



OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

IMPULSSIPUTKEN TAIVU- TUKSEN PERUSTEET

TEKIJÄ/T: Jani Hynninen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Koulutusohjelma/Tutkinto-ohjelma Energiatekniikan tutkinto-ohjelma			
Työn tekijä(t) Jani Hynninen			
Työn nimi Impulssiputken taivutuksen perusteet			
Päiväys	19.5.2018	Sivumäärä/Liitteet	31/0
Ohjaaja(t) Yliopettaja Harri Heikura			
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Elpro Oy			
Tiivistelmä			
<p>Tämä päättötyö on tehty Elpro Oy:n toimeksiannosta. Työn tarkoituksena oli laatia instrumentoinnin impulssiputken taivuttamista käsittelevä teos. Päättötyön tietopohjana toimi päättötyöntekijän oma työkokemus alalta.</p> <p>Tässä työssä käydään yleisellä tasolla läpi asennuksessa tarvittavat työkalut, liitos- ja mittaustekniikkaa, yleisimmin käytetyt liittimet sekä kierretyypit. Putken taivuttamiseen syvennytään teorian ja muutaman esimerkin avulla. Parhaiten taivuttamisen oppii käytännön työn kautta.</p> <p>Työn tuloksena saatiin laadittua käytännönläheinen tietopaketti impulssiputken taivutuksesta toimeksiantajalle. Päättötyö lisäsi ammattitaitoa syventäen tietämystä tarvittavista standardeista. Päättötyö kokonaisuudessaan oli toimeksiantajalle erittäin hyödyllinen.</p>			
Avainsanat impulssiputki, taivutus, instrumentointi, asennus			
käsikirja, opas, Gyrolok, Swagelok, Parker			

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Energy Engineering			
Author(s) Jani Hynninen			
Title of Thesis Principles of Impulse Tube Bending			
Date	19May2018	Pages/Appendices	31/0
Supervisor(s) Principal Lecturer Harri Heikura			
Client Organisation /Partners Elpro Oy			
<p>Abstract</p> <p>This thesis was commissioned by Elpro Oy. The purpose of the study was to compose a guide for impulse tube bending for automation instrumentation. The information presented in the thesis is based on the author's own professional expertise in the field.</p> <p>The thesis covers superficially tools for installation, connection and measurement technology, commonly used tube fittings and threads. Bending is discussed in more detail in theory and a few examples are given. The best way to learn bending of impulse tube is through practical work.</p> <p>As a result of the thesis a practical data pack of impulse tube bending for Elpro Oy was made. Working on the thesis increased the author's skills by deepening knowledge of the standards required. The thesis was a very useful addition to Elpro Oy's business operations.</p>			
<p>Keywords impulse tube, bending, install, instrumentation</p>			
handbook, guide, manual, pipe			

ESIPUHE

Suuret kiitokset tästä mahdollisuudesta tehdä ja jakaa tietotaitoa eteenpäin Elpro Oy yritykselle ja kaikille tästä alasta kiinnostuneille sekä Savonia ammattikorkeakoulun energiatekniikan Varkauden yksikölle.

Eriyiskiitokset päättötyötä valvovalle yliopettaja Harri Heikuralle luottamuksesta tämän työn valmistumiseen sekä Elpro Oy:n toimitusjohtaja Sami Korhoselle ideasta ja pitkäjänteisyydestä.

Varkaudessa 19.5.2018

Jani Hynninen

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	7
1.1	Yleistä.....	7
1.2	Työn rajaus	7
1.3	Työn tavoitteet	7
1.4	Työn merkitys.....	7
2	TEORIAA JA TAUSTA	8
2.1	Taustaa.....	8
2.2	Putkimateriaalit.....	8
2.2.1	Valintaperusteet.....	9
3	PUTKEN ASENNUKSEN PERIAATTEET.....	11
3.1	Putken käsittely	11
3.2	Liittimet, kierteet ja liittäminen	12
3.2.1	Liittimen tunnistaminen ja valinta.....	13
3.2.2	Kierteet	14
3.3	Mittaus ja taivutus	15
3.3.1	Mittaaminen.....	16
3.3.2	Taivuttaminen.....	16
3.4	Työkalut ja asennus	25
3.4.1	Kiristys	27
3.5	Työturvallisuus ja muistettavia asioita	29
4	YHTEENVETO.....	30
	LÄHTEET	31

LYHENTEET JA MÄÄRITELMÄT

NPT (National Pipe Threads) = yleisimmin käytetty kierretyyppi USA:ssa ja Kanadassa sekä Suomessa, jonka kierreosa on kartio

BSPP (British Standard Parallel Pipe) = Brittiläinen standardikierre, jonka kierreosa on lieriö

BSPT (British Standard Taper) = Brittiläinen standardikierre, jonka kierreosa on kartio

ISO (International Standards Organization) 6149-2 = kansainvälinen standardoitu metrinen kierre esim. M12x1,5, jonka kierreosa on lieriö

SAE (Society of Automotive Engineers) = kansainvälinen autoinsinöörien yhdistys

PSK = Standardintyhdistys, teollisuuden ja sitä palvelevien yritysten yhteinen kehitysyksikkö

SFS = Suomen standardoimisliitto

T.F.F.T = Turns From Finger Tight

1 JOHDANTO

Tämän päättötyön aiheena on instrumentoinnin impulssiputken taivutus. Aiheen tekee kiinnostavaksi taivutustekniikat ja tavat sekä tarkat määräykset.

1.1 Yleistä

Aiheen valinta oli luontevaa, koska minulla on aiempaa työkokemusta instrumentoinnin putkituksesta edellisestä ammatistani. Työn tilaaja on alunperin varkautelainen sähkö- ja automaatioalan yritys Elpro Oy, jolla on toimipaikkoja myös muualla Suomessa kuten Oulussa.

1.2 Työn rajaus

Työ päätettiin rajata pääasiassa käsitaivuttimilla tapahtuvaan instrumentoinnin mittalaitteiden putkitukseen, joiden putkikoko on enintään 12 mm ulkohalkaisijaltaan. Tässä työssä käydään perustasolla Suomessa yleisimmin asennuksissa käytetyt liittimet, kierteet ja putkimateriaalit.

1.3 Työn tavoitteet

Tavoitteena on kirjoittaa käytännön opas Elpro Oy:lle impulssiputkentaivutuksesta. Yrityksen näkemyksen mukaan Suomessa on ammattitaitoisia impulssiputkittajia hyvin vähän teollisuuden tarpeisiin nähden.

Aiemman työkokemukseni ja insinööriopintojeni ansiosta päättötyön valmistuminen tilaajan vaatimalla tavalla on hyvin todennäköistä. Myös kiinnostus ja kokemus aiheesta auttavat tekemään putkentaivutuksesta käytännönoppaan Elpro Oy:lle.

1.4 Työn merkitys

Hyvin viimeisteltynä tällä työllä voi olla hyötyä toimeksiantajalle, teollisuudelle ja kaikille, jotka tarvitsevat perustietoa alasta.

2 TEORIAA JA TAUSTA

Tässä luvussa käydään läpi perustiedot käytettävistä putkimateriaaleista ja liittimistä. Myös yleisimmin käytössä olevat kierteet, liittäminen, kiinnitys ja kiritys esitellään. Impulssiputken taivutukseen syvennytään hieman tarkemmin myös teorissa.

Tärkeimpinä tietolähteinä oman kokemuksen lisäksi ovat laitevalmistajien manuaalit sekä oppaat.

2.1 Taustaa

Impulssiputkia käytetään instrumentoinnissa erilaisten mittausten (paine, paine-ero, virtaus) putkituksiin. Myös hydraulikassa ja pneumatiikassa käytetään samanlaisia putkia ja asennustavat näiden kaikkien kesken ovat hyvin lähellä toisiaan. Instrumentoinnissa putken yleisin koko on 6-15 mm [d], mutta kokoja on monia käyttökohteesta riippuen.

Impulssiputkesta puhuttaessa putken koko on yleensä alle 50 mm [d], joka on halkaisijamitta putken ulkoreunasta ulkoreunaan.



