

VARIOITUVAN LAITTEEN
HYDRAULIIKKAPUTKISTON 3D –
SUUNNITTELU

LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Mekatroniikka
Opinnäytetyö
Kevät 2009
Reijo Sinisalo

Lahden ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

SINISALO, REIJO: Varioituvan laitteen hydrauliihkaputkiston 3D-
suunnittelu.

Mekatroniikan opinnäytetyö, 43 sivua, 3 liitesivua

Kevät 2009

TIIVISTELMÄ

Tämän työn tarkoituksena oli suunnitella 3D-hydrauliikkaputkitus Raute Oyj:lle. Työ mallinnettiin Pro/ENGINEER-ohjelman avulla. Suunnittelutyö rajoittui yhteen varioituvaan laitteeseen. Mallina käytettiin porrassannostelijaa. Porrassannostelija on laite, joka annostelee tukkeja eteenpäin tukkijäljällä. 3D-putkistomallia oli tarkoitus käyttää myös tulevissa projekteissa hydrauliihkaputkiston valmistuksessa.

Tässä opinnäytetyössä käydään läpi perusasioita hydrauliihkaputkituksen suunnitteluun liittyen, sekä kerrotaan itse Pro/ENGINEER Piping-ohjelmiston käytöstä. Työssä tehtyjen suunnitteluohjeiden on tarkoitus helpottaa ohjelmiston käyttöä Raute Oyj:llä.

Työn tuloksina saatiin toimiva 3D-putkistomalli, sekä ohjeet Pro/ENGINEER Piping-ohjelmiston käytöstä.

Työn ohjaajina toimivat Marko Perttilä ja Ari Heinonen Raute Oyj:ltä, sekä Arto Kettunen Lahden ammattikorkeakoulun Yritys- ja kulttuuritoimialalta.

Avainsanat: hydrauliiikka, 3D-mallinnus, suunnittelu

Lahti University of Applied Sciences
Faculty of Technology

SINISALO, REIJO: A 3D design of the hydraulic pipework in a varied device

Bachelor's Thesis in Mechatronics 43 pages, 3 appendixes

Spring 2009

ABSTRACT

The aim of this study was to design a 3D hydraulic pipework to Raute Oyj. The work was modelled using the Pro/ENGINEER program. The design work was limited to one varied model. The used model was a stepfeeder. Stepfeeders are machines that dose stocks forward at a log line. The 3D piping model is meant to be used also in future projects when producing actual pipelines.

This thesis is also a review of the basics of hydraulic piping designs, and it also explains how to use the Pro/ENGINEER Piping program. The created design instructions are to facilitate using the program at Raute Oyj.

The results of this thesis were functional 3D piping model, and also instructions of the Pro/ENGINEER Piping program.

The instructors of this study were Marko Perttilä and Ari Heinonen from Raute Oyj and Arto Kettunen from Lahti University of Applied Sciences.

Keywords: hydraulics, 3D-modelling, design

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	TOIMEKSIANTAJA	2
3	TYÖN VAATIMUKSET	3
3.1	Työn tavoite	3
3.2	Rajaus	4
4	PUTKISTON SUUNNITTELU	5
4.1	Perusteet	5
4.2	Hydraulijärjestelmän edut ja haitat	7
4.3	Hydrauliikkajärjestelmän suunnitteluvaiheet	8
4.4	Putkiston suunnittelu	10
4.5	Putkiston mitoitus	15
4.6	Kertavastushäviöiden laskenta	16
4.7	Hydrauliikkakomponenttien sijoittaminen	18
4.8	Putkiston kiinnittäminen	18
4.9	Turvallisuus	19
4.10	Lainsäädäntö	20
5	3D-MALLINTAMINEN	21
5.1	Yleisesti	21
5.2	Pro/ENGINEER yleistiedot	21
5.3	Laitteistovaatimukset	22
5.4	Pro/ENGINEER 3D-mallinnus	23
6	PRO/ENGINEER PIPING-OHJELMISTO	24
6.1	Käyttöönotto	24
6.2	Rakenne	25
6.3	Putkikirjasto	26
6.4	Putken ja letkun reititys	29
6.5	Pintamallin luominen	30
6.6	Liittimet	31
6.7	Putkikokoonpano	32
6.8	Letkut	34
6.9	Piirustukset	35
6.10	Kaaviot	36

7	TYÖN VAIHEET	37
7.1	Lähtötiedot	37
7.2	Suunnittelun eteneminen	38
8	YHTEENVETO	41
	LÄHTEET	43
	LIITTEET	44

Lyhenteet ja eri termien selitykset:

3D	Kolmiulotteinen grafiikka
2D	Kaksiulotteinen grafiikka
assosiaatio	Riippuvuus esimerkiksi mallitietokannan syötekenttiin
hydrauliikka	Tehonsiirtoa nesteen paineen ja tilavuusvirran avulla
kokoonpano	Useita malleja sisältävä esitys, jossa osat on sidottu toisiinsa sidosehtoja käyttäen
osaluettelo	Luettelo kappaleen valmiste- ja/tai varaosatiedoista ja/tai kokoonpanon osista
parametri	Lukuarvo tai ominaisuus
piirreohjaisuus	Malli koostuu useista toisiinsa kiinnittyneistä piirteistä
varioituva malli	Mallin mittoja, kuten leveyttä voidaan muuttaa ohjelman avulla

Kaavoissa käytetyt merkinnät:

d	halkaisija [m]
l	pituus [m]
p	paine [N/m^2], [Pa]
Δp	painehäviö, paine-ero [N/m^2], [Pa]
Q	tilavuusvirta [m^3/s]
Re	Reynoldsin luku
s	paksuus [m]
v	virtausnopeus [m/s]
ν	kinemaattinen viskositeetti [m^2/s]
ζ	kertavastuskerroin
ρ	tiheys [kg/m^3]
λ	kitkavastuskerroin

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tavoitteena oli tehdä Pro/ENGINEER ohjelmalla valmis putkisto yhden parametrinen laitteen sisälle. Putkistosuunnittelun mallina käytettiin porrassannostelijaa.

Ennen putkiston 3D-suunnittelua ei porrassannostelijasta ollut olemassa valmiiksi suunniteltua putkistomallia. Asentajan tehtävänä oli laitteen kokoonpanovaiheessa rakentaa toimiva hydraulikkaputkisto apunaan hydraulikkakaavio.

3D-mallintamisen hyötynä on, että kaikkien osien sopivuus nähdään mallintamisvaiheessa ja kaikki putki- ja letkulinjat nähdään piirustuksista. Tällöin asentajan ei tarvitse erikseen suunnitella putkistolinjoja. Osien todellinen menekki saadaan selville, kun kaikki käytettävät osat lisätään 3D-malliin. Näin saadaan oikeat kustannukset laskettua ja esimerkiksi letkujen osalta on helppo lähettää varaosia asiakkaalle, kun letkun mitat saadaan katsottua 3D-mallista.

Porrassannostelijasta oli valmis 3D-malli, johon mallinnettiin putkisto. Putkiston suunnittelussa oli oleellisena osana mallintaa putkisto siten, että se saataisiin muutamaan porrassannostelijan mittojen muuttuessa. Putkistossa oli tarkoitus käyttää mahdollisimman paljon samoja komponentteja. Näin saataisiin piirustusten lukumäärää vähennettyä.

Jotta 3D-mallin käyttö olisi mahdollista projekteissa, niin putkistomallista oli tehtävä myös tarvittavat piirustukset, sekä komponenteista oli saatava tarvittavat materiaalitiedot projektitilausta varten.

Pro/ENGINEER Piping -ohjelmiston käyttö oli minulle tuttua ennestään, sillä olin myös käyttöönnottamassa kyseistä ohjelmistoa keväällä 2007.

2 TOIMEKSIANTAJA

Tämän opinnäytetyön toimeksiantajana toimi Raute Oyj. Raute on suuri puualaan erikoistunut yritys, jonka toimenkuvaan kuuluu kokonaisten tehtaiden, tuotantolinjojen ja yksittäisten koneiden valmistus. Raute valmistaa tuotteita mm. seuraaville toimialoille:

- vaneriteollisuus
- viiluteollisuus
- LVL-teollisuus.

Teknologiatarjonta kattaa asiakkaiden koko tuotantoprosessin raaka-aineen käsittelystä lopputuotteen viimeistelyyn ja pakkaukseen. Lisäksi Raute tarjoaa teknologiapalveluja, kuten kunnossapitoa, varaosapalveluja, modernisointia, konsultointia, koulutusta sekä kunnostettuja koneita. (Raute Oyj 2009.)

Rauten toiminta on globaalia ja toimipaikkoja on ympäri maailmaa. Päätoimipiste sijaitsee Nastolassa. Vuonna 2008 Rauten liikevaihto oli 98,5 miljoonaa euroa. Yrityksen palveluksessa työskenteli yhteensä noin 570 henkilöä. (Raute Oyj 2009.)

Olin tekemässä päättötyötä Rautella Nastolassa 3.3-22.4.2008 välisenä aikana.

3 TYÖN VAATIMUKSET

3.1 Työn tavoite

Opinnäytetyön tavoitteena oli mallintaa 3D-suunnitteluohjelmalla porrasannostelijaan hydraulikkaputkisto, josta saataisiin piirustukset ja materiaalitiedot varsinaista hydraulikkaputkiston valmistusta varten. Työhön kuului myös luoda piirustukset putkistosta ja kiinnikkeistä. Putkista oli myös tarkoitus tehdä taivutus-
taulukot, jotka saataisiin liitettyä piirustuksiin. Myös 2D-hydrauliikkakaaviot oli tavoitteena liittää osaksi 3D-mallia.

Tehtävänä oli myös tarkastella porrasannostelijan leveyden ja muiden varioituvien mittojen vaikutusta putkiston mallintamisessa. Jotta komponenttien lukumäärä saataisiin pysymään mahdollisimman pienenä, oli pyrittävä luomaan vakioituja ratkaisuja. Syöttämällä laitteen lähtöarvot oli hydraulikkaputkiston mallin ohjauttava oikeille mitoille ilman mekaanista mallia. Myös linjataso suunnitteluun oli tarkoitus saada putkituksesta tilanvarausmalli käyttöön. Linjataso mallista nähtäisiin putkiston sopivuus linjan muihin laitteisiin nähden.

Tämän opinnäytetyön on tarkoitus samalla helpottaa putkistosuunnittelua ja Pro/ENGINEER Piping-ohjelman käyttöä putkiston 3D-suunnittelussa.

3.2 Rajaus

Suunnittelutyö rajattiin tehtäväksi yhden mekaanisen laitteen sisältäviin hydraulikkakomponentteihin. Suunnittelutyön mallintamiseen sisältyi seuraavat osat:

- putkisto
- letkut
- kiinnittimet
- venttiilit
- 2D-kaavio
- piirustukset
- taivutusdata
- osaluettelot
- materiaalitiedot
- liittimet.

4 PUTKISTON SUUNNITTELU

4.1 Perusteet

Suunniteltaessa hydrauliiikaputkituksia on pyrittävä tekemään mahdollisimman lyhyitä putkilinjoja, sillä painehäviöt kasvavat putkiston pituuden kasvaessa. On hyvä käyttää letkuja vain paikoissa, joissa niitä todella tarvitaan, sillä putket ovat pitkäikäisempiä ja niiden valmistus on myös edullisempaa. (Pöysti 1988, 6.)

Letkuja voidaan käyttää muun muassa seuraavissa kohteissa:

- koneikon ja putkilinjan välillä (vähentää tärinää).
- liikkuvien mekanismien yhteydessä (sylinterit).

Suunniteltaessa putkistoa on suositeltavaa käyttää mahdollisimman paljon samoja komponentteja. Kun käytetään vain tiettyjä komponentteja, saadaan ne paremmin standardoitua. Näin varaosien lukumäärä pysyy myös pienenä. Liitinten lukumäärä pyritään minimoimaan putkistosuunnittelussa, sillä mitä enemmän on liittimiä, niin sitä suurempi on myös vuotoriski. Liittimissä syntyy aina myös painehäviöitä. (Pöysti 1988, 6.)

