

Niko Virtanen

LAIVANPAKOPUTKIENLEVITYSKUVAT

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

2016

LAIVAN PAKOPUTKIEN LEVITYSKUVAT

Virtanen, Niko
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Elokuu 2016
Ohjaaja: Santanen, Teemu
Sivumäärä: 29
Liitteitä: 0

Asiasanat: levitys, mallintaminen, pakoputki

Opinnäytetyön aiheena oli kirjoittaa opas pakoputkien levityskuvien tekemisestä. Työn tarkoituksena oli ennaltaehkäistä virheitä sekä työntekijän perehdyttäminen työtehtävään. Esiintyvistä virheistä lisättiin tietoisuutta, ettei samoja virheitä pääsisi tapahtumaan uudelleen.

Opas kirjoitettiin vastaamaan yrityksen käyttämiä mallinnusohjelmia. Oppaassa otettiin huomioon myös pakoputken valmistettavuus mallinnuksen jälkeen.

SHIP'S EXHAUST PIPES' FLAT PATTERNS

Virtanen, Niko

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Mechanical Engineering

August 2016

Supervisor: Santanen, Teemu

Number of pages: 29

Appendices: 0

Keywords: flat pattern, modelling, exhaust pipe

The purpose of this thesis was to write a guide about making of exhaust pipe's flat patterns. The aim of this thesis was to prevent mistakes and to acquaint an employee for the assignment. The awareness of these mistakes was increased to eliminate the same mistakes from happening again.

The guide was written to match the programs used by the company. The manufacturability after modelling was taken into account in this guide.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	5
2	MALLINTAMISESTA JOHTUVAT VIRHEET	6
2.1	Fold	6
2.2	Contour Flange	8
2.3	Revolve	8
2.4	Kulman leikkaaminen	9
2.4.1	Split	10
2.4.2	Cut	11
2.4.3	Trim (Surface)	11
2.4.4	Eroavaisuudet levityskuvissa	12
2.5	Putkihaaroitus	13
3	OHJELMAN ASETUKSISTA JOHTUVAT VIRHEET	15
3.1	K-kerroin	15
3.2	Taivutustaulukko	16
3.3	Sheet Metal Defaults -asetukset	16
4	LEVITYSKUVAN PIIRTÄMINEN	18
5	VALMISTUSTEKNIIKAN HUOMIOINTI	20
5.1	Materiaalivalinta	20
5.2	Hitsaaminen	21
5.3	Laserleikkaus	22
5.4	Pyöristäminen	22
5.5	Toleranssit	23
6	PAKOPUTKISTO	24
6.1	Esimerkkejä levityskuvista	24
6.2	Kiintopisteet ja tasaajat	25
7	YHTEENVETO	27
	LÄHTEET	29

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoitus on toimia oppaana laivan pakoputkien levityskuvia tehdessä. Oppaan tarkoituksena on ennaltaehkäistä virheitä sekä perehdyttää työntekijä yleisiin tunnettuihin ongelma-kohtiin työtehtävässä. Oppaalla pyritään välttämään virheiden uusiutuminen. Opas sisältää havainnollistavia kuvia ongelma-kohtista. Tavoitteena on karsia kaikki yksinkertaiset virheet pois kuvista.

Oppaassa keskitytään suunnitteluvirheisiin, mallinnustekniikkaan sekä valmistustekniikan huomioimiseen suunnitteluvaiheessa. Oppaassa otetaan huomioon pakoputken valmistettavuus mallinnuksen jälkeen. Putket voidaan mallintaa usein eri keinoin, joista keskitytään vain muutama.

Oppaassa esiintyvät ohjelmat vastaavat yrityksen käyttämiä mallinnusohjelmia. Käytettävät ohjelmat ovat Autodesk Inventor sekä Autodesk AutoCAD. Inventor-ohjelmassa pakoputket mallinnetaan ja levitetään ohutlevyiksi. AutoCAD-ohjelmassa siistitään levityskuvat ja lisätään merkintöjä sekä voidaan koota kokoelma levityskuvista. Suuren halkaisijan omaavat pakoputkistot valmistetaan valssaamalla levyt putkipaloiksi, taivutetun valmisputken sijaan.

2 MALLINTAMISESTA JOHTUVAT VIRHEET

Mallinnusvaiheessa on otettava huomioon mallinnustekniikoiden eroavaisuudet ja eroavaisuuksista johtuvat virheiden mahdollisuudet. Seuraavissa kappaleissa käsitellään mallinnustekniikoita, joissa putken aikaansaamiseksi käytetään ohutlevyä.