KUVA 1. Putken halkaisija ulkoreunasta ulkoreunaan (Norwegian Oil and Gas Association 2013, 53)

Esimerkiksi englanninkielessä puhutaan putkesta nimellä pipe tai tube. Näiden ero tulee esille siinä, että pipe 50 mm [d] tarkoittaa putken sisähalkaisijaa ja tähän lisätään vielä seinämävahvuus putkea tilattaessa. Tube tapauksessa 50mm [d] tarkoittaa, että putken halkaisija on 50 mm, jossa on mukana seinämävahvuus.

Instrumentoinnissa yleisimmin käytetty putkimateriaali on ruostumaton saumaton tai saumallinen teräs 316, monia muitakin materiaaleja on saatavana. Käsitaivuttimilla ei käytännössä suositella väännettävän halkaisijalta yli 20 mm ja-tai seinämävahvuudeltaan yli 2 mm putkea, koska putkea on lähes mahdotonta tai ainakin erittäin työlästä taivuttaa materiaalin massan sekä seinämäpaksuuden vuoksi.

2.2 Putkimateriaalit

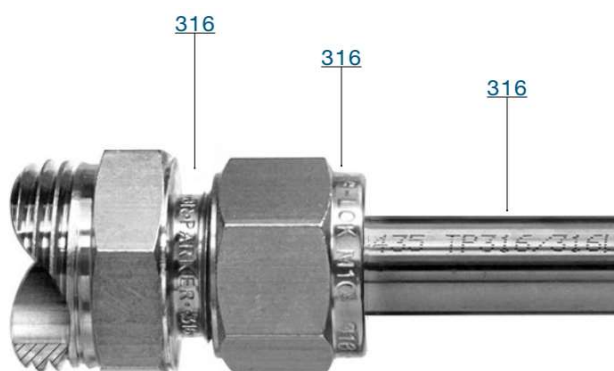
Impulssiputkituksessa Suomessa yleisimmin käytetty materiaali on ruostumaton saumaton teräsputki (SS 316) EN ISO 1127 tai vastaava. Seinämän vahvuus määräytyy käyttötarkoituksen ja olosuhteiden mukaan, mutta yleisimmin se on 1 mm-2 mm. (Swagelok 2014, 5)

Tässä materiaalissa on etuina korkea paineenkesto ja sillä on hyvä korroosion kesto sekä korkea toimitalämpötila, joka on -255°C - 605°C (Parker 2014, 23). Muita materiaaleja voi olla hiiliteräs, kupari ja alumiini sekä erikoismateriaalit.

2.2.1 Valintaperusteet

Putkea valittaessa on otettava huomioon prosessissa vallitseva paine, lämpötila, ympäristötekijät ja käyttötarkoitus. Valitun materiaalin täytyy aina olla samaa niin putkessa kuin liittimissäkin.

Esimerkiksi putkelle 316 saa käyttää ainoastaan 316 liittimiä ja muita osia.



KUVA 2. Kaikki osat ruostumatonta terästä 316 (Norwegian Oil and Gas Association 2013, 22)

Näin estetään mahdollinen korroosion vaara ja muut ei toivotut tapahtumat. Eri materiaaleja ei saa sekoittaa. Alla kuva korroosiosta, joka johtuu eri materiaalien kemiallisesta reaktiosta. Putken ollessa kuparia ja puristusholkkit terästä, epäjalompi alkaa ruostumaan. (Norwegian Oil and Gas Association 2013, 57)



KUVA 3. Galvaanisen korroosion aiheuttama syöpyminen (Norwegian Oil and Gas Association 2013, 57)

Suosittelava materiaalin kovuus ruostumattomalle teräsputkelle 316 on 80HRB ja 90HRB on maksimi. (Parker 2014, 22), (ASTM-A-269, A-249, A-213, A632)

Materiaalin kovuus määritellään esimerkiksi Rockwellin testillä.

"Rockwellin kovuus- ja pintakovuuskokeissa (SFS-EN ISO 6508-1:2006) käytetään kovuuden määrittämiseksi timanttikartio- tai kovametallikuulapaininkärkeä." (FIN Focus Instruments Oy)

Seinämäpaksuuden valinnassa täytyy muistaa, että kaasuille (Argon, Typpi ja Helium) on valittava paksuin mahdollinen seinämäpaksuus vuotoriskin ehkäisemiseksi. Paksumpi seinämäpaksuus estää tehokkaasti pienimolekyylisien kaasujen vuotamisen materiaalin läpi. Toisaalta kovuus tässä tapauksessa on parempi olla hieman pehmeämpi noin 80 HRB, koska liittimen holkit puristuvat paremmin hieman pehmeämpään materiaaliin. (Parker 2014, 22)

Turvallisuuden kannalta seinämäpaksuus on myös merkitsevä tekijä. Paksumpi seinämäpaksuus varmistaa myös paineenkeston. Haitaksi voi nähdä, että paksumpiseinämainen putki on arvokkaampaa.

Seuraavissa taulukoissa 1 ja 2 on esitetty vähimmäisvaatimukset seinämävahvuuksista saumattomalle teräsputkelle 316 sekä vähimmäisvaatimukset prosessin paineelle riippuen käyttölämpötilasta.

TAULUKKO 1. Seinämäpaksuus riippuen käyttöpaineesta ja halkaisijasta. Mitat tuumamittoja. (Parker 2014, 23)

316 or 304 STAINLESS STEEL (Seamless)																
Tube O.D. Size	Wall Thickness															
	0.010	0.012	0.014	0.016	0.020	0.028	0.035	0.049	0.065	0.083	0.095	0.109	0.120	0.134	0.156	0.188
1/16	5600	6900	8200	9500	12100	16800										
1/8						8600	10900									
3/16						5500	7000	10300								
1/4						4000	5100	7500	10300							
5/16							4100	5900	8100							
3/8							3300	4800	6600							
1/2							2600	3700	5100	6700						
5/8								3000	4000	5200	6100					
3/4								2400	3300	4300	5000	5800				
7/8								2100	2800	3600	4200	4900				
1									2400	3200	3700	4200	4700			
1-1/4										2500	2900	3300	3700	4100	4900	
1-1/2											2400	2700	3000	3400	4000	4500
2												2000	2200	2500	2900	3200

TAULUKKO 2. Lämpötilasta aiheutuva korjauskertoimen maksimi käyttöpaineelle. (Parker 2014, 25)

Temperature		Copper	Aluminum	316 SS	304 SS	Steel	Monel 400
°F	(°C)						
100	(38)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
200	(93)	.80	1.00	1.00	1.00	.96	.88
300	(149)	.78	.81	1.00	1.00	.90	.82
400	(204)	.50	.40	.97	.94	.86	.79
500	(260)			.90	.88	.82	.79
600	(316)			.85	.82	.77	.79
700	(371)			.82	.80	.73	.79
800	(427)			.80	.76	.59	.76
900	(486)			.78	.73		.43
1000	(538)			.77	.69		
1100	(593)			.62	.49		
1200	(649)			.37	.30		

Taulukosta 1 nähdään putken halkaisija ja seinämäpaksuus tuuma-yksikkönä (inch) sekä prosessin paine Psi-yksikkönä (Pounds per Square Inch).

1 tuuma = 25,4mm

1Psi = 0,068947 Bar

Taulukossa 2 esitetään korjauskerroin taulukon 1 paineelle, lämpötilan kasvaessa. Harmaalla alueella olevia seinämäpaksuuksia ei saa käyttää kaasujen kanssa vaikka ne käyttöpaineeseen riittäisivätkin. (Parker 2014, 23)

Esimerkiksi ½” putki jonka vastaava Suomessa käytettävä koko on 12 mm, pienin seinämä paksuus kaasuille on 0,049”, joka on noin 1,25 mm. Tällöin maksimipaine 22,2°C lämpötilassa on 3700 Psi => 255,1 Bar. Lämpötilan kasvaessa esimerkiksi 425 °C:een voidaan taulukon 2 perusteella todeta, että SS316 materiaalin korjauskerroin on 0,8. Tästä voidaan laskea maksimi paineen kestoksi, taulukoita 1 ja 2 hyväksikäyttäen seuraavaa, $0,8 \times 3700 \text{ Psi} = 2960 \text{ Psi} = 204,08 \text{ Bar}$. (Parker 2014, 25)

3 PUTKEN ASENNUKSEN PERIAATTEET

Tässä luvussa tarkastellaan tarkemmin teoreettisellä tasolla kuinka putken taivutus ja asennus tapahtuu.