Hydrauliikkajärjestelmät jaetaan kahteen ryhmään:

- avoin järjestelmä
- suljettu järjestelmä.

Nämä eroavat toisistaan sillä, että avoimessa järjestelmässä on erillinen hydrauliiikkakoneikko, jonne öljy palaa toimilaitteen jälkeen. Suljetussa järjestelmässä öljy kiertää toimilaitteen jälkeen suoraan pumpulle. Avointa järjestelmää käytetään usein, kun on käytössä useampia toimilaitteita. (Forselius 1993, 97-98.)

Hydrauliikan yhteydessä käytettäviä perustunnuksia ja muuntotaulukoita:

- $paine = p \text{ [N/m}^2\text{]}, \text{ eli Pascal [Pa]}$
- $voima \text{ Newton } 1 \text{ N} = 1 \text{ kgm/s}^2$
- $1 \text{ bar} = 0,1 \text{ Mpa}$
- $1 \text{ kp/cm}^2 = n. 0,980 \text{ bar}$
- $1 \text{ psi (pounds/square inch)} = n. 0,068 \text{ bar}$
- $1 \text{ bar} = n. 14,2 \text{ psi}$
- $1 \text{ l} = 1 \text{ dm}^3$
- Paineen SI- järjestelmän mukainen yksikkö on Pascal (Pa).
- Psi-yksikköä käytetään enemmän maissa, joissa käytetään yleisesti tuuma-
mitoitusta (Yhdysvallat ja Iso-Britannia).
- Kun hydrauliikassa puhutaan paineesta, tarkoitetaan ylipainetta.
Ylipainetta on paine, joka on ilmakehän 0,1 Mpa:a korkeampi arvo.
- Kun puhutaan absoluuttisesta paineesta, niin painearvoa verrataan aina
ideaaliseen tyhjiöön.
- Absoluuttinen paine saadaan ylipaineen ja ilmanpaineen summasta. Jos
ylipaine on 10 MPa, niin absoluuttinen paine on $10 \text{ MPa} + 0,1 \text{ Mpa} = 10,1$
Mpa.
- Vastaavasti alipaine on absoluuttisen nollapaineen ja ilmankehän paineen
välillä oleva arvo.

4.2 Hydraulijärjestelmän edut ja haitat

Hydraulijärjestelmän etuna verrattaessa muihin tehonsiirtojärjestelmiin on hyvä teho/paino-suhde, säädettävyys ja rakenteen muunneltavuus. Hydrauliikan avulla saadaan lineaariset ja pyörivät liikkeet toteutettua helposti. Voiman, nopeuden ja momentin muuttaminen on helppoa. Komponentit ovat standardoituja ja hydraulineste myös voitelee ja jäähdyttää toimilaitteen. (Keinänen & Kärkkäinen 2005, 171.)

Haittapuolina hydrauliikassa on hyötysuhde, joka jää kohtalaiselle tasolle, sekä tehonsiirtoon käytettävän aineen ominaisuudet, kuten lämpötilariippuvuus, likaantuvuus ja monesti palamisen vaara, sekä ympäristöä likaavien nesteiden käyttö. Kun tehoa siirretään hydrauliikan avulla pitkiä matkoja, myös tehohäviöt kasvavat suuriksi. Lähes kaikissa hydraulijärjestelmissä esiintyy hiukan vuotoja. Komponenteissa on tarkat toleranssivaatimukset, jotka nostavat osaltaan myös komponenttien hintaa. (Keinänen & Kärkkäinen 2005, 171.)

4.3 Hydraulikkajärjestelmän suunnitteluvaiheet

Hydraulikkajärjestelmän suunnittelu sisältää monta eri työvaihetta. Jotta suunnittelu saataisiin järkevästi toteutettua, on hyvä edetä työssä tietyssä järjestyksessä. Kuvioissa 1 ja 2 nähdään eräs tapa, kuinka suunnittelussa on mahdollista edetä:

1. LÄHTÖTIEDOT

- toimilaitteet
- kuormitus
- lay-out
- kestoikä
- aikataulu
- kustannustavoitteet
- muut erikoisvaatimukset
- työkierto
- standardit

2. TOIMINTAKAAVIO

- toimilaitteiden toiminta ajan funktiona ja ohjausimpulsseilla

3. JÄRJESTELMÄ

- avoin tai suljettu

4. NIMELLISPAINE

- MAX normaalisti 180 bar
- oltava varaa nostaa 15 prosenttia painetta nimellisestä paineesta

5. VALITAAN SOPIVAT KOMPONENTIT

- venttiilit
- sylinterit
- pumput

6. KAAVIO

- standardimerkit

7. LASKETAAN TOIMILAITTEIDEN DIMENSIOT KUORMITUSTEN POHJALTA

KUVIO 1. Hydraulikkasuunnittelun eteneminen, vaiheet 1-7 (Forselius 1993, 100-101)

8. TILAVUUSVIRTA

- laaditaan tilavuusvirtakuvio ajan funktiona

9. UUELLEENARVIOINTI

- pyritään mahdollisimman pieniin tehohäviöihin

10. JÄRJESTELMÄN OHJAUKSEN VALINTA

- yleensä sähköinen

11. TARKISTETAAN TOIMILAITTEIDEN TEHOTARPEET JA PAINE

- lasketaan pumpun ja käyttömoottorin tekniset arvot

12. HYDRAULIKAAVION VARUSTUS TARVITTAVILLA LISÄLAITTEILLA

- suodattimet
- painemittarit

13. KOMPONENTTIEN VALINTA

- huomioitava saatavuus, yhteensopivuus ja kesto

14. PUTKISTON LASKENTA

- imu-, paine- ja paluulinjat.

15. SELVITETÄÄN KOMPONENTTIEN TEHOHÄVIÖT

16. LASKETAAN TEHOHÄVIÖT TYÖKIERRON AVULLA

- selvitetään jäähdytysjärjestelmän tarve

17. VALITAAN SÄILIÖN KOKO

18. SELVITETÄÄN LAITTEIDEN ASENNUS- JA SIOITTELUNÄKÖKOHDAT

19. TEHDÄÄN KUSTANNUSARVIO

20. LOPULLINEN HYDRAULIKKAKAAVIO KOMPONENTTILUETTELOINEEN

21. TEHDÄÄN ASENNUSJÄRJESTYS JA AIKATAULU

- asennuskuvat

KUVIO 2. Hydraulikkasuunnittelun eteneminen, vaiheet 8-21 (Forselius 1993, 100-101)

4.4 Putkiston suunnittelu

Ennen putkituksen mitoitusta on yleensä selvitettävä järjestelmän paine ja pumppun tilavuusvirta. Oikean paineen valintaan vaikuttaa muun muassa laitteiston paineenkesto, kuormitus ja pumppu. Mitä suurempaa painetta käytetään, sitä pienempi on vaadittava virtausnopeus ja putkiston koko. Järjestelmän painetasolle on hyvä varata noin 15 prosentin nostovara, jotta saadaan tarvittaessa kulumisesta tai muusta kuormituksen muutoksesta johtuen lisäreserviä. Ellei nostovaraa ole jätetty, on mahdollista, että järjestelmä joutuu alttiiksi ylikuormitukselle. Tämä taas lisää kulumista entisestään. Kriittisille komponenteille on hyvä varata reilumpi paineenkestovara. (Promaint 2005.)

Kun järjestelmää mitoitetaan, on otettava huomioon puhtauden ylläpito. Likainen öljy lisää seisokkeja ja huoltokustannuksia. Komponenttien epäpuhtauksien sietotason tulisi olla suurempi kuin öljyn epäpuhtaustaso, jotta saataisiin toimintavarmuus riittäväksi. Järjestelmä tulee suunnitella toimimaan ilmoitetuissa käyttöolosuhteissa (lämpötila, kosteus, pöly). (Promaint 2005.)

Taulukossa 1. on suositeltavat virtausnopeusarvot eri putkityypeille. Putkiston ollessa pitkä on käytettävä suositeltuja arvoja pienempiä virtausnopeuksia.

TAULUKKO 1. Suositeltavat virtausnopeudet eri putkistotyypeille (Kauranne, Kajaste, Vilenius 2008, 416)

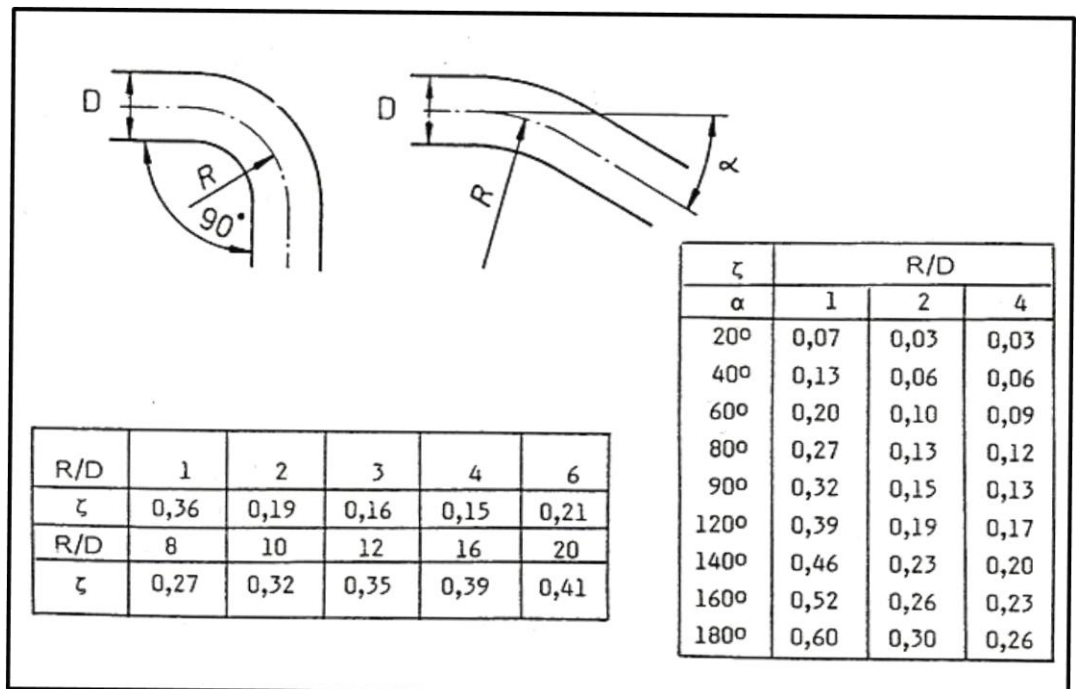
Kanava	Virtaus suositusarvo [m/s]	Virtaus yläraja [m/s]
Imukanava	0,5-1,0	1,0-1,5
Paluukanava	2,0-3,0	3,0-4,0
Painekanava		
6,3-10 Mpa	4,0-4,5	6
10-16 Mpa	4,5-5,0	6
16-25 Mpa	5,0-5,5	6
25-40 Mpa	5,5-6,0	6

Jos imupuoli mitoitetaan liian ahtaaksi tai koneikon imulinjan lähtö on sijoitettu pumpun alapuolelle, niin alkaa pumppu kehittää alipainetta. Alipaine saa aikaan nesteen höyrystymisen, jota kutsutaan myös kavitaatioksi. Tämän estämiseksi on hyvä nostaa säiliö pumpun imuyhteen yläpuolelle, jolloin saadaan staattista painekorkeutta.

Putken sisähalkaisijan määrittämiseen on käytössä painehäviöön ja virtausnopeuteen perustuva mitoitustapa. Laskenta voidaan suorittaa ensin virtausnopeuteen perustuvalla tavalla määrittämällä putkien sisähalkaisijat ja tämän jälkeen laske-
malla yksittäisten painehäviöiden suuruudet. Kokonaisvirtahäviöt saadaan siis las-
kemalla putkiston kitkahäviöt, sekä tämän jälkeen komponenttien kertahäviöt.

(Pöysti 1988, 7.)

Yksittäisten komponenttien virtaushäviöiden määrittämiseen löytyy usein valmis-
tajan sivuilta taulukot. Myös putkikäyrien ja liittinten painehäviöiden laskemiseen
on olemassa omia taulukoita, joista nähdään virtaushäviöt. Kuviossa 3 ovat esillä
putkimutkien kertavastuskertoimet.



