figure 2) and bring cursor on "plan" on LIST-page (51, figure 2), type drawing number and depress the ENTER-key (41, figure 2)
3. Bring cursor on "component" and type next available program number
4. Turn key clockwise (34, figure 2)
5. Depress the WRITE-button (42, figure 2)
6. Turn key (34, figure 2) counter-clockwise
7. Depress F2-key on computer keyboard
8. Type the same cassette name as already open

**CAUTION! The whole cassette will be overwritten, so make sure that you save with the same cassette name as already open!**

9. For confirming overwriting type "K" and depress ENTER on computer keyboard

### 2.3 Erasing cassette (Cybelec memory)

1. Turn key clockwise (34, figure 2)
2. Depress the PROGRAM-key (44, figure 2), bring cursor on "component", type "999" and depress the DELETE-key (40, figure 2)
3. Turn key (34) counter-clockwise

This action is needed when creating new cassette. This erases Cybelec cassette memory but not the existing program.

### 3 PROGRAMING

#### 3.1 Writing New Program Using Machine Coordinates

1. Select Sequence-page (45, figure 2)
2. Use up/down –arrows to move cursor
3. Use left/right arrows to change sequence page.
4. Type in coordinates and parameters
  - X – straight distance in millimeters
  - Y – bending angle in degrees
  - Z – rotation angle in degrees
  - S(OVER-TRAV) – over-travel distance in millimeters (this disables simultaneity)
  - SIMULT – Z/Y –axels moves simultaneously with X-axel (1=on, \_=off)
  - ANTI. – X-distance on millimeters before Z/Y –axels simultaneous
  - ACCEL – acceleration (numbers 1-9, 1=slow acceleration, 9=high acceleration)
  - CY – number of work cycles, ADD “0” ON LAST SEQUENCE PAGE!
5. Set parameters on STATUS-page (48, figure 2)
  - Vx,Vy, Vz – speed (1 = slowest, 9 = fastest)
  - R DIE – computational bending radius (affects on cutting length)
  - K – overbending
6. Calculate tube length (Select CALCUL-page (46, figure 2), bring cursor on TUBE LENGTH and depress ENTER-button (41, figure 2))
7. Add correction on COR-page (47, figure 2), (see table 2)

#### 3.2 Writing New Program using Cartesian coordinates

1. Select UVW-page (49, figure 2)
2. Use up/down –arrows to move cursor
3. Type in Cartesian coordinates in millimeters
4. Set bending radius as nominal (written on die) on STATUS-page (48, figure 2)



5. Bring cursor on UVW → XYZ on CALCUL-page (46, figure 2) and depress the ENTER-key (41)
6. Set bending radius as computational on STATUS-page (48, figure 2)
7. Calculate tube length (Select CALCUL-page (46, figure 2), bring cursor on TUBE LENGTH and depress ENTER-button (41, figure 2))
8. Add correction on COR-page (47, figure 2), (see chapter table 2)
9. Set parameters on STATUS-page when needed

### 3.3 Changing Bending Radius

1. Write a program in machine coordinates
2. Set bending radius as nominal according to original radius
3. Bring cursor on XYZ → UVW on CALCUL-page (46, figure 2) and depress the ENTER-key (41, figure 2)
4. Set bending radius as nominal according to new radius
5. Bring cursor on UVW → XYZ on CALCUL-page (46, figure 2) and depress the ENTER-key (41, figure 2)
6. Set bending radius as computational according new radius
7. Bring cursor on TUBE LENGTH on CALCUL-page and depress the ENTER-key (41)
8. Add correction on COR-page when needed
9. Set parameters on STATUS-page when needed

#### 4 NEW TUBE SIZE OR TUBE MATERIAL

##### 4.1 Over-bending

To examine overbending value follow steps below.

1. Carry out bending tests at 20° and 120°
2. Measure angles
3. Open correction.xls and enter the measured angles
4. Variable value K and constant value C are calculated automatically
5. Enter value K on STATUS-page on Cybelec control panel
6. Act on crank-lever (50, figure 12) until bending obtains accurate to compensate value C

##### 4.2 Correction Value X and Computational Bending Radius

To define X-correction and Computational bending radius follow example below.

Example: tube size 16x2, bending radius 40, COR X -1/90°

1. Carry out test bending a tube with two curves of 90° (table 3 and figure13)

Table 3. Test bending example

	X	Y	Z	COR X
1	60	90	0	-1
2	120	90	0	-2
3	260	0	0	—

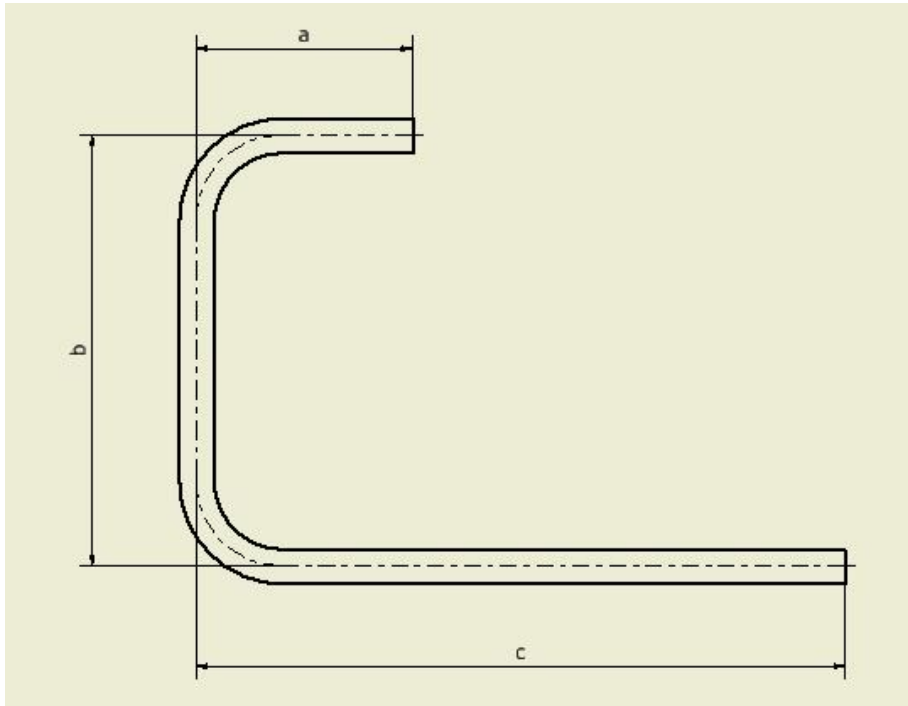


Figure 13. Test bending tube

2. Measure out the tube
3. Make X-correction when needed (COR X affects on dimensions a and b)
4. Calculate the sum of bending angles and enter it on correction.xls (in this case 180°)
5. Enter used bending radius on correction.xls
6. When dimensions a and b accurate measure dimension c and enter the difference on correction.xls. New Computational bending radius is calculated automatically.