Lisäksi hieman putken käsittelystä ja työturvallisuudesta.

3.1 Putken käsittely

Käsitellessä putkea esimerkiksi lastaustilanteessa on noudatettava erityistä huolellisuutta, ettei missään tapauksessa putkea kolhita tai pudoteta sitä maahan. Naarmu ohuessa putken seinämässä saattaa johtaa pahimmillaan vuotoihin ja sitä kautta räjähdykseen tai tapaturmaan.

Putken katkaisemiseen kannattaa ensisijaisesti käyttää siihen tarkoitettua käsikäyttöistä putkileikkuria. Vaihtoehtoisesti voi käyttää rautasahaa.

Putkileikkuria ja rautasahaa käytettäessä on muistettava seuraavat asiat:

- putki on leikattava kohtisuoraan eli 90° kulmassa
- on varmistettava, että putkileikkurin terä on terävä ja hyvässä kunnossa
- terän on sovittava putken materiaalille
- putkileikkuria ei saa kiristää liian tiukkaan, koska :
 - se saattaa johtaa putken litistymiseen ja liitos ei ole tiivis.
 - liian tiukka kiristys vaikeuttaa myös katkaisua, koska leikkuria ei pysty kiertämään



KUVA 4. Putkileikkurit (Norwegian Oil and Gas Association 2013, 63)

Kuvasta 4 nähdään kuinka putki katkaistaan oikeaoppisesti

Katkaisun jälkeen leikkauskohtaan jää purseetta, joka pitää poistaa. Poistamiseen voi käyttää putkileikkureissa olevaa koukkua tai erityisesti purseenpoistoon käytettävää työkalua (kuva 5).



KUVA 5. Työkalu purseiden poistoon (Parker 2014, 31)

Lopuksi putki tulee puhdistaa esimerkiksi paineilmalla puhtaaksi irtoroskista, jotka voi joutua prosessiin tai aiheuttaa aineeseen epätoivottuja pyörteitä.



KUVA 6. Katkaisun jättämiä purseita
(Norwegian Oil and Gas Association 2013, 26)

Oikealla putken valinnalla saadaan rakennettua vuotamaton ja turvallinen asennus.

3.2 Liittimet, kierteet ja liittäminen

Teollisuudessa yleisimmin käytettyjä liitinvalmistajia ovat esimerkiksi Swagelok®, Parker CPI® ja Hoke Gyrolok®. Muitakin valmistajia on kymmenittäin, mutta tässä työssä käytetään ainoastaan näitä, esimerkeissä ja muissa yhteyksissä.

3.2.1 Liittimen tunnistaminen ja valinta

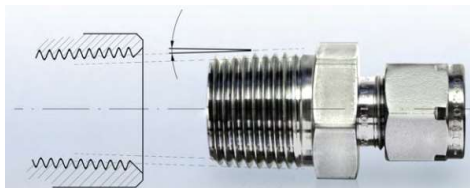
Liittimiä on hyvin monenlaisia ja tyyppisiä eri käyttötarkoituksiin. Tyypillisimmät kolme liittintyyppiä ovat suora lähtöliitin, suora lähtöliitin (naaras) ja suora jatkoliitin (kuvat 7, 8 & 9)



KUVA 7. Suora lähtöliitin uros KUVA 8. Suora lähtöliitin naaras KUVA 9. Suora jatkoliitin (CIRCOR Energy 2015, 2)

Lähtöliittintä käytetään yleensä, kun "lähdetään" jostain laitteesta tai siihen "tullessa". Jatkoliittimellä sananmukaisesti jatketaan putkilinjaa eteenpäin samansuuruisella putkella kuin liittimeen tullessa.

Liittimien eron tunnistaa helpoiten sen kierteestä eli onko kierreosa kartio (NPT) vai lieriö (BSPP).

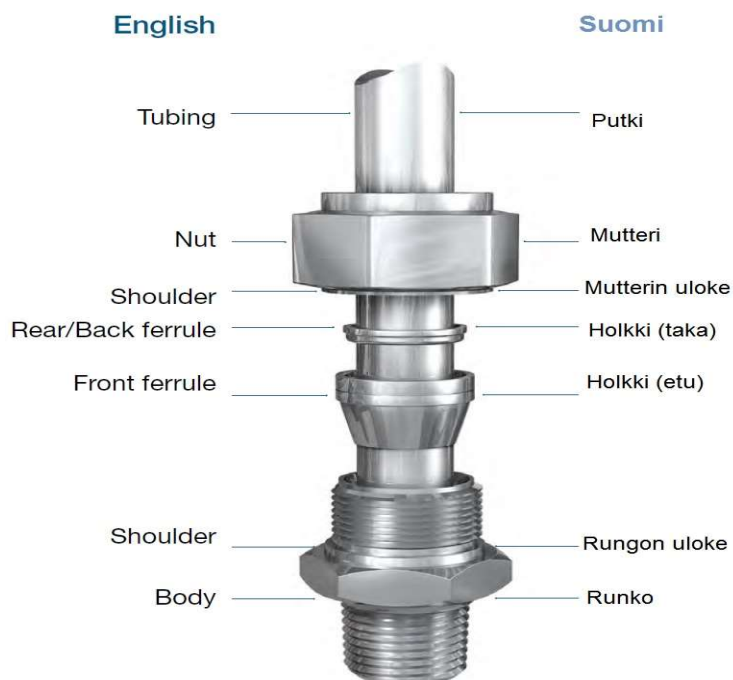


KUVA 10. Kierreosa kartio (Norwegian Oil and Gas Association 2013, 36 & 48)



KUVA 11. Kierreosa lieriö

Kuvassa 12 on nimitykset liittimen eri osille.



KUVA 12. Osien nimitykset (Norwegian Oil and Gas Association 2013, 13)

Liittimien koot luokitellaan useasti käytettävän putkikoon mukaan. Esimerkiksi 12 mm putkelle käytetään 12 mm liittintä, joka tarkoittaa, että liittimen suuaukkoon sopii 12 mm putki. Yleisimpiä liittinkokoja on esitelty taulukossa 3, jossa on mukana myös tuumakoot.

Täytyy muistaa, ettei tuuma- ja metrikokoja saa sekoittaa keskenään. Osat eivät käy dilloin täydellisesti toisiinsa.

TAULUKKO 3. Yleisimmät liittinkoot (Norwegian Oil and Gas Association 2013, 18)

3	1/8" (3,17mm)
6	1/4" (6,35mm)
10	3/8" (9,52mm)
12	1/2" (12,70mm)
16	5/8" (15,87mm)
20	3/4" (19,05mm)
25	1" (25,40mm)
32	1 1/4" (31,75mm)
38	1 1/2" (38,10mm)
50	2" (50,80mm)

Valittaessa sopivaa liittintä on katsottava laitemanuaalista mitä kierretyyppiä ko.laite käyttää ja valittava kierre sen mukaan. Samoin liittimen koko määräytyy asennettavan putken mukaan.

3.2.2 Kierteet

Kartiokierteellä olevia liittimiä käytetään yleensä kovia paineita vaativissa sekä kaasuja sisältävissä asennuksissa. Tämä johtuu siitä, että kartiokierteellä saadaan yleensä parempi tiiveys kuin lieriökierteisellä liittimiellä.

Tästä huolimatta kartiokierteisen liittimen kierreosaan tulee aina laittaa tiivisteliimaa tai teflonteippiä ja kiristää liitin valmistajan vaatimaan momenttiin. Kuvassa 13, neuvotaan kiristämään 12 mm liitin 2 – 3 kierrosta lisää, T.F.F.T (Turns From Finger Tight) sormilla kiristyksen lisäksi.



KUVA 13. NPT eli kartiokierteisen liittimen asennusohje (Parker 2007, F7)

Lieriökierteellä olevia liittimiä käytetään käytännössä useammin hydraulikassa ja tyypeä sisältävissä kokoonpanoissa. Käyttökohteita on monia muitakin tapauksesta riippuen.