KUVIO 3. Putkikäyrän kertavastuskertoimet (Forselius 1993, 24)

Runko- ja toimilaitelinjojen yhteenlaskettu painehäviö saa olla jatkuvassa käytössä 3...5% ja jaksottaisessa käytössä 7...10 % järjestelmän paineesta (Promaint 2004). Kuvion 4 avulla voidaan määrittää sallittu painehäviö putkistossa jatkuvassa käytössä.

$$\frac{\Delta p}{p} = 0,03..0,05$$

p = järjestelmän nimellispaine

Δp = sallittu painehäviö

KUVIO 4. Kaava sallitun painehäviön määrittämiseksi

Kun tiedetään tilavuusvirta ja virtausnopeus, voidaan putken sisähalkaisija määrittää. Putken sisähalkaisijan laskemiseen käytetään kuvion 5 mukaista kaavaa:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot v}}$$

Q = tilavuusvirta [m^3/s]

v = virtausnopeus [m/s]

d = putken sisähalkaisija [m]

KUVIO 5. Kaava putken sisähalkaisijan määrittämiseksi

Nesteen virtaus putkistossa voi olla laminaarista, jolloin neste liikkuu tasaisesti. Tällöin häviöt kasvavat virtausnopeuden kasvaessa suhteessa nopeuteen. Jos nesteen virtaus on epätasaista, syntyy turbulenttinen virtaus, jossa muodostuu pyörteitä. Tällaisessa virtauksessa syntyy huomattavasti enemmän painehäviötä. (Keinänen & Kärkkäinen 2005, 175.)

Laminaarinen ja turbulenttinen virtaus erotetaan toisistaan niin sanotun Reynoldsin luvun mukaan. Suoran putken määrittämisessä voidaan käyttää Re -arvoa 2300, jonka alapuolella virtaus on laminaarista ja luvun ollessa välillä 2300-3000 virtaus on molempia. Arvon ollessa yli 3000 on virtaus turbulenttista. Jos virtaus on turbulenttista, on putken pinnankarheus huomioitava laskuissa. (Keinänen & Kärkkäinen 2005, 175.) Kuvion 6 kaavasta saadaan Reynoldsin luku laskettua:

$$Re = \frac{d \cdot v}{\nu}$$

$Re = \text{Reynoldsin luku}$

$\nu = \text{kinemaattinen viskositeetti [m}^2/\text{s]}$

$v = \text{virtausnopeus [m/s]}$

$d = \text{halkaisija [m]}$

KUVIO 6. Kaava Reynoldsin luvun määrittämiseksi

Putken painehäviö suorassa putkessa saadaan lasketuksi kuvion 7 kaavan avulla:

$$\Delta p = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot v^2$$

$l = \text{putken pituus [m]}$

$\rho = \text{nesteen tiheys [kg/m}^3\text{]}$

$v = \text{virtausnopeus [m/s]}$

$\lambda = \text{kertavastuskerroin}$

$\Delta p = \text{painehäviö [Pa]}$

KUVIO 7. Kaava painehäviön laskemiseksi putkessa

Kitkavastuskerroin ei ole vakioarvo, vaan se riippuu Reynoldsin luvusta. Lisäksi turbulentsissa virtauksessa siihen vaikuttaa putken suhteellinen pinnankarheus. Laminaarisessa virtauksessa kitkavastuskerroin saadaan kuvion 8 avulla:

$$\lambda = \frac{64}{\text{Re}}$$

KUVIO 8. Kaava kitkavastuskertoimen määrittämiseksi

Liittimissä ja putkissa esiintyvät yksittäiset painehäviöt saadaan lasketuksi kuvion 9 avulla:

$$\Delta p = \zeta \cdot \frac{\rho}{2} \cdot v^2$$

$\rho =$ nesteen tiheys [kg/m³]

$v =$ virtausnopeus [m/s]

$\zeta =$ kertavastuskerroin

$\Delta p =$ painehäviö [Pa]

KUVIO 9. Kaava painehäviön laskemiseksi

Kertavastuskertoimen arvo riippuu virtauskanavan rakenteesta ja Reynoldsin luvusta. Esimerkiksi putkikäyrän kertavastus saadaan kuvion 3 avulla.

4.5 Putkiston mitoitus

Määritetään 15 metriä pitkän paineputken sisähalkaisija ja lasketaan sen painehäviö. Järjestelmään on valittu pumppu, joka tuottaa 40 l/min. Öljyn tiheys $\rho = 870 \text{ kg/m}^3$, sekä öljyn kinemaattinen viskositeetti $\nu = 68 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$. Pumpun nimellispaine $p = 16 \text{ Mpa}$. Painepuolen suositeltava virtausnopeus on taulukon 1 mukaan 4,5-5,5 m/s. Lasketaan putken halkaisija kuvion 5 kaavan avulla.

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot v}} = \sqrt{\frac{4 \cdot \frac{40 \cdot 10^{-3}}{60} \text{ m}^3/\text{s}}{\pi \cdot 4,5 \text{ m/s}}} = 13,7 \text{ mm}$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot v}} = \sqrt{\frac{4 \cdot \frac{40 \cdot 10^{-3}}{60} \text{ m}^3/\text{s}}{\pi \cdot 5,5 \text{ m/s}}} = 12,4 \text{ mm}$$

Putken halkaisijaksi valitaan liitteen 3 taulukosta putki 16·1,5 mm.

Virtausnopeudeksi tällöin saadaan:

$$v = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot d^2} = \frac{4 \cdot \frac{40 \cdot 10^{-3}}{60} \text{ m}^3/\text{s}}{\pi \cdot (13 \cdot 10^{-3} \text{ m})^2} = 5,02 \text{ m/s}$$

Määritetään seuraavaksi kuvion 6 kaavan avulla putken Reynoldsin luku:

$$Re = \frac{d \cdot v}{\nu} = \frac{13 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot 5,02 \text{ m/s}}{68 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}} = 960,21$$

Kun arvo on alle 2300, on virtaus putkessa laminaarista ja pinnankarheus ei vaikuta kitkavastuskertoimeen. Kitkavastuskerroin saadaan kuvion 8 kaavan avulla lasketuksi:

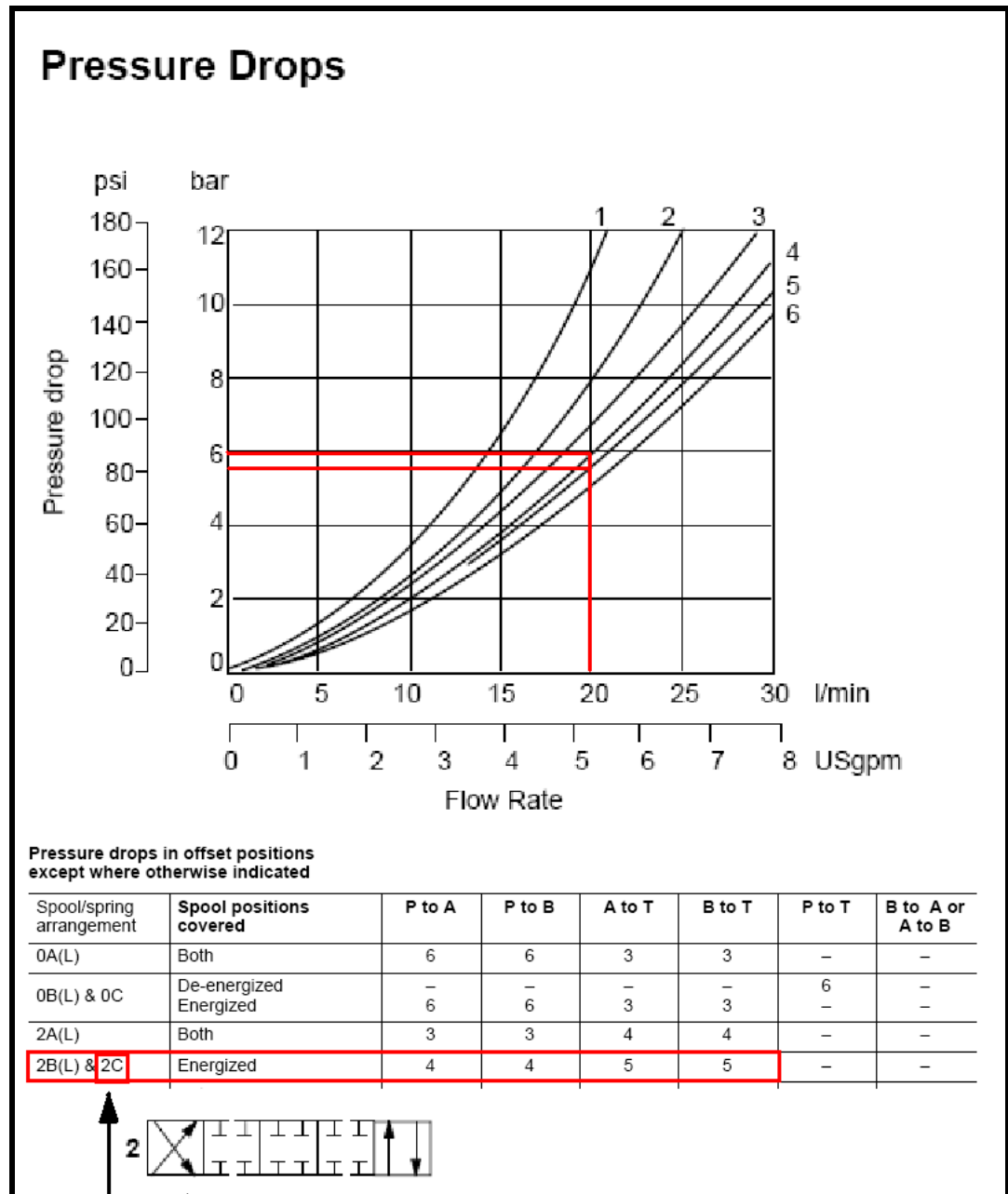
$$\lambda = \frac{64}{Re} = \frac{64}{960,21} = 0,067$$

Seuraavaksi voidaan putken painehäviö laskea kuvion 9 kaavan avulla:

$$\begin{aligned}\Delta p &= \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot v^2 = 0,067 \cdot \frac{15 \text{ m}}{13 \cdot 10^{-3} \text{ m}} \cdot \frac{870 \text{ kg/m}^3}{2} \cdot (5,02 \text{ m/s})^2 \\ &= 0,85 \text{ MPa}\end{aligned}$$

4.6 Kertavastushäviöiden laskenta

Tarkastellaan seuraavaksi yksittäisen komponentin painehäviön laskentaa. Yksittäisen komponentin kertavastukset voidaan määrittää valmistajien antamista taulukoista. Valitaan tarkasteltavaksi venttiiliksi Vickers DG4V-2C. Kuviossa 10 on esillä suuntaventtiilin painehäviökäyrästä. Venttiilille on mahdollista valita useita erilaisia luisteja. Sekä luistilla, että kanavalla on merkitystä siihen, miltä käyrältä painehäviö luetaan.



KUVIO 10. Vickers DG4V suuntaventtiilin painehäviöt (Eaton-Vickers 2009).

Kuvion 10 käyrästä luetaan siten, että ensin valitaan oikea käyrästä luistityypin ja karan mukaan. Tämän jälkeen vaaka-akselilta valitaan oikea tilavuusvirta ja katsotaan valitusta käyrästä painehäviö. Kuviossa 10 on käytetty luistityyppiä numero 2 tilavuusvirran ollessa 20 l/min. Painehäviöiksi tällöin saadaan:

$$P \Rightarrow A, B = 6 \text{ bar}$$

$$A, B \Rightarrow T = 5,6 \text{ bar}$$

4.7 Hydraulikkakomponenttien sijoittaminen

Venttiilit tulee sijoittaa sellaiseen paikkaan, missä huolto ja osien vaihto on mahdollista ilman suuria purkutöitä. Liittimet on sijoitettava siten, että ne päästään jälkeenpäin kiristämään vaivattomasti mahdollisen vuodon sattuessa. Jos on todennäköistä, että putkilinjaan syntyy ilmapusseja, niin on käytettävä ilmausliittimiä.