2.1 Fold

Pakoputket mallinnetaan ensin 3D:nä Inventor-ohjelmalla. Mallintamiseen on eri tapoja, mutta esiteltävissä tavoissa on pakoputkien levityskuvien kannalta oleellisia asioita, jotka täytyy huomioida.

Pakoputket voidaan mallintaa 3D:nä käyttämällä Inventorin taivutuskomentoa (Fold). Putki mallinnetaan Sheet Metal -puolella, jolloin pystytään käyttämään Fold-komentoa. Taivutuskomentoa ei pidä sekoittaa Inventorin Bend-komentoon, joka yhdistää kaksi toisistaan irrallaan olevaa ohutlevyä.

Kun Inventorissa luodaan uusi piirustus, pohjanäkymäksi otetaan ohutlevystä taivutetun putken levityskuva eli Flat Pattern. Levityskuvaan saadaan näkymään taivutuksen määrä ja suunta Annotate-valikon Feature Notes -kohdasta valitsemalla Bend-komento, minkä jälkeen valitaan levityskuvassa näkyvä Fold-komennon viiva. Tämä merkitsee piirustukseen taivutuksen asteen, suunnan ja säteen. Taivutuskomentoa käyttämällä taivutuksen suuntaa ei tarvitse päätellä mallintamisen jälkeen.

Komentoa käytettäessä on huomioitava kuitenkin neutraaliakselin pituus (Bend allowance), eli taivutuksen käyrän pituus (Arc length). Putken levityksessä, suoristetut taivutukset vääristyvät. Kun taivutettu kappale levitetään suoristettuun muotoon, vääristymä täytyy ottaa huomioon yhdellä tavalla kolmesta eri vaihtoehdosta: käyttämällä lineaarista likiarvoa määritellyllä k-kertoimella, käyttämällä taivutustaulukkoon kirjattuja mitattuja taivutusarvoja tai käyttämällä tapauskohtaisesti mukautettua yhtälöä. (Autodesk www-sivut 2016)

Kun lasketaan pakoputken kehä kertomalla putken halkaisija piillä, putken kehän levitetyksi pituudeksi saadaan suurempi kuin oikea oikaistu pituus. Todellisessa pituudessa on otettava huomioon taivutuksen aiheuttamat vääristymät. Neutraaliakselin pituuden laskemisessa käytettävän kaavan valinnassa otetaan huomioon taivutuksessa käytetty kulma. Inventorissa suurin mahdollinen taivutettava kulma on 180 astetta.

Ohutlevyn taivutus voidaan tehdä kahta apuviivaa käyttäen 180 asteen kulmalla. Kaavan valinnassa huomioidaan käytetty kulma (β):

$$90^\circ < \beta \leq 180^\circ$$

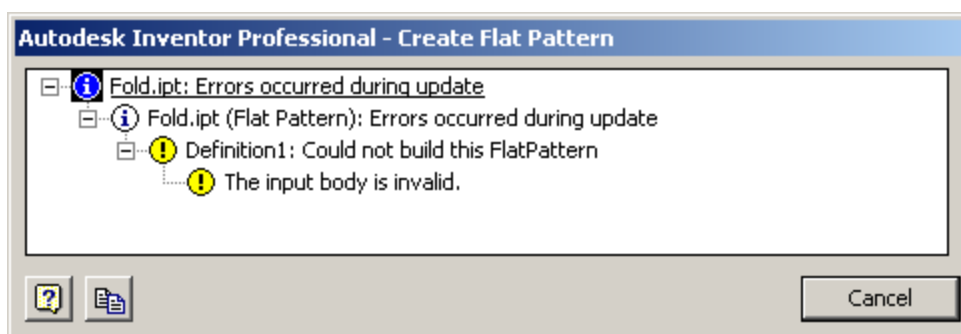
Kaavassa käytetään taivutuksen sisäpuolen sädettä (ρ), K-kerrointa (K_{Factor}) ja taivutettavan ohutlevyn ainevahvuus (μ). Kaavan kulmaksi asetetaan 180 astetta. Käytettäväksi kaavaksi neutraaliakselin pituuden selvittämiseksi saadaan:

$$L_{BA} = \pi * \left(\frac{\beta}{180^\circ} \right) * (\rho + K_{Factor} * \mu)$$