Lieriökierreltiin tiivistetään siihen kuuluvalla niin sanotulla O-renkaalla, joka voi olla esimerkiksi kuparia, kumia tai kumimetalliseos. Liittimen kierreosalla ei ole mitään tekemistä tiivistämisen kanssa vaan se on vain mekaaninen tuki, joka pitää liittimen paikallaan.

Lieriökierteiset liittimet pitää aina kiristää vaadittuun momenttiin. (Parker 2007, F4-F6)

Kierrettiiviteippinä kannattaa käyttää PTFE (polytetrafluorietyleni) eli yleisesti Teflon-teippiä. "Kierreteippiä käytetään kaikenlaisten kierrelitosten tiivistykseen esim. hydraulikkajärjestelmissä, paineilmalla, jäädytyslaitteissa, lämmitys- ja ilmastointilaitteissa. Voidaan käyttää kaikenlaisille materiaaleille (rauta, metalli, muovi, kuidut yms.). Kierreteippi sopii hyvin käytettäväksi laitteissa, joissa asetetaan suuret vaatimukset hygienialle (sairaalat, elintarviketeollisuus ja vastaavat)." (UNIPAK A/S, UNIPAK®)

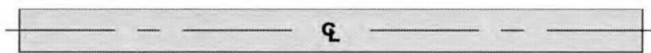
Tiivisteliimana käytetään useasti esimerkiksi Loctite 577 tai Loctite 542 -tyypin liimoja, jotka ovat käytännössä hyväksi todettuja. (Norwegian Oil and Gas Association 2013, 42)

3.3 Mittaus ja taivutus

Onnistuneen ja tiiviin asennuksen tärkein asia on tarkka mittaaminen. Tarkasti mitattu putkireitti on helpompi taivuttaa asennukseen sopivaksi kuin epätarkasti mitattu.

3.3.1 Mittaaminen

Mittauksessa käytetään putken keskilinjaa eli mittaa putken keskelle (centerline).



KUVA 14. Putken keskilinja (Parker 2014, 3)

Tämä siksi, että putkentaivuttimissa olevat merkit on suunniteltu niin. Mittauksessa oleva 1 cm heitto saattaa vaikuttaa lopputulokseen niin, ettei putki sovikaan enää suunniteltuun asennukseen ja kallista materiaalia kuluu turhaan.

Mittauksessa riittää usein tavallinen rullamitta. Kuitenkin, jos putkireitti on haasteellinen ja sisältää paljon mutkia, jotka poikkeavat tavanomaisista 90 ja 45 asteen kulmista, mittauksessa kannattaa käyttää apuvälineitä, jotka auttavat pituuden ja kulman määrittämisessä.

Mitta-apuvälineitä ovat esimerkiksi :

- luotilanka
- astemitta
- laserosoitin

Käytännössä mikä tahansa käy apuvälineeksi, jos sillä saa mitattua tarpeeksi tarkan mitan.

Putken taivuttaminen on suhteellisen helppoa, kun esivalmistelut ovat hyvät eli, käytännössä on tarkka mittaus ja tarvittavat työkalut.

3.3.2 Taivuttaminen

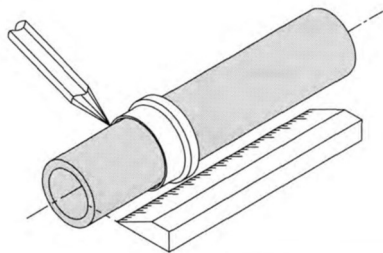
Seuraavassa esitellään putkentaivutuksen peruseriaatteet ja huomioitavat asiat. Putkentaivutuksen oppii hyvin vain taivuttamalla.

1. Vaihe

Käytä oikean kokoista taivutinta putkelle. On suositeltavaa käyttää sähköistä tai hydraulista taivutuskonetta, kun putkenhalkaisija on yli 20 mm tai seinämäpaksuus on yli 2 mm.

2. Vaihe

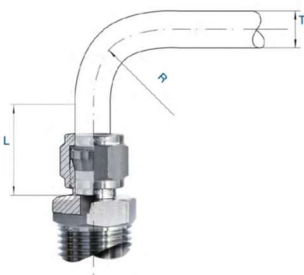
Merkitse taivutuskohhta koko putken ympäri esimerkiksi liittimen holkkia apuna käyttäen.



KUVA 15. Merkitseminen (Parker 2014, 6)

3. Vaihe

Liittimestä lähdetessä ja siihen tultaessa on muistettava, että liitin vaatii vähintään tietyn pituisen suoran osuuden (L) ennen ensimmäistä mutkaa, (kuva 16. & Taulukko 4).



KUVA 16. Havainne kuva liittimeen liiyyttäessä (Norwegian Oil and Gas Association 2013, 6)

TAULUKKO 4. Liittimen tarvitsema suoran putkiosuuden vähimmäismitat tuuma- ja metriyksiköissä (Norwegian Oil and Gas Association 2013, 60)

Tuuma		Metrimen	
T Putken halkaisija (tuumina)	L Suora putkiosuus (tuumina)	T Putken halkaisija (millimetreinä)	L Suora putkiosuus (millimetreinä)
1/16	1/2	3	19
1/8	23/32	6	21
3/16	3/4	8	22
1/4	13/16	10	25
5/16	7/8	12	29
3/8	15/16	14	31
1/2	1 3/16	15	32
5/8	1 1/4	16	32
3/4	1 1/4	18	32
7/8	1 5/16	20	33
1	1 1/2	22	33
1 1/4	2	25	40
1 1/2	2 13/32	28	40
2	3 1/4	30	52
		32	51
		38	60

Epäselvissä tilanteissa varmista oikea mitta liitinvalmistajalta.

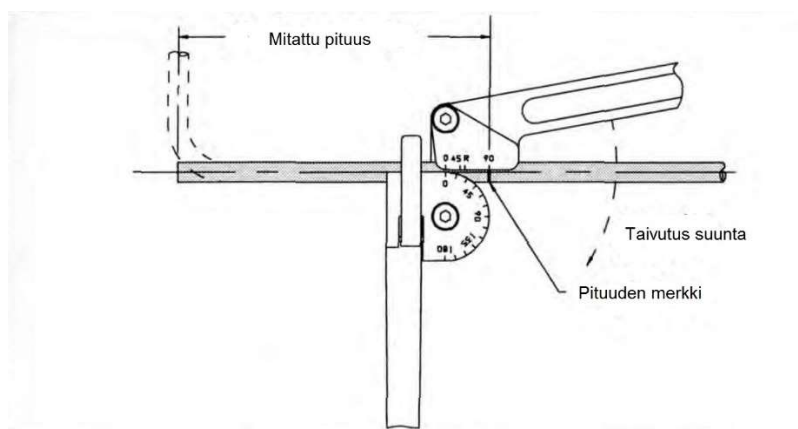
4. Vaihe

90° kulman taivutus



KUVA 17. Taivutus (Norwegian Oil and Gas Association 2013, 66)

Aseta putki niin, että mitattu merkki on 90°-merkin tai L-merkin kohdalla taivuttimessa, riippuen siitä, oletko asettanut mittauksen alkupään vasemmalle (L) vai oikealle (R). Lukitse putki.



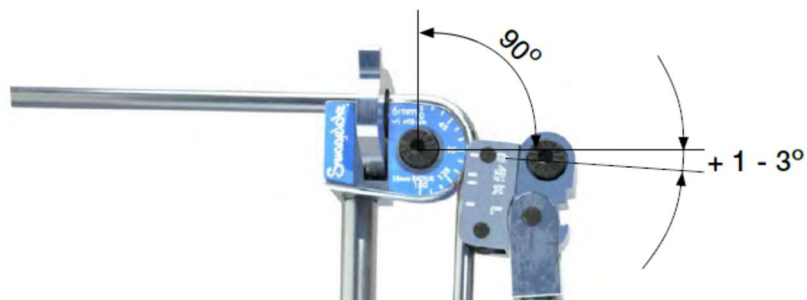
KUVA 18. Putkentaivutin. Mittaus vasemmalta (L) (Parker 2014, 7)

Varmista, että rullaosan 0-kohta on lestin 0-kohdan kanssa vastatusten.