Komponentin valinta on tehtävä niin, että mikään toimintasuure tai ominaisuus (paine, virtaus, lämpötila, öljyn puhtausvaatimus, ohjaussignaali, tiivistemateriaalit) ei ole aivan äärirajoilla normaalikäytössä. (Promaint 2004.)

Vian etsinnän kannalta on tärkeää päästä mittaamaan paine tietyistä kohteista. Putkistoon on hyvä sijoittaa paineenmittausliittimet ainakin seuraaviin kohteisiin:

- pumpun ja paineenrajoittimen yhteyteen
- toimilaitteen molemmille puolille (sylinteri)
- paluupuolelle venttiilin jälkeen.

(Suomenlehtiyhtymä Oy 2004.)

4.8 Putkiston kiinnittäminen

Putkistoa rasittavat mm. värinä, korroosio ja lämpötilaerot, sekä paineiskut. Jotta putkisto kestäisi mahdollisimman pitkään, on putkiston kiinnitysten oltava riittävän kestäviä ja oikein suunniteltuja. Laitteen runkoa on hyvä käyttää putkiston kiinnittämisessä hyödyksi, jolloin ei tarvita niin paljon erillisiä tukirunkoja.

(Pöysti 1988, 51.)

Putkiston tuennassa on noudatettava kunkin kiinnikevalmistajan ohjeita. Kanna-koitaessa putkia on huomioitava, että putki laajenee lämpötilan kasvaessa. On siis käytettävä tarpeen vaatiessa ns. paisuntalenkkejä putken lämpölaajenemisen kompensoimiseksi. (Pöysti 1988, 50-51.)

4.9 Turvallisuus

Suunnittelijan on mahdollista vaikuttaa laitteiden turvalliseen toimintaan valitsemalla kestävä ja turvalliset komponentit. Kun valitaan kestävä komponentti, myös huollot vähentyvät. Suurimmat tapaturmariskit ovat juuri hydraulisten laitteiden kunnossapitoon ja korjaukseen liittyviä. Varsinaisessa normaalissa käytössä tapahtuu harvemmin tapaturmia. (Promaint 2005.)

Henkilövahinkojen minimoimiseksi ja ympäristövahinkojen vähentämiseksi on turvallisuuden oltava ajan tasalla. Seuraavat seikat on huomioitava hydraulikkasuunnittelussa:

- Kaikkien toimilaitteiden liikkeiden on pysähdyttävä hätäpysäytyksessä.
- Paineakulla varustetuissa järjestelmissä sähköisesti ohjattujen venttiilien tulee olla sellaisia, että ne ohjautuvat liikkeen pysäyttävään asentoon.
- Mikäli sähkökatkeavat, on toimilaitteiden jätävä tai ohjaututtava sellaiseen asentoon, ettei vaaraa pääse syntymään prosessin pysähtyessä.
- Järjestelmässä on oltava käsikäyttöiset venttiilit, joilla mahdolliset voimat ja jännitykset voidaan purkaa turvallisesti pysäytyksen jälkeen.
- Mikäli hydraulikan varaan on mahdollista jäädä kuormia toimilaitteen liikkeen pysäytyksen jälkeen, on se varustettava mekaanisilla jarruilla, kuormanlaskuventtiileillä tai ohjatuilla vastaventtiileillä.
- Jos letkurikon sattuessa on oletettavissa, että se aiheuttaa henkilö- tai laiteaurion, on järjestelmässä oltava kuormanlasku-, letkurikko-, tai ohjattu vastaventtiili.
- Työympäristössä on estettävä irtoavan tai katkeavan letkun aiheuttama vaara.
- Mikäli hydraulikan takana on suuria taakkoja, on varmistettava, ettei taakka pääse putoamaan, jos paine häviää.
- Tuotantotiloissa olevan hydraulikkakoneikon melutaso ei saa ylittää 85 dB mitattuna 1m:n päästä koneikosta. Jos melutaso ylittyy, tulee koneikko sijoittaa erilliseen huoneeseen tai eristää.

(Promaint 2004.)

4.10 Lainsäädäntö

Euroopan alueella on voimassa painelaitedirektiivi, joka on tarkoitettu helpottamaan painelaitteiden markkinoille saattamista ja yhdenmukaistamaan EU:n lainsäädäntöä. Painelaitedirektiivi 97/23 EY (Pressure Equipment Directive, PED) on saatettu Suomessa voimaan kauppaja- ja teollisuusministeriön päätöksellä painelaitteista KTMp 938/1999. (Tukes 2009.)

Painelaitedirektiivi sisältää suunnittelua, valmistusta ja vaatimustenmukaisuuden arviointia koskevat olennaiset turvallisuusvaatimukset. Painelaitteita ovat esimerkiksi höyrykattilat, lämminvesikattilat, lämmönvaihtimet, prosessiputkistot ja painesäiliöt. Uudet painelaitteita koskevat säädökset ovat olleet voimassa marraskuun 29. päivästä 1999 lähtien. (Tukes 2009.)

5 3D-MALLINTAMINEN

5.1 Yleisesti

Tuotteiden toimitusaikojen lyhentyessä on ajasta tullut yhä tärkeämpi osa kilpailua ja suunnitteluun kuluva aikaa on pyritty lyhentämään. Siirtyminen 2D-suunnittelusta 3D-suunnitteluun on eräs tapa, jolla tuotekehitystoimintaa kyetään nopeuttamaan.

3D-mallinnus tarkoittaa tuotteen suunnittelua kolmiulotteisesti. Tuotesuunnittelun 3D-mallintaminen suunnittelutapana on lisääntynyt viime vuosien aikana merkittävästi. 3D-mallinnusohjelmat ovat huomattavasti monipuolisempia kuin 2D-ohjelmat. Siirtyminen 3D-suunnitteluun säästää pitkällä aikavälillä kustannuksia muun muassa prototyyppinä valmistettaessa. Suurimpia etuja 3D-suunnittelussa on, että nähdään osien yhteensopivuus. Myös lujuuslaskennassa ja törmäystarkastelussa 3D-ohjelma on tehokas. (Tuhola & Viitanen 2008,13.)

3D-suunnitteluohjelmia teollisuuden käytössä ovat mm:

- Autodesk Inventor
- SolidWorks
- Vertex G4
- Pro/ENGINEER
- Catia V5.

5.2 Pro/ENGINEER yleistiedot

PTC loi aikanaan teollisuuden 3D-markkinan tuomalla markkinoille Pro/ENGINEER 3D-suunnitteluohjelmiston. Siitä lähtien Pro/ENGINEER on ollut suosittu 3D-mekaniikkasuunnitteluohjelmisto. Sen ominaisuuksia ovat parametrisuus, skaalautuvuus ja assosiatiivisuus. Perusohjelmiston lisäksi on mahdollista asentaa monia lisämoduuleita. (Convia Oy 2009.)

5.3 Laitteistovaatimukset

Sujuvan toiminnan perusedellytys on laitteiston tasapainoisuus. Keskusmuistin määrä on tärkeimpiä tekijöitä sujuvalle työskentelylle. Kiintolevyn käsittely on aina hitaampaa kuin keskusmuistin. Jos käsitellään suuria kokoonpanoja, tai tehdään useita kokoonpanoja yhtäaikaaisesti, vaatii se paljon myös muistilta.

Muut oleelliset osat 3D-työskentelyssä ovat käytettävä prosessori, ohjelma ja näytönohjain. Kaikkien kolmen mainitun komponentin on toimittava hyvin yhteen. Suorittimessa on oltava mahdollisimman paljon tehoa, jotta odottamiseen kuluva aika jää pieneksi. Suuren muistimäärän vaatima käsittely vaatii suorittimelta paljon.

Näytökäsittely jää mallinnuksessa suurelta osin näytönohjaimen huoleksi. Näytönohjaimen perusvaatimuksena on, että se tukee OpenGL-näytönohjainstandardia. Ptc:n nettisivuilta löytyy lista eräistä sopivista näytönohjaimista, sekä muista laitteistovaatimuksista.

Putkistomallin suunnittelussa käytössä oli seuraavanlainen laitteisto:

- prosessori : Intel(R) Core™ 2 cpu 6400@2.13GHz
- muisti: 2,13 GHz 1,98 GB.

Tällä laiteella onnistui vaivattomasti pienien ja keskikokoisten mallien mallintaminen Pro/ENGINEER-ohjelmistolla.

5.4 Pro/ENGINEER 3D-mallinnus

Mallintaminen alkaa tuotetietojen keräämisestä, jonka pohjalta osamalli ja kokoonpano suunnitellaan. Jokaisesta osasta luodaan oma osamalli, joka sisältää tarkat fyysiset mitat ja muodot. Valmiit osamallit yhdistetään kokoonpanomalleihin, joissa on helppo havaita eri osien keskinäinen yhteensopivuus. (Tuhola & Viitanen 2008,54.)

Sekä osa- että kokoonpanomallit mallinnetaan siten, että ne sisältävät mm. seuraavat tiedot:

- valmistusmateriaali
- tilaustieto
- omapaino.

Pro/ENGINEER:lle ominaista on, että jos muutetaan yhden 3D-mallin mittoja tai muotoja, päivittyy samalla muutos kaikkiin niihin kokoonpanomalleihin, joissa kyseistä osaa käytetään, sekä myös kaikkiin piirustuksiin, jotka on laadittu kyseisten osa- ja kokoonpanomallien pohjalta.

Kokoonpanomalli laaditaan osamalleja toisiinsa yhdistämällä. Varsinaiset 2D-valmistuspiirustukset puolestaan valmistetaan näiden kokoonpanomallien ja osamallien pohjalta. Piirustuksiin saadaan osaluettelot automaattisesti 3D-mallin tietojen pohjalta.

Piirustuksiin lisätään tarpeelliset merkinnät, kuten:

- mitoitus
- toleranssi
- osanumerot
- hitsaus.

Piirustusten on oltava sellaisia, että niiden pohjalta on helppo valmistaa osat. Kun piirustukset on saatu valmiiksi, ne julkaistaan ja siirretään valmistukseen.

6 PRO/ENGINEER PIPING-OHJELMISTO

6.1 Käyttöönotto

Piping-ohjelmiston käyttö vaatii aina Piping lisäosan tilaamisen. Seuraavassa on käsitelty perusasioita Piping-ohjelmiston käytöstä. Piping-ohjelmiston käynnistys tapahtuu seuraavanlaisesti. Ensinnä avataan kokoonpano, jonka jälkeen valitaan **Applications** valikosta **Piping**, jolloin kyseinen moduuli käynnistyy. Putkiston 3D-mallintamisessa on huomioitava seuraavia seikkoja:

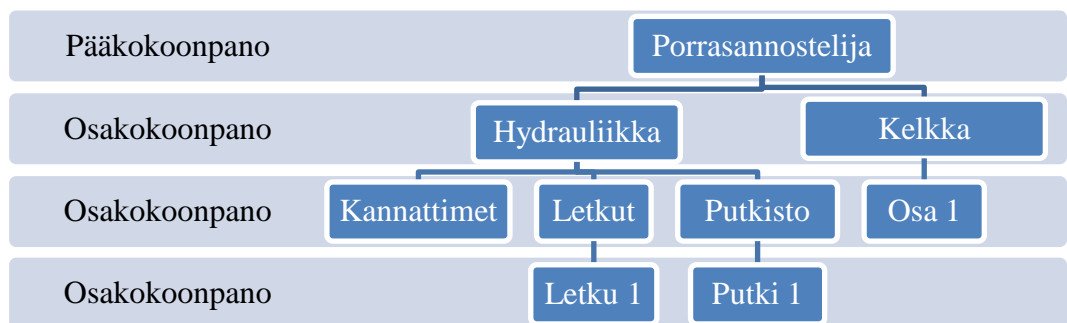
- On hyvä käyttää pääsääntöisesti vain 90° kulmia, sillä putkien valmistus hankaloituu epämääräisiä kulmia käytettäessä.
- Jo mallinnusvaiheessa on syytä miettiä, kuinka mallista saadaan selkeät 2D-kuvat.
- On vältettävä liian suuria kokoonpanoja, sillä jos osia on paljon saman kokoonpanon alla, tulee siitä raskas ja osaluettelot kasvavat suuriksi.
- Jo mallinnuksen alussa on hyvä miettiä, kuinka osa liitetään kokoonpanoon.
- Standardiosien (venttiilit ym.) mallit ovat valmiina 3D-malleina saatavilla eräiltä valmistajilta kuten Vickersiltä ja Bossrexrothilta.
- Mallinnettaessa komponentteja pyritään ne mallintamaan mahdollisimman vähillä piirteillä.