Tulokseksi saadaan putken toisen puolen taivutus. Tulos on vielä kerrottava kahdella, että saadaan kokonaisen taivutetun putken kehän pituus, jossa huomioidaan taivutuksen vääristymä. Ohutlevyn keskiviivan molemmin puolin, ohutlevyä taivutetaan keskiviivan ja ohutlevyn päädyn puolivälistä. Kahdella 180 asteen taivutuksella mallinnettavan putken kehän pituus eli putken levityskuvan leveys saadaan kaavasta:

$$L_{BA} = \left[\pi * \left(\frac{\beta}{180^\circ} \right) * (\rho + K_{Factor} * \mu) \right] * 2$$

Mallinnetussa putkessa ei ole nyt suoraa kohtaa, vaan on täysin pyöreä. Mallissa ei kuitenkaan ole pientä väliä, vaan ohutlevy on taivutettu yhteen. Levityskuvaa ei pystytä vielä luomaan, vaan malli tarvitsee pienen välin. Jos levitystä yritetään tehdä, virheilmoitus ilmestyy.



Kuva 1. Virheilmoitus

Sheet Metal -puolella olevaa Rip-komentoa käyttämällä kappaleeseen voidaan tehdä väli. Inventor suostuu nyt levittämään putken suoraksi ohutlevyksi.

2.2 Contour Flange

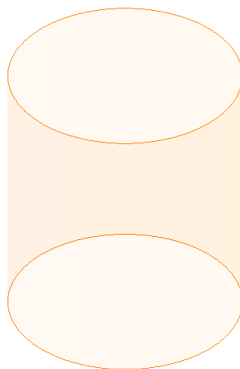
Contour Flange -komentoa käyttämällä mallinnus aloitetaan Sketchissä käyttämällä Center Point Arc -komentoa. Komento aloitetaan osoittamalla keskipiste, jonka ympärille kaari piirretään. Komentoa käyttämällä voidaan heti määrittää väli, jonka Inventor tarvitsee levitystä varten.

Ennen putken pursottamista Contour Flange -komentoa käyttämällä on asetettava Sheet Metal Defaults -asetuksiin oikea ohutlevyn ainevahvuus. Contour Flange -komentoa käytettäessä on huomioitava Offsetin suunta, ettei putken halkaisijasta tule ohutlevyn ainevahvuutta suurempi halkaisija.

Kun putkesta luodaan levityskuva, putken levitetty pituus on oikein ilman erillistä laskemista. Ohjelma ottaa taivutuksen huomioon automaattisesti. Pituus on sama kuin Fold-komentoa käyttämällä laskemisen jälkeen. Levitetystä pituudesta vähennetään vain Center Point Arc -komennossa määrätyn välin pituus.

2.3 Revolve

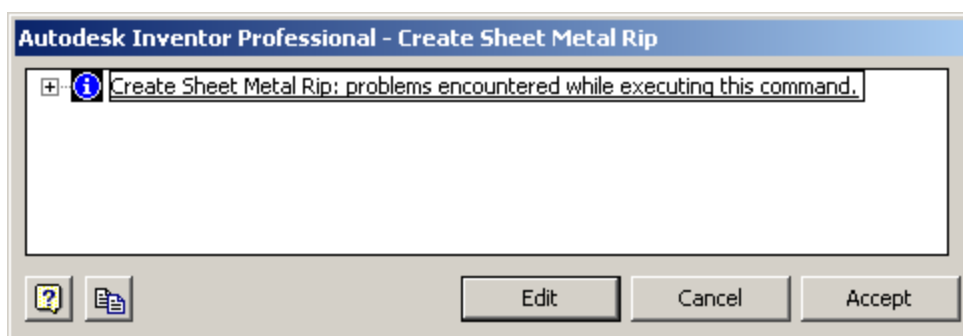
Komennon toimintaperiaate eroaa edellä mainituista tekniikoista. Revolve-komentoa käyttämällä luodaan pelkästään putken muokattava kuori (Surface), eikä pursotettua muokattavaa kappaletta. Jos putki on leikattu kulmapala, Surfacea käyttämällä voidaan helpottaa kulman leikkaamisvaihetta ja eliminoida putken korkeuden vääristyminen.