Taivuta putkea niin, että rullaosan 0-kohta on lestin kohdassa 90°. Putkessa on nyt 90° kulma.

Teräsputkea kuten muitakin putkia taivutettaessa putki pyrkii taivutuksen jälkeen oikeenemaan hieman takaisinpäin, joten on huomattava taivuttaa vähän yli 90°, jotta palautuessaan kulma

jäisi 90 asteeseen. Tarvittava ylitaivutus on luokkaa 1-3°.



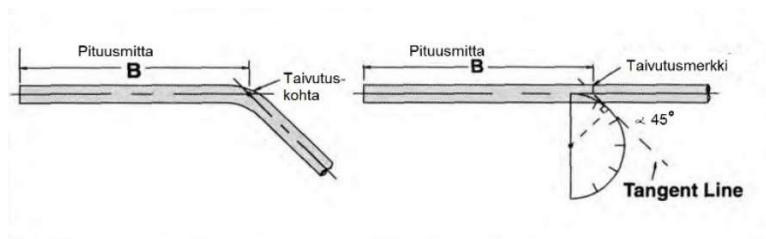
KUVA 19. 90° kulma (Norwegian Oil and Gas Association 2013, 67)

5. Vaihe

45° kulman taivutus

Aseta putki niin, että mitattu merkki on 45°-merkin kohdalla rullaosassa. Lukitse putki.

Taivuta putkea kunnes rullaosan 0-merkki on lestin 45°-merkin kohdalla. Kulma on nyt 45 astetta.



KUVA 20. 45° kulma (Catching FluidPower Inc 2017, 7)

6. Vaihe

Laskennallinen menetelmä taivutuskohdan merkille, kun kulma on yli 90° on seuraava :

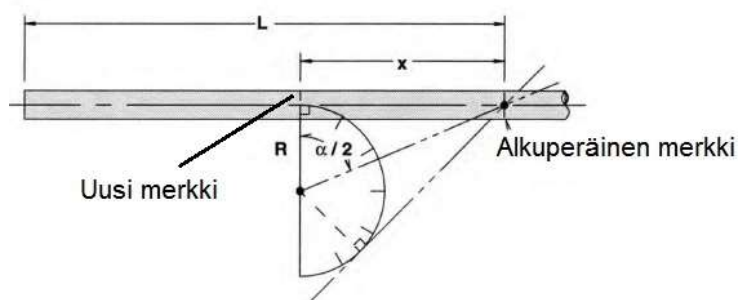
Aluksi mittaa ja merkitse haluttu taivutuskohhta kuten edellä mainittiin. Nyt voidaan laskea oikea taivutuskohhta halutun kulman avulla seuraavasta kaavasta (1), jossa

x = mitta, joka vähennetään alkuperäisestä merkistä

R = taivuttimen lestin säde (12 mm putkentaivuttimessa säde on 38 mm)

α = kulman suuruus

$$x = R * \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) \quad (1)$$



KUVA 21. Kulma yli 90 astetta (Catching FluidPower Inc 2017, 8)

Taivutuskohta saadaan selville vähentämällä saatu tulos x , alkuperäisestä merkistä.

7. Vaihe

Offset eli siirtymä

Siirtymää tarvitaan esimerkiksi, kun asennetaan paljon putkia vierekkäin. Kuva 22.



KUVA 22. Oikean tyyppinen asennus (CIRCOR Energy 2015, 31)

Tällöin putken liitoskohta yleensä korotetaan muista putkista ylemmäksi, koska näin päästään helposti kiristämään putkenliitin asennusvaiheessa tai huollettaessa.

Toinen mahdollinen siirtymän tarve on putkilinjan tiellä oleva este.

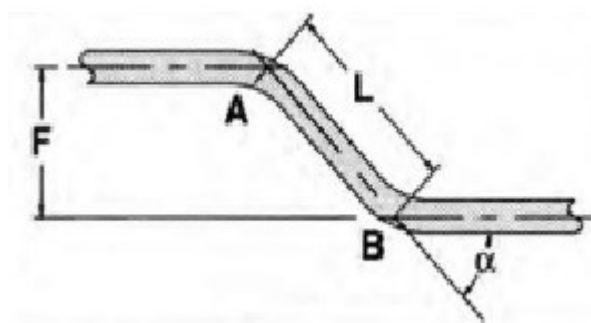
Mittaa ja merkitse, kuten edellä, ensimmäinen taivutusmerkki. Päätä missä kulmassa siirtymä tehdään. Esimerkiksi se voi olla 45° . Mittaa tarvittava siirtymä ja laske seuraavan merkin paikka seuraavalla kaavalla (2), jossa

L = pituus seuraavaan taivutusmerkkiin

F = siirtymä

α = kulman suuruus

$$L = \frac{F}{\sin\alpha} \quad (2)$$



KUVA 23. Havainnekuva siirtymästä (Catching FluidPower Inc 2017, 16)

Aseta ensimmäinen taivutuskohdan merkki rullaosan 45°-merkin kohdalle ja rullaosan 0-kohdalla lestin 0-kohdan kanssa vastakkain. Taivuta niin, että rullaosan 0-kohdan merkki saavuttaa lestin 45°-merkin.

Siirrä putkea seuraavan merkin kohdalle ja toista edellinen. Muista tarkistaa, että putki on oikein päin taivutuksen suhteen eli tässä tapauksessa vastakkaiseen suuntaan kuin ensimmäinen taivutus.

Siirtymän laskentaan on myös valmiita taulukoita, jotka helpottavat ja nopeuttavat työntekoa.

TAULUKKO 5. Kertoimet suoranosuuden laskemiseksi riippuen kulmasta

Siirtymän laskenta	
Kulma	Kerroin
30°	2
45°	1.414
60°	1.155

Kuvien 22 ja 23 pohjalta voidaan esimerkkinä käyttää seuraavaa merkitsemistapaa :

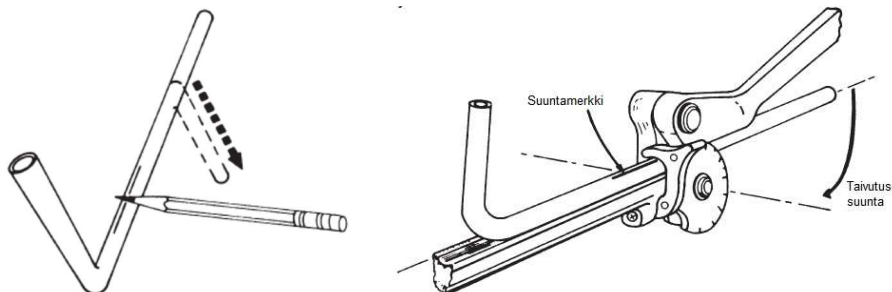
Tiedetään haluttu siirtymä (F) esim. 10 cm. Halutaan kulmassa 45°.

$$L = F * \text{kerroin} = 10 \text{ cm} * 1,414 = 14,14 \text{ cm}$$

Suoraosuus on 14,14cm eli seuraava taivutusmerkki tulee tähän.

Taivutustapoja on monia ja tämänkin voi käytännössä tehdä monin eri tavoin saman lopputuloksen saavuttamiseksi.

Taivutettaessa esimerkiksi siirtymää takaisin suoraan linjaan, putki pitää kääntää 180° akselinsa ympäri. Tässä kohden on hyvä merkitä taivutussuunta putken suuntaisella viivalla. Tämä helpottaa hahmottamaan, että putki on oikein päin.