6.2 Rakenne

Rakennetta hahmoteltaessa oli tavoitteena luoda hydrauliikkaputkistolle oma kokoonpanonsa, niin ettei riippuvuussuhteita porrasannostelijan pääkokoonpanoon tulisi. Tämä mahdollistaisi hydrauliikkakokoonpanon muokkaamisen erikseen il-man pääkokoonpanomallin tuontia.

Hydrauliikkakokoonpano voidaan jakaa edelleen omiin osakokoonpanoihin kuvion 11 mukaan. Kokoonpano on hyvä jakaa riittävän pieniin osakokoonpanoihin, ettei osaluetteloista tule liian suuria. Kun tehdään riittävän pieniä kokoonpanoja, saadaan kuvista selkeitä. Jos yhdessä kuvassa on paljon komponentteja, on kuva epäselvä ja hankala ymmärtää.

Kokoonpanojen rakennetta on tarkasteltava myös tilausten kannalta. Jos esimerkiksi putkisto valmistetaan alihankinnassa, niin on tärkeää, että saadaan lähetettyä piirustukset vain tarvittavista osista. Näin vältetään antamasta ylimääräisiä piirustuksia tärkeistä komponenteista ja tuotesuoja pysyy paremmin salassa.



KUVIO 11. Putkiston rakenne

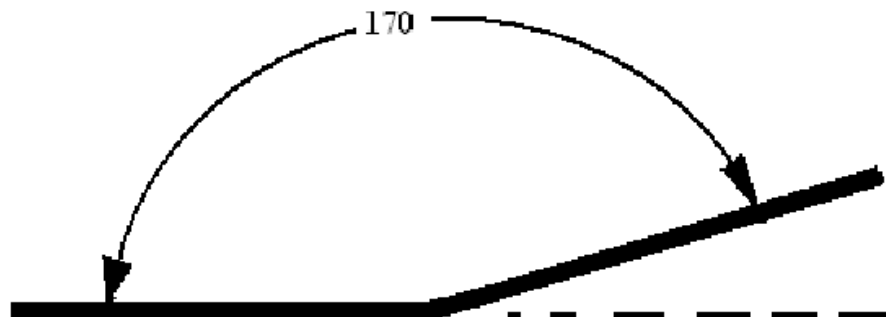
6.3 Putkikirjasto

Ennen varsinaista putkiston mallintamista on aina luotava eri kokoisille putkille ja letkuille kirjastoon tiedot. Kirjasto sisältää putken kaikki perustiedot kuten:

- muodon
- koon
- materiaalin
- taivutussäteen.

Putkiston mitoituksessa käytetään metristä järjestelmää.

Kun määritellään putken sallitut taivutuskulmat, kuten 170 astetta, niin ohjelma mitoittaa putken kuvion 12 mukaan. 20 asteen kulma taivuttaa siis putkea enemmän ohjelmassa, kuin 170 asteen kulma. Kuviossa 12 ovat nähtävillä eräälle putkelle käytetyt taivutuskulma-arvot.



KUVIO 12. Putken taipuma 170 astetta.

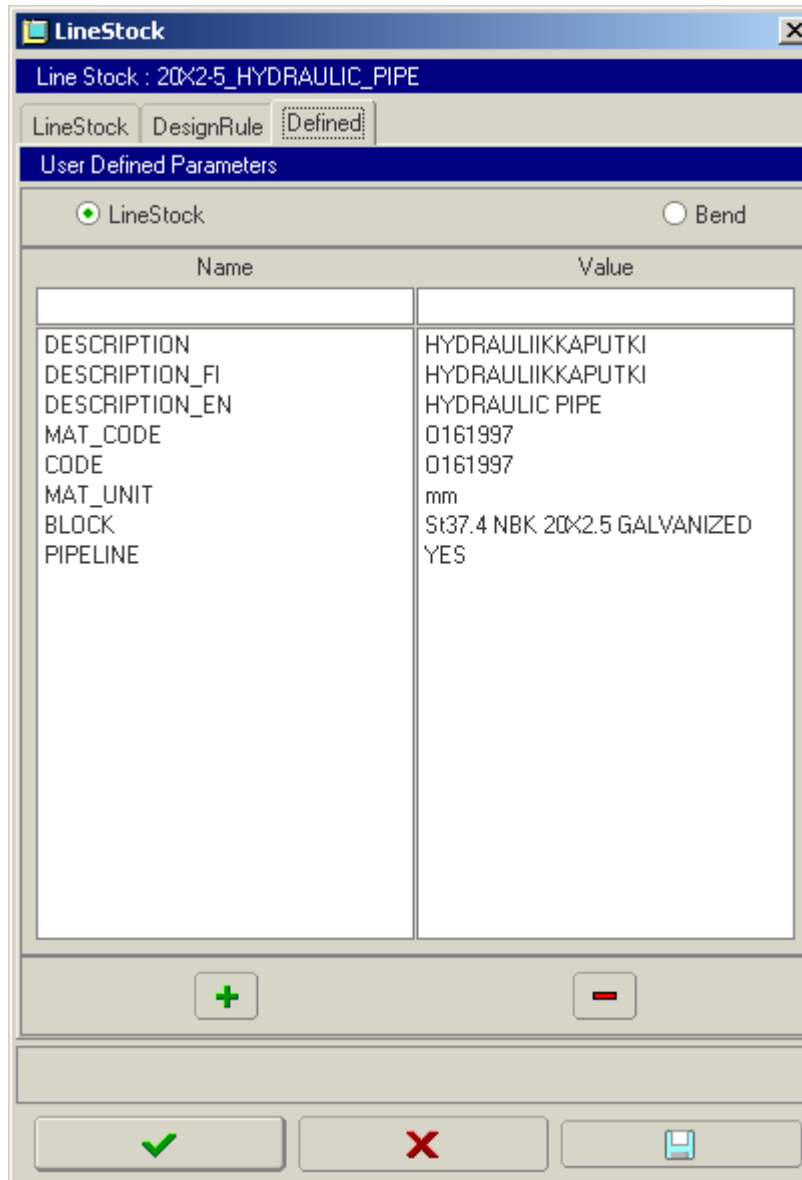
Putken painon arvoa suhteessa pituuteen annettaessa on esimerkiksi lukuarvo 10 todellisuudessa 10 000 kg yhden metrin matkalla. Kuviosta 13 nähdään erään 20 mm paksun putken painon ja pituuden suhteellinen arvo, joka on 0,00108. Todellisuudessa putki painaa 1,08 kg/m. On siis jaettava todellinen lukuarvo tuhannella syötettäessä arvoa putkikirjastoon.

The screenshot shows the 'LineStock' software interface for defining a pipe stock. The title bar reads 'Line Stock : 20x2-5_HYDRAULIC_PIPE'. The interface is divided into several sections:

- General Parameters:**
 - Stock No: 20x2-5_HYDRAULIC_PIPE
 - Material: St 37.4 NBK
 - Grade: GALVANIZED
- Section Type:**
 - Circular
 - Rectangular
 - Hollow
 - Solid
- Section Parameters:**
 - Pipe OD: 20
 - Thickness: 2.5
- Shape Type:**
 - Straight
 - Flexible
- Corner Type:**
 - Bend
 - Fitting
 - Miter Cut
- Weight/Length:** 0.00108 (highlighted with a callout box labeled 'painon määrittäminen')
- Bend Radius:** 50 40
- Bend Angle:** 90 135 150 165 120 45 60 30 15 (highlighted with a callout box labeled 'kulman määrittäminen')
- Miter Cut Length:** 50 100 150
- Miter Cut Number:** 1 2 3

At the bottom, there are three buttons: a green checkmark, a red 'X', and a floppy disk icon.

KUVIO 13. Putkikirjaston luonti.



KUVIO 14. Putkikirjaston luonti.

Tietoja lisättäessä on oltava selvillä millaisella taivuttimella putket taivutetaan, jotta oikea taivutussäde saadaan selville. Putken tarvittavat materiaali ja nimitiedot lisätään kuvion 14 mukaisesti. Tämän jälkeen putkivarasto tallennetaan.

6.4 Putken ja letkun reititys

Uuden putkilinjan reititys aloitetaan luomalla oma kokoonpano, joka sijoitetaan hydrauliiikkokokoonpanon alle. Alla eräs esimerkki putki- ja letkukokoonpanon nimeämisestä:

- PLINJA_A2_F1453663.ASM
- LLINJA_B3_F1344414.ASM

F-tunnus valitaan ylemmältä kokoonpanolta (kuten PUTKISTO.F124242.ASM). Putken reititys on mahdollista luoda montaa eri tapaa käyttäen.

Aloitus tapahtuu valitsemalla ensin kyseinen putkikokoonpano aktiiviseksi ja tuomalla kokoonpanoon putkitiedot: **SetUp/Line Stock/Read**, sekä valitaan oikea putkikoko listasta. Tämän jälkeen luodaan uusi putki: **Pipeline/Create** ja nimeetään putki.

Kun putkitiedot on valittu ja luotu kokoonpanoon, voidaan sen mallintaminen aloittaa seuraavalla tavalla:

- **Set start**, ja valitaan kyseisen putkilinjan sisältä koordinaattipiste (CS0), josta halutaan aloittaa putken teko (kyseinen putkikokoonpano on oltava aktiivisena, jotta tiedot menevät oikean kokoonpanon sisälle).
- **Extend**-komennon avulla putkea voidaan jatkaa haluttuun suuntaan.
- **To Pnt/port**-komennolla saadaan putki kulkemaan haluttujen koordinaattipisteiden kautta. Kun malli on reititetty kokonaan, niin voidaan siitä luoda pintamalli.

6.5 Pintamallin luominen

Tehtäessä pintamalli, syntyy samalla osa. Tämä yksittäinen osa voidaan aukaista omaan ikkunaan. Esimerkki putki- ja letkuosan nimeämisestä:

- PUTKI_A2_F12323.PRT
- LETKU_B1_F1334.PRT

Pintamalli tehdään valitsemalla: **Fabricate/Pipe solid**. Jotta saataisiin eri tasot näkyviin on kirjastosta luettava **pipe.prt** tiedot pintamallille. Ohjelma lisää kolme numeroa aina F-tunnuksen jälkeen, jotka tulee poistaa.

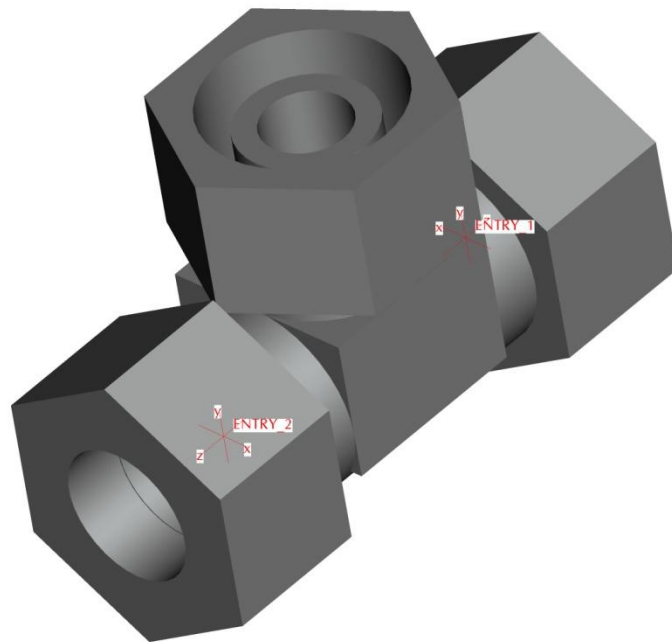
Kun hyväksytään solidin teko syntyy putkelle pintamalli. Tämän jälkeen lisätään putki tai letku osalle tiedot **Manage Properties**:ssa:

- raaka-aine, jos putken mitat muuttuvat
- vakio-osa, jos putkiosa pysyy vakiona.