Kuva 2. Putken kuori (Surface)

Kuori pursotetaan käyttämällä Thicken-komentoa. Vaikka komentoa käyttämällä voidaan määrittää pursotuksen mitta erikseen, jätetään käytettäväksi mitaksi ohjelman ehdottama Thickness. Tällöin käytetään Sheet Metal Defaults -asetuksissa määrättyä ohutlevyn ainevahvuuden mitta. (Waguespack 2011, 290)

Putki viimeistellään käyttämällä Rip-komentoa välin luomiseksi putkeen. Jos Thicken-komentoa käytettäessä olisi annettu eri mitta kuin Sheet Metal Defaults -asetuksissa määrätty ohutlevyn ainevahvuus, olisi ohjelma ilmoittanut virheestä Rip-komentoa käytettäessä.



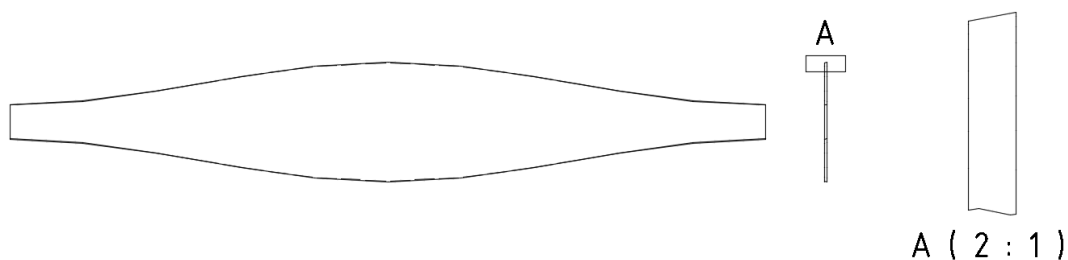
Kuva 3. Virheilmoitus (Rip-komento)

2.4 Kulman leikkaaminen

Kulmien leikkaamisessa ohjelmassa on otettava huomioon putken valmistustekniikka. Putket valmistetaan ohutlevyä valsaamalla, eikä esimerkiksi käyttämällä valmisputkea, jota mahdollisesti leikataan. Seuraavissa kappaleissa käsitellään eri leikkauskomentojen vaikutusta ohutlevyyn, josta putki valmistetaan.

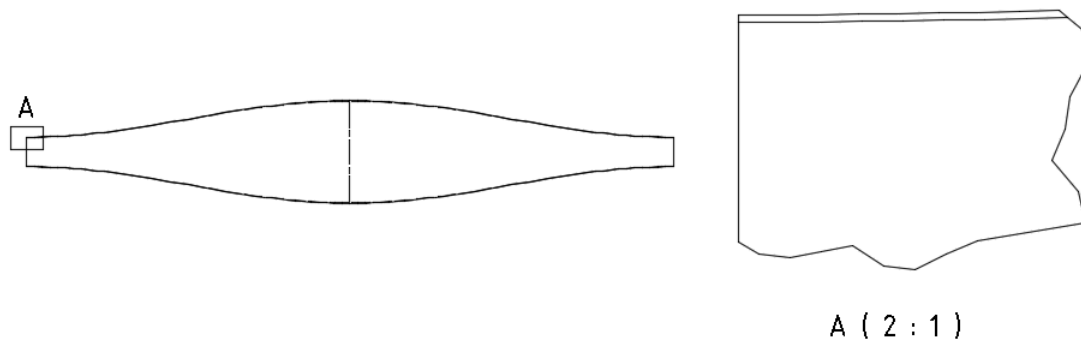
2.4.1 Split

Jos 3D Model -puolen leikkauskäskyjä käytetään leikkaamaan taivutettua ohutlevyä, täytyy huomioida ohutlevyssä tapahtuvat muutokset. Esimerkiksi Split-komentoa käyttämällä ohutlevyn tasaisuus ei säily leikkauskohdassa, vaan aiheuttaa pintaan leikkausta vastaavan kulman levyn korkeimmassa ja matalimmassa kohdassa.



Kuva 4. Putki leikattuna Split-komentoa käyttämällä (huomioi sivuprofiili)

Ohutlevyn leikkauskohdan korkein ja matalin kohta ovat oikeissa mitoissa (ks. kuva 4 oikea puoli), mutta pinnan epätasaisuus aiheuttaa vääristymän. Ohutlevyn levityskuvassa tämä ongelma huomataan kahtena lähekkäisenä viivana.