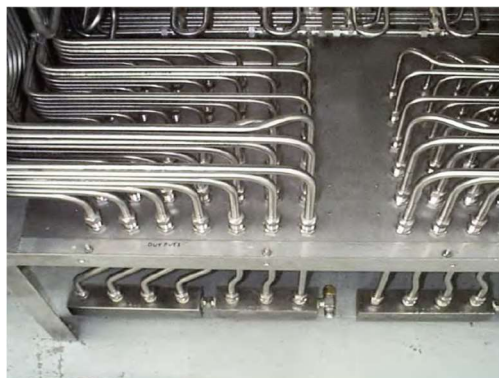


Kuva 24. Taivutussuunnan merkintä (Parker 2014, 5 & 6)

8. Vaihe

Taivutuskohtien merkitseminen etukäteen

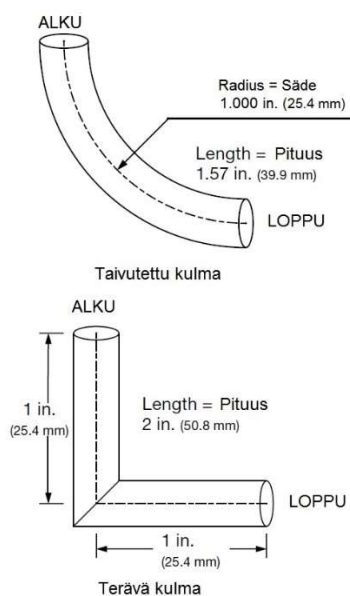
Tämä tapa sopii hyvin asennuksiin joihin tulee paljon putkia vierekkäin samaa reittiä. Swllainen on esimerkiksi ilmanjakokotelo, josta lähtee monta ulostuloa.



KUVA 25. Asennus (Norwegian Oil and Gas Association 2013, 58)

Taivutuskohtien etukäteismittaus nopeuttaa työtökä ja käytännössä säästää materiaalia, koska putki voidaan katkaista valmiiseen mittaansa jo ennen taivuttamista. Tämä tapa vaatii hieman kokemusta ja kaikkiin kenttäasennuksiin en sitä suosittele. Varmin tapa on mitata ja taivuttaa jokainen mutka erikseen.

Tärkein huomioon otettava seikka on putken niin sanottu "viruminen". Putki ei oikeasti viru yhtään vaan ilmiö johtuu siitä, että taivutettu kulma ei ole terävä vaan kaareva. Kaareva kulma on aina lyhempi kuin terävä. Näin ollen mitattu alkuperäinen pituus ei olekaan oikea vaan lyhempi riippuen mutkien määrästä ja taivutuskulmista.



KUVA 26. Pituus kaarevassa kulmassa on aina lyhyempi kuin terävässä (Swagelok 2014, 21)

Nyrkkisääntönä voidaan pitää, että jokaista 90° kulmaa kohden putki lyhenee putken halkaisijan verran. Tarkkuutta vaativissa asennuksissa tähän ei kannata luottaa vaan laskea oikea lyhenemä tästä kerrotaan seuraavaksi.

Mutkasta johtuvan lyhenemän määrittämiseen riippuen kulmasta on olemassa valmiita taulukoita.

TAULUKKO 6. Putken lyhenemä millimetreinä eri kulmissa (Swagelok 2014, 23)

Taivutus- kulma	Putken halkaisija , mm				
	3	6	8	10	12
	Taivutussäde , mm				
	15	15	24	24	38
30°	0	1	1	1	1
45°	1	1	2	2	3
50°	1	2	2	2	3
55°	1	2	3	3	4
60°	2	3	3	4	5
65°	2	3	4	4	7
70°	3	4	5	5	8
75°	3	5	6	7	10
80°	4	6	8	8	12
85°	5	7	10	10	15
90°	6	8	12	12	18

Matemaattisesti lyhenemä saadaan laskettua välille 0 - 180° kaavasta (3), jossa

G = lyhenemä

R = taivutussäde eli lestin säde

α = kulma°

$\pi = 3,14$

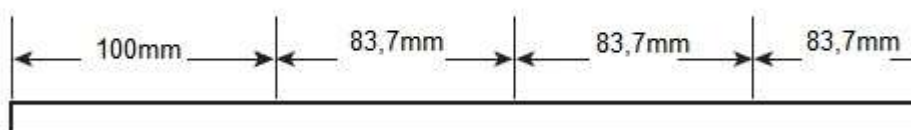
$$G = 2R * \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) - \frac{2\pi R\alpha}{360} \quad (3)$$

Esimerkki 1

90° kulman lyhenemä on 12 mm putkentaivuttimessa yllä olevalla kaavalla laskettuna 16,3 mm.

Käytännössä tämä tarkoittaa seuraavaa:

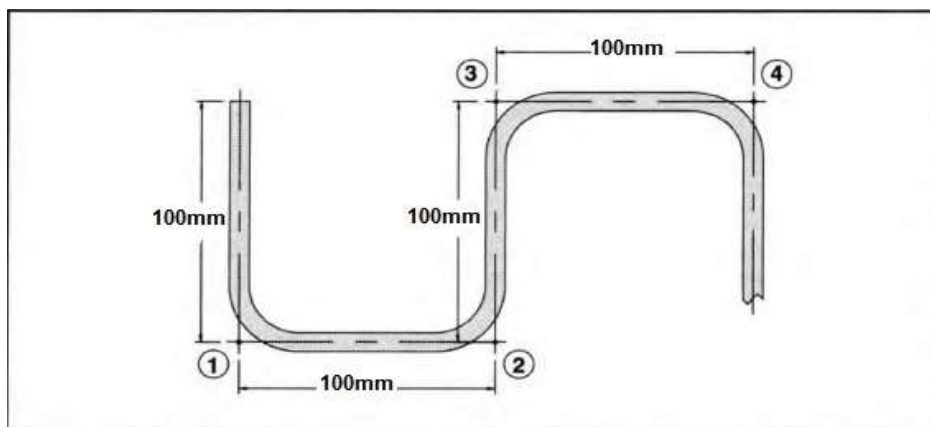
Esimerkki 12mm putki



KUVA 27. Esimerkki 12 mm putken merkitsemisestä taivutusta varten (Catching FluidPower Inc 2017, 14)

Taivutuskohdat on merkittävä, kuten kuvassa 27.

Lopputuloksena on oikeilla mitoilla oleva putki kuten kuvasta 28 voidaan todeta.



Kuva 28. Valmis putki (Catching FluidPower Inc 2017, 14)

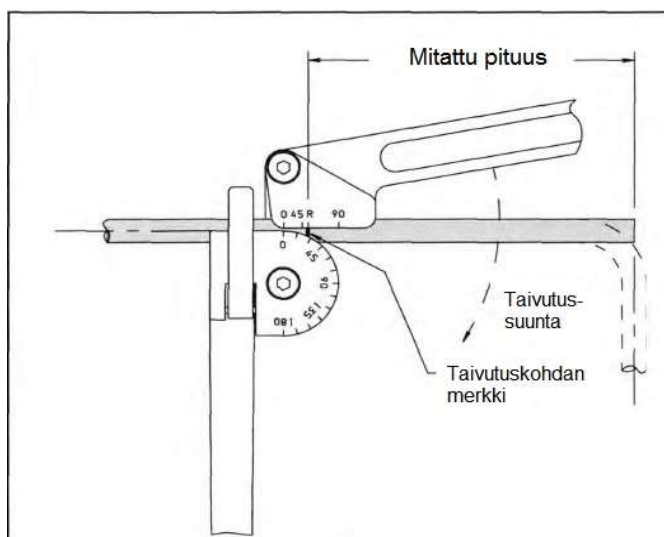
Kuvasta 28 voisi päätellä, että tarvittava putken pituus on 400 mm pisteeseen 4 asti.

Todellisuudessa putkea tarvitaan kuvan 27 mukaan vain 351,1 mm.

Tällä tavoin syntyy materiaalisäästöjä, mutta on suositeltavaa katkaista putki lopulliseen mittaan vasta viimeisen taivutetun mutkan jälkeen.

Esimerkki 2

Toinen tapaus, jossa lyhenemä täytyy ottaa huomioon, on taivutus vastakkaisesta suunnasta. Voi tulla tilanne, jossa on mahdotonta taivuttaa kaikkia mutkia samasta suunnasta eli vasemmalta. Tässä tapauksessa on hyvä käyttää monissa taivuttimissa jo valmiina olevaa R-merkkiä (right), joka kompensoi automaattisesti vähenemän, jos putki joudutaan kääntämään vastakkaiseen suuntaan esimerkiksi viimeistä mutkaa taivutettaessa. Tämä pätee vain 90° mutkalle.