6.6 Liittimet

Mikäli samankaltaisia liittimiä tulee useita, on silloin hyvä käyttää liittimien luomisessa familytablea apuna. Tämä helpottaa komponenttien luomista ja vähentää mallinnustyötä. Samalla tehdään liittimestä kaikki erikokoiset mallit, joita esiintyy Rauten standardikirjastossa. Jokaiseen liittimeen on luotava x, y, z-lähtökoordinaatit, joista putki/letku linja lähtee. Liittimen paikoitusta varten on myös oltava oma x, y, z-koordinaatisto.

Koordinaatistojen nimeämisessä käytetään ENTRY 1, ENTRY 2 ENTRY 3 jne. Koordinaatisto sijoitetaan siten, että Z-akselin suunta on aina poispäin liittimestä. Suunta on sama, johon putki lähtee liittimestä. Kaikkiin liittimen kohtiin, joista lähdetään putkella on lisättävä koordinaatisto. Jos halutaan putken menevän tietyn verran suoraan liittimen päästä, voidaan liittimelle luoda piste (POINT 1), jonka kautta putki kulkee. Kuviossa 15 on esillä eräs t-liitin, josta nähdään molemmissa päissä olevat koordinaatistot.



Instance:T-LIITINRUNKO_ET_25-PS

KUVIO 15. Hydraulikkaliitin.

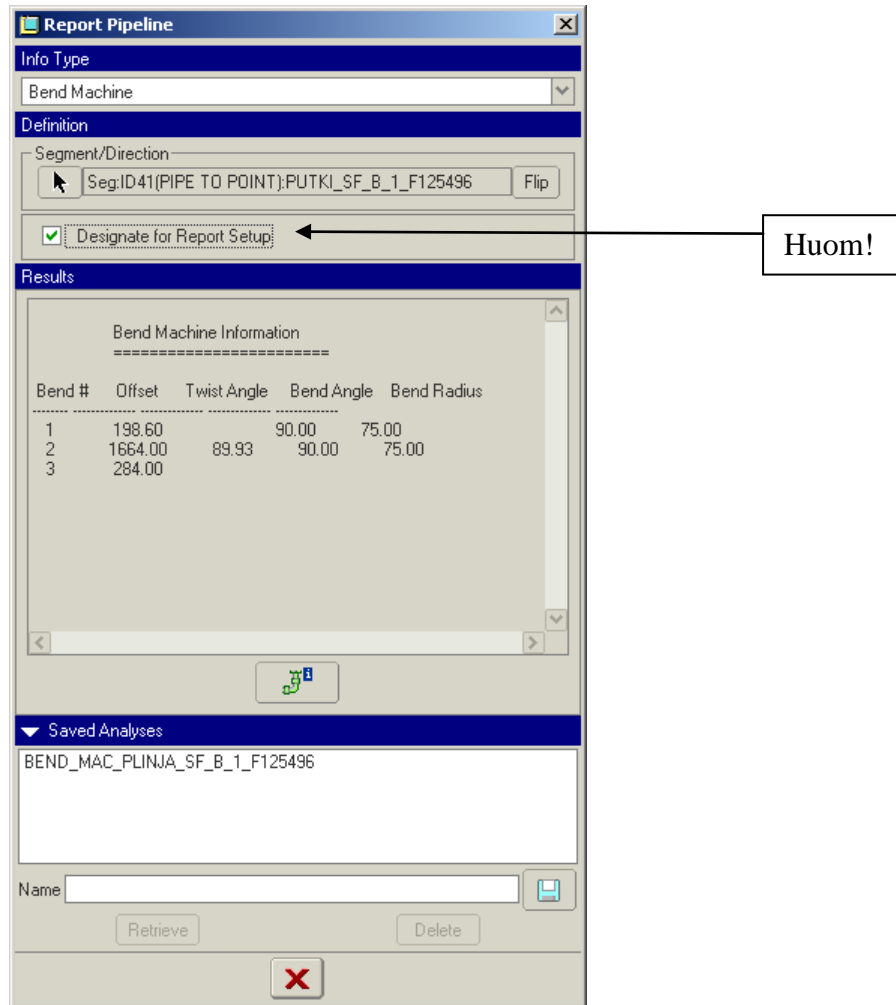
6.7 Putkikokoonpano

Putkikokoonpano sisältää aina mallinnetun putken. Jos putkessa käytetään muttereita, lisätään nämä kokoonpanoon myös. Mutterit paikoitetaan aina putkikokoonpanon sisälle. Näin vältetään ongelmilta, kun halutaan supressoida putkikokoonpano piiloon. Kuviossa 16 on eräs malli putkikokoonpanosta.



KUVIO 16 Putkikokoonpano.

Putkikokoonpanoon lisätään taivutustiedot avaamalla kokoonpano ja valitsemalla aktiiviseksi **Piping**-moduuli. Sen jälkeen valitaan **Info/Piping**, jolloin ilmestyy kuvion 17 mukainen taulukko. Taulukosta valitaan **Bend machine**. Seuraavaksi valitaan haluttu suunta, josta putken mitoitus aloitetaan. Kuvioista 17 nähdään erään putkimallin taivutustiedot.



KUVIO 17. Taivutustietojen lisäys putkilinjaan

Designate for report setup on ensin hyväksyttävä, että taivutustiedot saadaan luotua piirustuksiin. Tämän jälkeen lisätään taulukolle nimi ja tallennetaan se.

6.8 Letkut

Porrasannostelijassa käytettiin standardimittaisia letkuja. Jokainen letkukokoonpano oli siis sellainen, että sen pituus pysyi vakiona. Jos laitteen leveys muuttui ja letku ei sopinut enää paikoilleen, niin oli letkukokoonpano vaihdettava kokonaan toiseen. Kuviosta 18 nähdään valmis letkukokoonpano. Letkukokoonpano sisältää seuraavat osat:

- letku
- holkit
- karat.



KUVIO 18. Letkukokoonpano

Useamman samankaltaisen letkun käyttö porrasannostelijassa lisäsi turhaan piirustusten lukumäärää, kun jokaisesta erilailla taivutetusta letkusta syntyi oma piirustus. Jotta useampi samankaltainen letkukokoonpano saataisiin ylempään kokoonpanopiirustukseen näkyviin vain yhdellä kuvanumerolla, oli mallinnettava

erikseen vielä suora letkukokoonpano. Tästä suorasta letkumallista tehtiin kuvanto laitteen letkukokoonpanoon

Ehtona, että piirustuksen osaluetteloon saatiin päivittämään kaikki samanlaiset letkut yhdellä kuvalla oli:

- käytetään samaa nimeä
- muutetaan paino samaksi kaikilla letkuilla
- lisätään muihin letkukokoonpanoihin sama kuvanumero.

Mallinnettaessa standardimittaisia letkukokoonpanoja on ensin mallinnettava letku ja tämän jälkeen määriteltävä letkun pituus halutun mittaiseksi. Jos letkun reitittämässä käytetään koordinaattipisteitä alku- ja loppukoordinaattien välillä, niin letkun pituus määräytyy erikseen jokaisen pisteen välillä. Tämän jälkeen mitata muutettaessa muuttuu kerrallaan vain kahden pisteen välinen mitta. On siis suositeltavaa tehdä letku vain lähtö- ja loppukoordinaattia apuna käyttäen ja tämän jälkeen asettaa letkun mitta halutuksi.

6.9 Piirustukset

Letkukokoonpanon ylemmältä tasolta on muutettava osaluettelo sellaiseksi, että siinä näkyy vain yksi samankaltainen letkukokoonpano. Vaatimuksena on, että nimi, kuvanumero sekä paino ovat täsmälleen samat. Näin ei tarvitse luoda erikseen jokaisesta samanlaisesta letkuista erikseen piirustusta. Laitteeseen mallinnetuissa letkukokoonpanoissa käytetään mallina suoraa letkukokoonpanoa.

Suora letkukokoonpano liitetään laitteessa käytettyyn letkupiirustukseen painamalla hiiren oikeata, jonka jälkeen valitaan esiin tulevasta valikosta: **Properties/drawing models/add model**. Seuraavaksi haetaan haluttu letkukokoonpano ja tuodaan se piirustukseen.

Osaluettelon muuttaminen siten, että se näyttää vain yhden samankaltaisen letkukokoonpanon tehdään seuraavalla tavalla:

- **Table/Repeat region/Switch syms/Done**, jonka jälkeen valitaan hiirellä osaluettelon oikeasta alareunasta pystyviiva. Tämän jälkeen painetaan hiiren oikeaa näppäintä ja valitaan **Properties/Delete contents**.

Tämän jälkeen taulukko siirretään hieman ylemmäksi ja taulukon vasempaan alareunaan lisätään **properties**-valikon kautta piste. Tämän jälkeen taas muutetaan **swits syms**:n kautta taulukko normaaliksi. Nyt taulukon pitäisi päivittyä näyttämään vain yhtä samanlaista letkupiirustusta.

Letku- ja putkipiirustuksissa on osaluettelot vaihdettava, sillä normaali osaluettelo ei näytä putki- ja letkutietoja. Näissä piirustuksissa käytetään **piping**-taulukkoa. Myös putki- ja letkuosan osaluettelon numeron liittäminen piirustukseen on lisätävä putkelle ja letkulle käsin.

Putkikokoonpanojen piirustuksissa voidaan käyttää kahta erimallista taulukkoa:

- **Pipe bend.tbl**
- **Pipe bend_xyz.tbl**.

Pipe bend-taulukko on asentajan näkökohdasta selkeämpi lukea. Taulukko saadaan liitettyä piirustukseen valitsemalla **inset table** ja sen jälkeen lisäämällä haluttu taulukko.

6.10 Kaaviot

Mallissa käytettiin AutoCad:llä luotua hydraulikkakaaviota. Mallille saadaan tuotua hydraulikkakaaviot Auto Cadistä seuraavalla tavalla:

- Luodaan uusi osa ja paikoitetaan se hydraulikkakokoonpanon origoon.
- Osan piirustusnumero muutetaan samaksi, kuin mikä on AutoCad:ssä tehty piirustus.

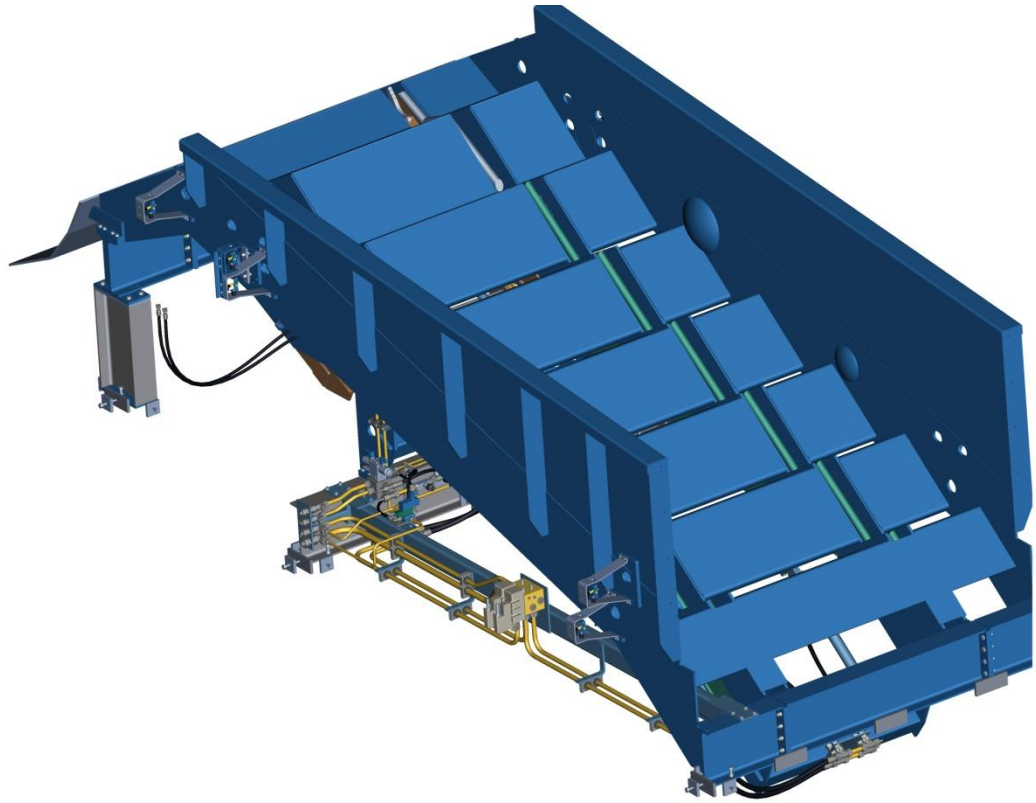
7 TYÖN VAIHEET

7.1 Lähtötiedot

Lähtökohtana oli mekaaninen 3D-malli. Tämän laitteen ympärille oli tarkoituksena mallintaa hydrauliiikkaputkitus, joka sisältää tarvittavat kiinnittimet ja venttiilit. Laitteesta oli olemassa vanha hydrauliiikkakaavio, jonka pohjalta saatiin selville putkikoot ja venttiilit. Apuna putkiston suunnittelussa oli valokuvat vanhoista porrasnostelijoiden hydrauliikkaputkituksista. Minulla oli myös käytännön kokemusta hydrauliikkaputkiston tekemisestä porrasnostelijaan.