KUVA 29. Taivutus, kun alkupiste on oikealla (Catching FluidPower Inc 2017, 13)

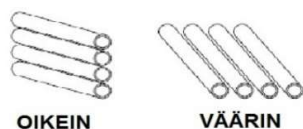
Aina kannattaa pyrkiä taivuttamaan kaikki mutkat samasta suunnasta. Tällöin välttyy helpommin virheiltä, joita sattuu kun ei muisteta käyttää R-merkkiä.

3.4 Työkalut ja asennus

Putkentaivutuksessa ja asennuksessa tarvittavia työkaluja ovat esimerkiksi:

- käsikäyttöiset putkentaivuttimet
- putkileikkurit tai rautasaha
- purseenpoisto työkalu
- rullamitta, mitta
- kiintoavaimet tai jakoavaimet
- putkikiinnikkeet
- kierreliima ja/ tai kierreteippi
- liittimen tiukkuudentarkistin, "rakotulkki", Gap Gauge

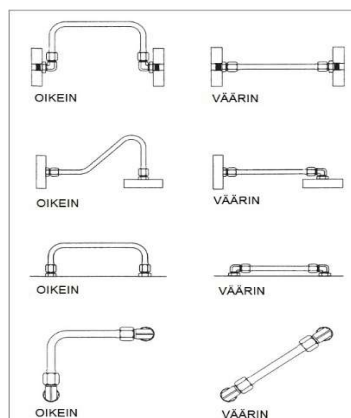
Asennusvaiheessa on järkevää käyttää käytännössä hyväksi todettuja asennustapoja. Useita putkia vierekkäin asennettaessa kannattaa putket niputtaa päällekkäin mahdollisuuksien mukaan. Tämä ehkäisee lian kertymistä putkien pinnoille ja esimerkiksi syövyttävät aineet valuvat paremmin pois kuin vaakatasossa rinnakkain asennetuissa putkissa.



KUVA 30. Asennustapoja (CIRCOR Energy 2015, 32)

Pystysuuntainen niputus lisää myös asennuksen turvallisuutta siinä tapauksessa, että vaakasuuntaisesti niputetut putket ovat alttiimpia ulkoisille iskuille, likaantumiselle ja päälle astumiselle. (CIRCOR Energy 2015, 32)

Monet valmistajat ovat antaneet ohjeita oikeaoppisiin asennustapoihin ja putkien sijoituksiin yleisissä tapauksissa. Seuraavassa kuvassa muutamia oikeaoppisia asennustapoja.



KUVA 31. Oikeaoppisia asennustapoja (Parker 2014, 15)

Kaikissa kuvan 31 oikeaoppisissa asennustavoissa on sama hyvin perusteltu tarkoitus. Putkea ei saa koskaan liittää suoralla osuudella lähtöliittimestä toiseen, koska

- asentaminen on vaikeaa
- huoltaminen on vaikeaa
- ei ota huomioon lämpölaajenemista
- ei huomioi tärinää

Asenna lähtöliittimet niin etteivät ne osoita toisiaan vasten, kuten kuvassa 30 näkyy.

Taivuta putkesta ns. laajennussilmukka (expansion loop). Tällä tavoin asennus itse kompensoi mahdolliset lämmöstä johtuvat materiaalin virumiset ja asentaminen sekä huoltaminen on helpompaa.

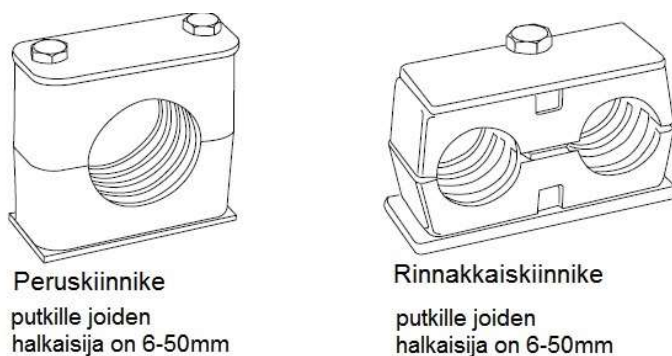
Putkireitissä on otettava huomioon myös toiset prosessilaitteet ja muut huoltoa tarvitsevat laitteet. Laitteiden luokse on oltava esteetön pääsy.

Ohittettaessa reitillä olevaa laitetta, älä käytä 90° taivutuksia. Yhdessä 90° taivutuksessa on suurempi paineenpudotus kuin kahdessa 45° taivutuksessa. (Parker 2014, 16)



KUVA 32. Laitteen ohitus (Parker 2014, 16)

Putket täytyy kiinnittää asianmukaisilla kiinnikkeillä joita on monenlaisia. Hyviksi todettuja putkikiinnikkeitä ovat esimerkiksi seuraavat kuvissa 33 & 34 esittelyt kiinnikkeet:



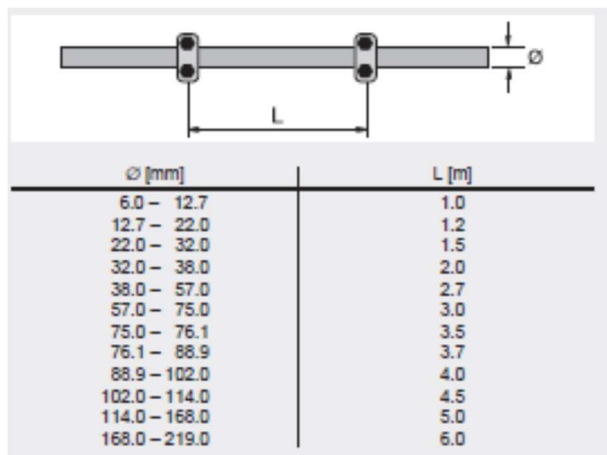
KUVA 33. ParKlamp® kiinnikkeitä (Parker 2014, 18)

Oikeanlaisia kiinnikkeitä käyttämällä saadaan rakennettua siisti ja turvallinen asennus.

Kiinnittämisessä täytyy muistaa, ettei koskaan kiinnitä putkia prosessilaitteisiin, toisiin putkiin tai täriseville pinnoille.

Mahdollisuuksien mukaan putket kannattaa suojata ulkopuolisia iskuja vastaan esimerkiksi peltilevyillä, jos olosuhteet niin vaativat.

Ohuissa putkissa kiinnikkeitten välimatka on tärkeä huomioida. Putki ei itse pysty kannattelemaan omaa painoa kovinkaan pitkiä matkoja taipumatta. Lähteestä riippuen suositeltu kiinnikkeiden välimatka 12 mm putkelle on 0,6 – 1,0 m.



Ø [mm]	L [m]
6.0 – 12.7	1.0
12.7 – 22.0	1.2
22.0 – 32.0	1.5
32.0 – 38.0	2.0
38.0 – 57.0	2.7
57.0 – 75.0	3.0
75.0 – 76.1	3.5
76.1 – 88.9	3.7
88.9 – 102.0	4.0
102.0 – 114.0	4.5
114.0 – 168.0	5.0
168.0 – 219.0	6.0

KUVA 34. Tarvittavat tuentojen välimatkat 6 – 219 mm putkelle (Parker 2007, F16)

3.4.1 Kiristys

Putken kiristäminen liittimeen oikeaan tiukkuuteen varmistaa vuotamattoman asennuksen ja takaa asennuksen turvallisuuden. Liian löysälle kiristetty liitin alkaa ajan myötä vuotamaan ja liian tiukkaan kierretty voi rikkoa liittimen sisällä olevat metalliset tiivistysholkkit ja jopa kierteet.

Putkea asennettaessa liittimeen on varmistuttava, että putki on aivan liittimen pohjassa. Tähän on olemassa myös oma työkalu, jolla putkeen voi tehdä merkin oikeaan kohtaan.



KUVA 35. Työkalu oikean syvyyden varmistamiseksi (Norwegian Oil and Gas Association 2013, 33)

Yleisohjeena on kiertää liittimen mutteri ensin sormitiukkuuteen ja sen jälkeen työkalulla 1 kokonainen kierros ja ¼ kierrosta eli 1 ¼ kierrosta. Taulukossa 7 on tässä päättötyössä käytettävien liitinvalmistajien suosituksia.

TAULUKKO 7. Työkalulla tehtävä kiristys (Norwegian Oil and Gas Association 2013, 29)

Size mm	Size inches	kiristys ensimmäisen kerran (kierrosta)			uudelleen kiristys			Manual pre-assembly	Hydraulic pre-assembly HSU
		Parker A-Lok	Gyrolok	Swagelok	Parker A-Lok	Gyrolok	Swagelok		
2	1/16"	3/4	1 1/4	3/4	1/8	1/4	1/8	•	
3	1/8" (3,17mm)	3/4	1 1/4	3/4	1/8	1/4	1/8	•	
4	3/16"	3/4	1 1/4	3/4	1/8	1/4	1/8	•	
6	1/4" (6,35mm)	1 1/4	1 1/4	1 1/4	1/4	1/4	1/4	•	
10	3/8" (9,52mm)	1 1/4	1 1/4	1 1/4	1/4	1/4	1/4	•	
12	1/2" (12,70mm)	1 1/4	1 1/4	1 1/4	1/4	1/4	1/4	•	•
16	5/8" (15,87mm)	1 1/4	1 1/4	1 1/4	1/4	1/4	1/4	•	•
20	3/4" (19,05mm)	1 1/4	1 1/4	1 1/4	1/4	1/4	1/4	•	•
25	1" (25,40mm)	1 1/4	1 1/4	1 1/4	1/4	1/4	1/4		••
32	1 1/4" (31,75mm)	HSU + 5/8	HSU + 1/4	HSU + 1/2	1/4	1/4	1/4		••
38	1 1/2" (38,10mm)	HSU + 5/8	HSU + 1/4	HSU + 1/2	1/4	1/4	1/4		••
50	2" (50,80mm)	HSU + 3/4	HSU + 1/4	HSU + 1/2	1/4	1/4	1/4		••

• = voi käyttää •• = täytyy käyttää

Ennen työkalun käyttöä kannattaa mutteriin ja liittimen runkoon tehdä pieni merkki toisiaan vasten. Merkistä on helppo katsoa milloin mutteri on kiertynyt tarpeeksi.



KUVA 36. Merkintä ennen työkalulla kiristämistä (Norwegian Oil and Gas Association 2013, 28)

Merkistä on hyötyä myös silloin, kun asennus avataan välillä ja putki irroitetaan. Takaisin asennettaessa mutteri pyöritetään taas sormitiukkuuteen ja lisäksi kierretään 1 1/4 kierrosta. Tämän lisäksi mutteria voidaan kiertää vielä 10-20° lisää, jos asennusta on jouduttu purkamaan useaan otteeseen. (Parker 2014, 33)

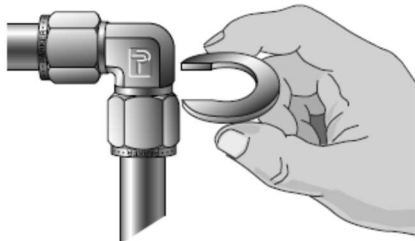
Viimeisenä tiukkuus tarkastetaan vielä siihen tarkoitettulla työkalulla, joita on erilaisia valmistajasta riippuen. Kuvassa 37 on eräs Parkerin työkalu.



KUVA 37. 12 mm tarkastin (Parker 2014, 34)

Kuvassa 37 olevaa työkalua käytetään seuraavasti :

1. Valitse oikean kokoinen tarkastuslätkä ja yritä työntää se mutterin ja liittimen rungon väliin.



KUVA 38. Gap Gaugen käyttö (Parker 2014, 34)

2. Jos lätkä ei mene väliin, kiristys on tehty oikein
3. Jos lätkä menee väliin, kireys ei ole oikea ja asennus pitää uusia

3.5 Työturvallisuus ja muistettavia asioita

Noudata aina ensisijaisesti työmaakohtaisia ohjeita ja yleisiä turvallisuusohjeita.

Seuraavassa on listattuna yleisiä ohjeita turvalliseen asennukseen (Parker 2007, E4):

- Epätäydellinen asennus voi aiheuttaa painehäviöitä ja heikentää asennuksen tärinänvaimennus ominaisuuksia. Se voi aiheuttaa liittimien löystymisen ja sitä kautta vuotoja. Pahimmassa tapauksessa putki voi katketa tai haljeta.
- Putkiliitoksen avaamisen jälkeen täytyy uudelleenasetettaessa liitin kiristää täsmälleen samaan tiukkuuteen kuin se ennen avaamista oli. Liian löysälle jätetty liitos voi johtaa vuotoihin ja heikentää tärinänvaimennusominaisuuksia. Ylikiristäminen voi johtaa siihen ettei kyseistä liitosta voida enää avata ja uudelleen asentaa ja koko liitin voi rikkoutua.
- Noudata putkivalmistajan suosituksia. Epäviralliset putkimateriaalit tai poikkeamat johtavat virheellisiin asennuksiin.
- Ilmaa vuotava putki voi olla vaarallinen. Näkymätön korkeapaineinen vuoto leikkaa lähes mitä vain.

4 YHTEENVETO

Päättötyön yhteenvetona voidaan todeta, että itse päättötyön tekeminen meni alkuperäisestä aikataulun venymisestä huolimatta hyvin ja lisäsi omaa kokemustani itse taivutuksesta kenttäolosuhteissa.

Lopputuloksena, saatavilla oleviin lähteisiin suhteutettuna, valmistui hyvä ja ajantasainen impulssiputken taivutusopas 12 mm käsitaivuttimella suoritettuna. Päättötyö käy mielestäni melko kokemattomallekin asentajalle taivutusoppaaksi perusputkitukseen teollisuuden kenttäolosuhteisiin ja vaatimuksiin.

Kehitysidea voi olla jonkinlainen puhelin- tai vastaava sovellus, johon tiedot syöttämällä saisi automaattisesti laskettua tarvittavat kulmat ja taivutuskohtien mitat. Tällaisia sovelluksia kyllä löytyy, mutta niiden haittana on, ettei niitä ole ohjelmoitu tekemään kaikkia aiemmin tarkasteltuja taivutusvariaatioita ja laskukaavoja.

LÄHTEET

Catching FluidPower Inc, 2017 (viitattu 2017-04-14). Saatavilla: <http://www.catching.com/wp-content/uploads/2014/07/Parker-Tubing-Bending-Fab.pdf>

CIRCOR Energy, HOKE® & GYROLOK® 2015 – Installation Manual for Tube & Precision Instrument Pipe Fitting (viitattu 2018-05-22). Saatavilla: http://www.hoke.com/tech_resources/Technical_Resources_Fitting_Installation_Field_Guide_77100_HOKE_GYROLOK_090116.pdf

FIN Focus Instruments Oy (viitattu 2018-05-22). Saatavilla: <http://static.ecome.fi/upload/43/Kovuus%20Rockwell.pdf>

Norwegian Oil and Gas Association 2013 - Fittings and Small Bore Tubing System December 2017/Rev05 (viitattu 2018-05-55). Saatavilla:

https://www.norskoljeoggass.no/globalassets/dokumenter/drift/hc-lekkasjer/handboker/handbok_fittings_eng_web-211217.pdf

Parker 2007 – Industrial Tube Fittings Europe, Catalogue 4100-8/UK (viitattu 2018-05-22). Saatavilla: http://www.parkerhannifin.be/parkerimages/euro_tfd/EMDC/001_856_uk.pdf

Parker 2014 – Instrument Tube Fitting Installation Manual, Catalogue 4200-B4 (viitattu 2018-05-22). Saatavilla:

https://www.parker.com/literature/Instrumentation%20Products%20Division/FITTING%20INSTALLATION%20MANUAL_BUL_4200-B4.pdf

Swagelok 2014 – Hand Tube Bender Manual (viitattu 2018-05-22). Saatavilla:

<https://www.swagelok.com/downloads/webcatalogs/en/MS-13-43.PDF>

UNIPAK A/S, UNIPAK® (viitattu 2017-03-31). Saatavilla: <http://www.unipak.dk/fi/node/253>