Mallina toimi porrasnostelija (kuvio 18). Porrasnostelijaa käytetään tukkien annostelemiseen eteenpäin sorvilinjalla. Mallista oli olemassa mastermalli, josta projekteille kopioitiin oma malli parametrejä muuttamalla. Muun muassa mallin leveyttä ja sylinterien lukumäärää oli mahdollisuus muuttaa parametreillä. Porrasnostelijasta voitiin supressoida piiloon komponentteja. Muuttuvat parametrit aiheuttivat haasteita myös putkistosuunnittelulle.

Porrasnostelijasta ei ollut tätä aikaisemmin hydrauliikkaputkistoa mallinnettu, vaan putkiston suunnittelu ja valmistus jäivät kokonaan asentajan tehtäväksi hydrauliikkakaavion pohjalta. Usein kiinnittimet eivät sopineet paikalleen, vaan asentajan tehtäviin kuului näiden muokkaaminen sopiviksi.



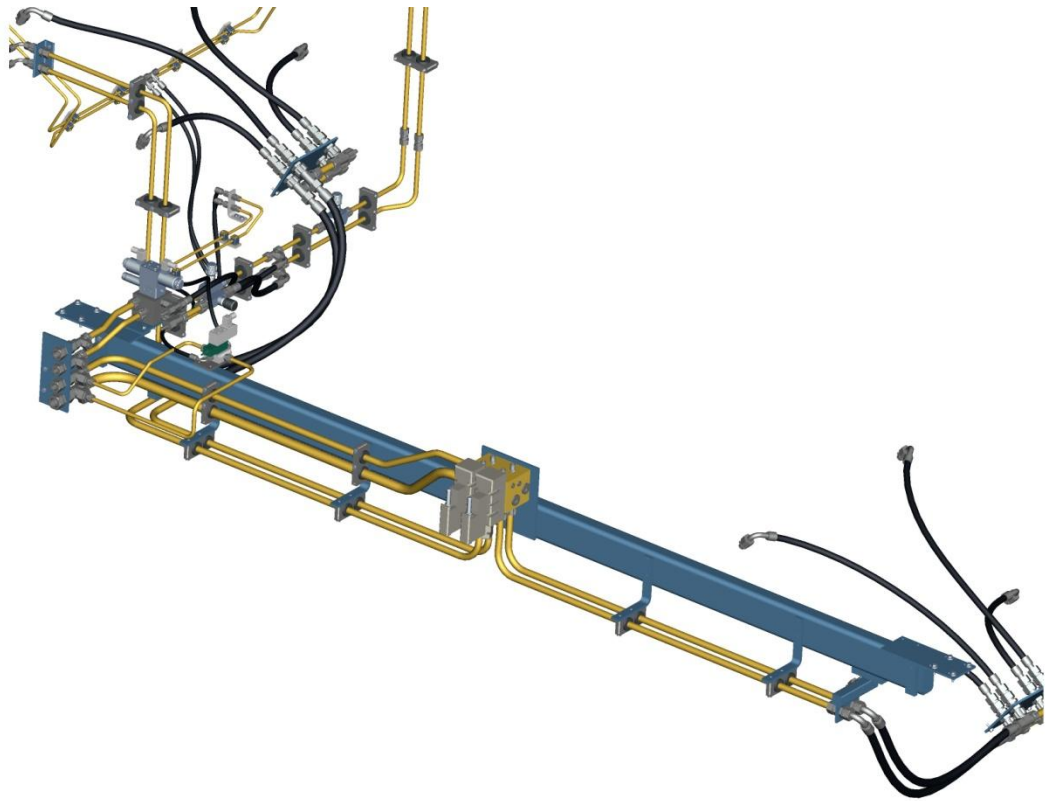
KUVIO 18. Porrasannostelijan 3D-malli kuvattuna takaa vasemmalta

7.2 Suunnittelun eteneminen

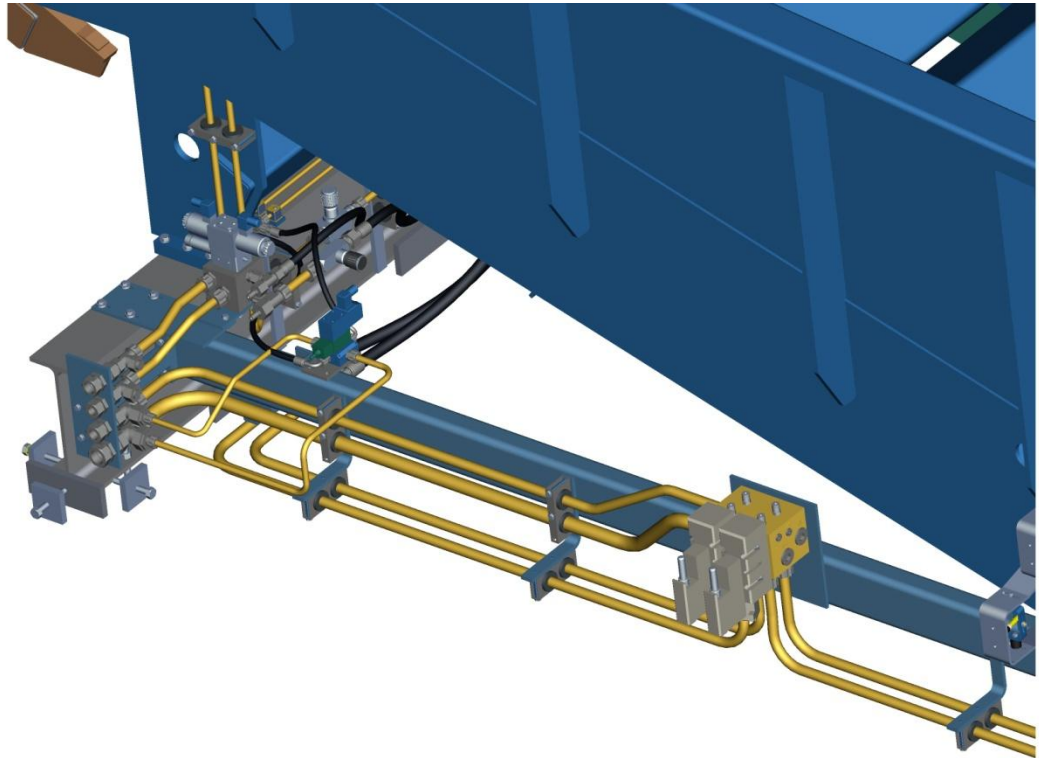
Ensin oli selvitettävä lähtötiedot porrasannostelijasta ja sen toiminnasta, kuten kuinka monta erilaista mallia voidaan luoda, sekä mitä hydraulisia toimilaitteita mallissa on.

Tarkistin linjapiirustuksista tilanvaraustarpeen, jonka jälkeen mallinsin uudet kiinnittimet hydraulikkakomponenteille. Kiinnittimet oli tarkoitus mallintaa siten, että ne kävisivät paikalleen laitteen leveyden tai muiden varioituvien mittojen muuttumisesta huolimatta. Näin piirustusten lukumäärä saataisiin minimoitua. Kannakkeet mallinnettiin suurimmaksi osaksi ruuvikiinnitteisiksi. Ruuvikiinnityksen ansiosta ovat hydraulikkakomponentit helppo purkaa tarpeen vaatiessa.

Porrasannostelijan pohjalta luotiin parametrit hydraulikkakokoonpanoon. Tarvitavat venttiilit mallinnettiin ja sijoitettiin kokoonpanoon. Kun kaikki muut komponentit oli saatu oikeille paikoille, voitiin putket ja letkut mallintaa kokoonpanoon. Putkireittien mallintamisessa oli huomioitava mm. laitteen purku koeajon jälkeen. Oli tarkistettava myös, ettei putkitus tulisi muiden laitteiden tielle. Kuviossa 19 on esillä hydraulikkaputkitus ilman porrasannostelijaa ja kuvioista 20 nähdään hydraulikkaputkitus valmiina liitettynä porrasannostelijaan.



KUVIO 19. Valmis 3D-putkistomalli



KUVIO 20. Putkisto liitettynä porrassannosteliijaan

Viimeisenä tehtiin piirustukset ja osaluettelot, sekä yhdistettiin hydraulikkakokoonpano varsinaiseen mekaaniseen malliin. Lopuksi kokeiltiin vielä kokoonpanon toimivuus ajamalla laite eri mitoille ja tekemällä laitteesta projektikopio.

Piirustuksia tehtäessä ongelmaksi syntyi se, että hydraulikkakokoonpanon tulisi olla omana kokoonpanona irrallaan porrassannostelijan mallista. Jotta saataisiin kuvat sellaisiksi, että niiden avulla olisi helppo asentaa putkitus, oli porrassannostelija liitettävä hydraulikkakokoonpanon piirustukseen. Ilman porrassannostelijan mallia kuvista ei olisi saatu riittävän selkeitä.

Toinen mahdollisuus olisi ollut tehdä pintamalli jokaisesta erilaisesta porrassannostelijasta ja käyttää niitä hydraulikkakokoonpanossa. Pintamalleja olisi syntynyt kuitenkin niin paljon, että päädyttiin liittämään hydraulikkakokoonpano porrassannostelijakokoonpanoon ja näin saatiin tehtyä piirustukset joissa näkyy porrassannostelijan malli myös.

8 YHTEENVETO

Putkiston 3D-suunnitteluprojekti oli mielenkiintoinen moneltakin osa-alueelta. Opinnäytetyö laajensi tietämystäni hydraulikasta. Tietämykseni ennen opinnäytetyötä hydraulikkaan perustui pitkälti aikaisempiin työtehtäviini hydraulikka-amentajana Rautella. Työ laajensi tietojani hydraulikkaputkiston suunnittelusta, varioituvan mallin käytöstä putkistosuunnittelussa, sekä putkiston ja komponenttien mitoituksista. Laadukkaan putkistosuunnittelun mahdollistaminen varioituvan laitteen sisälle vaatii riittävää tuntemusta itse laitteesta. On myös oltava tietoa siitä, kuinka putkitus voidaan käytännössä valmistaa.

Ohjelmistoa olin aikaisemmin käyttänyt jonkin verran, mutta myös sen käytössä oli paljon opittavaa. Putkiston mallintaminen eteni kokeilemalla eri vaihtoehtoja, välillä jouduin tekemään samoja asioita moneen kertaan. Kun ohjelmiston käytöstä ei ollut kenelläkään käytännön kokemusta varsinaisessa suunnittelussa, oli toimivan putkistomallin mallintamisessa paljon työtä. Samalla oli opetettava useita Rauten omia suunnitteluun liittyviä standardeja. Näiden kaiken hallinta oli todella haastavaa.

Opinnäytetyön merkittävimpinä tuloksina saatiin luotua valmis varioituva 3D-malli porrasannostelijalle. Putkistokokoonpanosta saatiin luotua kaikki tarvittavat tiedot putkiston valmistamiseen. Toistaiseksi mallia ei ole kokeiltu projekteissa.

Vaikeuksia työssä tuotti selkeiden 2D-piirustusten tekeminen, sillä mallintamisvaiheessa olisi pitänyt kiinnittää enemmän huomiota piirustusten laatimiseen. Mekaanisen mallin avulla oli piirustukset helpompi tehdä. Jos taas halutaan täysin erillinen putkistokokoonpano ilman mekaanista mallia, voi piirustuksien tuottaminen olla hankalaa.

Linjasuunnittelua varten voidaan putkistosta tehdä yksinkertainen pintamalli, joka on sen jälkeen mahdollista liittää linjakokoonpanoon. Erikseen pintamalleja ei kannata luoda, sillä näin tehtäessä kuluu aikaa ja saadut hyödyt jäävät vähäisiksi.

Kerralla kannattaa mallintaa koko putkisto komponentteineen.

Oleellisena osana kirjallista opinnäytetyötä oli tietojen etsiminen eri lähteistä. Lähteinä käytin pääasiassa kirjoja ja internetiä. Tietojen etsiminen oli työlästä ja siihen kului myös paljon tunteja. Myös työn rakenteen hahmottelussa oli oma tekeminen, oli päätettävä mitä kaikkea on järkevä sisällyttää työhön ja mitä voi jättää pois. Ohjelmiston käytöstä oleva ohjemateriaali on tarkoitettu putkiston mallintamisen aloittamiseen. Siinä ei erikseen kerrota putkiston mallintamistekniikoista. Ohjeiden on tarkoitus lähinnä ohjeistaa ohjelman käyttöä Rautella.

3D-putkistomallintamista saadaan paras hyöty silloin, kun putkistoa voidaan käyttää hyödyksi useissa projekteissa. Putkiston mallintaminen on aina hankalampaa, mitä enemmän on muuttuvia tekijöitä mekaanisessa mallissa.

LÄHTEET

Painetut lähteet:

- Forselius, J. 1993. Hydrauliiikka. 8.painos. Helsinki: Painatuskeskus
- Kauranne, H., Kajaste, J & Vilenius, M. 2008. Hydraulitekniiikka.1. painos. Helsinki: WSOY
- Keinänen, T. & Kärkkäinen, P. 2005. Automaatiojärjestelmien hydrauliiikka ja pneumaatiikka 1. painos. Helsinki: Werner Söderström osakeyhtiö.
- Pöysti, T.1988.Hydrauliiikkaputkistojen suunnittelu- ja asennus. Helsinki: MET.
- Tuhola, E. & Viitanen, K. 2008. 3D-mallintaminen suunnittelun apuvälineenä. 1. painos. Tampere: Tammertekniikka.

Sähköiset lähteet:

- Convia Oy. [viitattu 23.03.2009]. Saatavissa: <http://www.convia.fi>
- Eaton-Vickers[viitattu 14.03.2009] Saatavissa: www.hydraulics.eaton.com
- Promaint ry. Hydraulijärjestelmien vikaantumisen päätekijöitä 4/2005[viitattu 24.3.2009]Saatavissa: www.promaint.net
- Promaint 2004, Hydraulijärjestelmän mitoitus 4/2004 [viitattu 24.3.2009] Saatavissa: www.promaint.net
- Promaint 2005, Hydrauliiikka ja turvallisuus 6/2005 [viitattu 24.3.2009] Saatavissa: www.promaint.net
- Raute Oyj. [viitattu 12.2.2009]Saatavissa: www.raute.fi
- Suomenlehtiyhtymä Oy. Hydrauliiikan mittauksia 7/2004[viitattu 25.3.2009] Saatavissa: www.fluidfinland.fi
- Tukes. Painelaitelaki [viitattu 10.03.2009]. Saatavissa: www.tukes.fi

LIITTEET

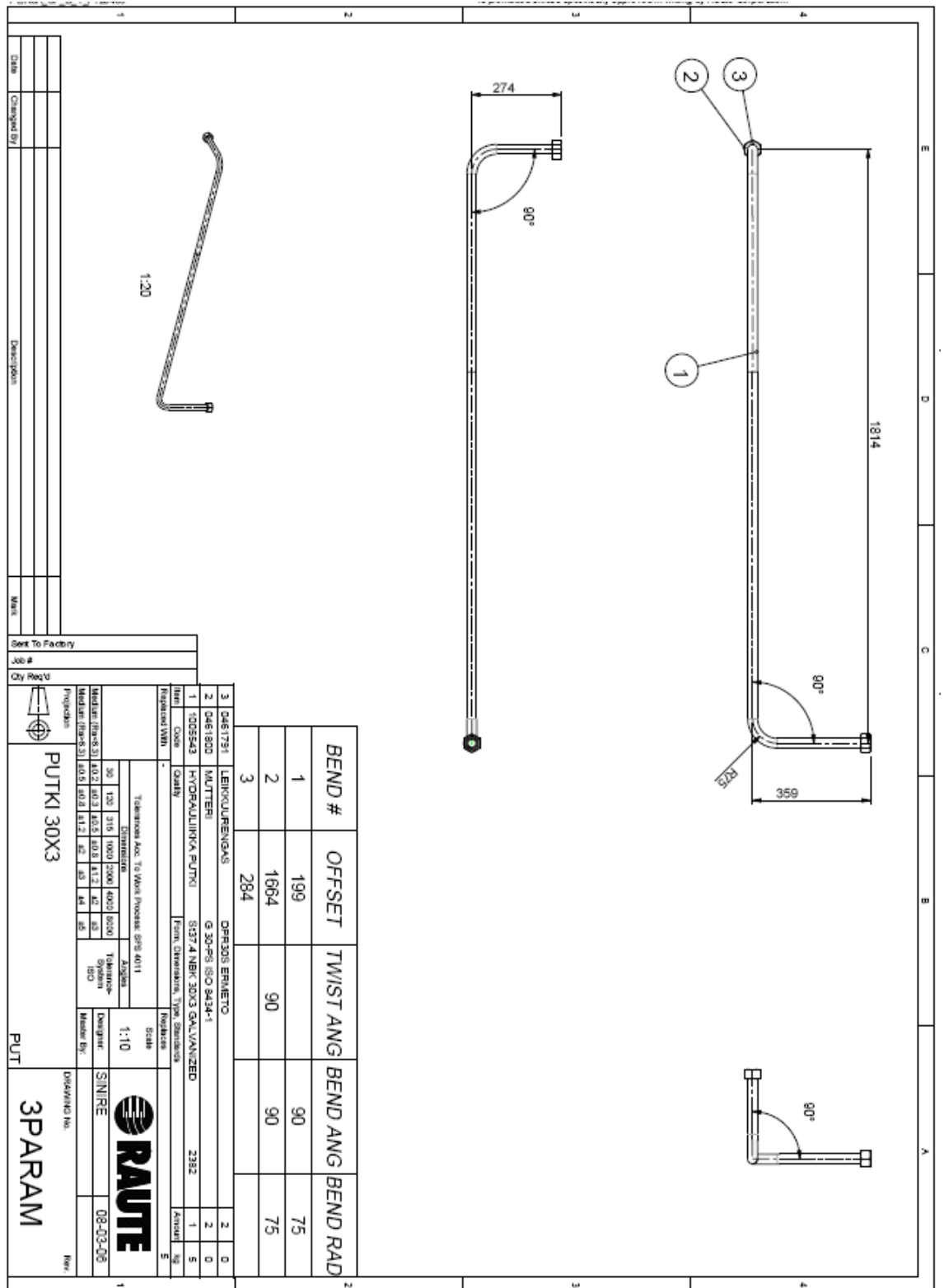
LIITE 1.

Piirustus letkukokoonpano.

Date	Changed By	Description	Mark

4	0464326	HOLKKI	M03400-12 3/4	2	0						
3	0472911	LETKULIITIN	DKOS90 25 M21693-12-36 DIN 3865	1	0						
2	0472939	LETKULIITIN	M121612-16-36 DIN 3865	1	0						
1	0472048	HYDRAULIIKKALETKU	TRACTOR-2K/2SC-12 EN857/2SC	595	2						
Item	Code	Quality	Form, Dimensions, Type, Standards	Amount	kg						
Replaced With	-			Replaces	2						
Tolerances Acc. To Work Process: SFS 4011				Scale							
				Dimensions		Angles					
Medium (Ra<6.3)	±0.2	±0.3	±0.5	±0.8		±1.2	±2	±3	Tolerance-System ISO	Designer:	SINIRE
Medium (Ra>6.3)	±0.5	±0.8	±1.2	±2	±3	±4	±5	Master By:			
Projection										DRAWING No.	Rev.
LETKU 25S L=700 SUORA-90										4R867783	
LET											

Piirustus putkikokoonpano.



BEND #	OFFSET	TWIST ANG	BEND ANG	BEND RAD
1	199		90	75
2	1664	90	90	75
3	284			

3		0461751	LEIKKOURENGAS	OPPOJOS ERINETO	2	0																								
2		0461800	VALUTERI	G 30-FPS ISO 8434-1	2	0																								
1		1005543	HYDRAULIININKA PUTKI	S137 4 NBR 30X3 GALVANIZED	1	5																								
Item	Code	Quantity	Part. Description	Typ. Standards	Material	kg																								
Insulated VMI																														
Tehonormi Acq. To Water Pressure Spf. 40T1																														
<table border="1"> <tr> <th>Dimension</th> <th>Asyain</th> </tr> <tr> <td>30</td> <td>120</td> </tr> <tr> <td>120</td> <td>315</td> </tr> <tr> <td>1000</td> <td>2000</td> </tr> <tr> <td>4000</td> <td>5000</td> </tr> <tr> <td>Medium (mm=31)</td> <td>402</td> </tr> <tr> <td>403</td> <td>405</td> </tr> <tr> <td>408</td> <td>412</td> </tr> <tr> <td>42</td> <td>45</td> </tr> <tr> <td>45</td> <td>48</td> </tr> <tr> <td>48</td> <td>51</td> </tr> <tr> <td>51</td> <td>54</td> </tr> </table>							Dimension	Asyain	30	120	120	315	1000	2000	4000	5000	Medium (mm=31)	402	403	405	408	412	42	45	45	48	48	51	51	54
Dimension	Asyain																													
30	120																													
120	315																													
1000	2000																													
4000	5000																													
Medium (mm=31)	402																													
403	405																													
408	412																													
42	45																													
45	48																													
48	51																													
51	54																													
<table border="1"> <tr> <th>Scale</th> <th>RAUTE</th> </tr> <tr> <td>1:10</td> <td>SNIRE</td> </tr> <tr> <td>Designer</td> <td>08-03-08</td> </tr> <tr> <td>Maker By:</td> <td></td> </tr> </table>							Scale	RAUTE	1:10	SNIRE	Designer	08-03-08	Maker By:																	
Scale	RAUTE																													
1:10	SNIRE																													
Designer	08-03-08																													
Maker By:																														
<table border="1"> <tr> <td>PUTKI 30X3</td> <td>PUT</td> <td>3PARAM</td> </tr> </table>							PUTKI 30X3	PUT	3PARAM																					
PUTKI 30X3	PUT	3PARAM																												

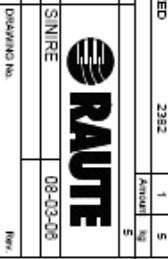
Date	Changed By	Description	Mark

Sent To Factory
Job #
Qty Req'd



PUTKI 30X3

PUT 3PARAM



Taulukko hydraulikkaputket.

TARKKUUSTERÄSPUTKET DIN 2391/C ST 37,4	
Mitta	Suurin
ulko Ø / seinämä	käyttöpaine
	bar
6x1	509
8x1	365
8x1,5	583
10x1	287
10x1,5	450
12x1,5	367
12x2	508
15x1,5	287
15x2	394
16x1,5	268
16x2	367
18x1,5	236
20x2	288
20x2,5	367
22x2	259
25x2,5	287
25x3	351
28x2	309
30x3	287
35x3	243
38x4	303
42x3	200