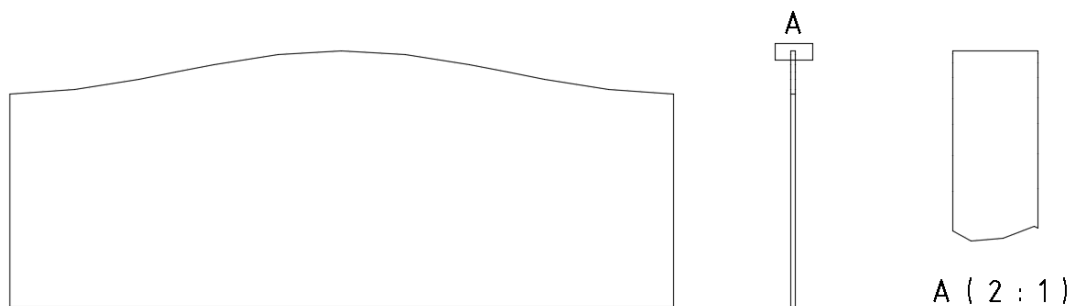


Kuva 5. Lähekkäiset viivat (Split-komento)

Sheet Metal -puolella sijaitseva Cut-komento toimii samalla periaatteella kuin Split-komento. Sheet Metal -komennoilla pürteet luodaan kohtisuoraan pintaan nähden. Nämä komennot muuttavat ohutlevyä ennen taivutusta. (Munford & Normand 2016, 285)

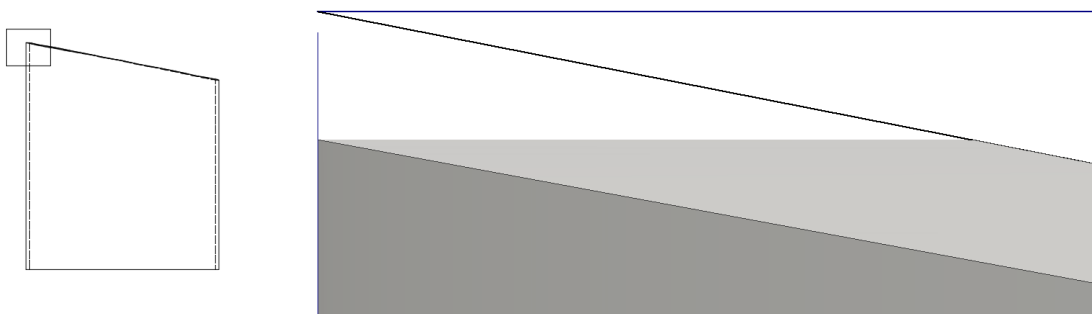
2.4.2 Cut

Cut-komentoa voidaan käyttää taivutuksen jälkeenkin, mutta levitetystä ohutlevyisestä ei ilmene leikkauksen kaarevuutta. Komentoa käyttämällä, lähekkäisiä viivoja ei ole levityskuvassa.



Kuva 6. Putki leikattuna Cut-komentoa käyttämällä (huomioi sivuprofiili)

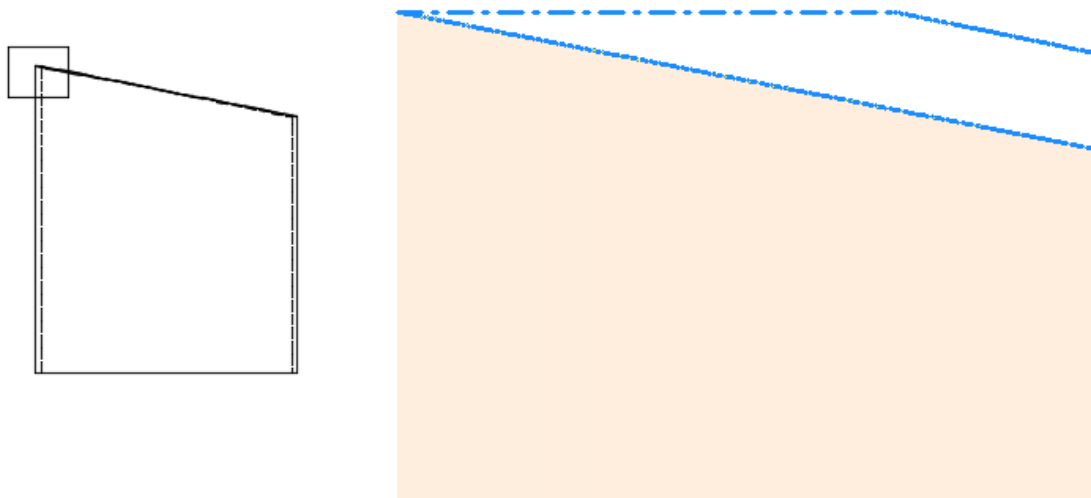
Putkesta leikataan liian lyhyt, jos ei oteta huomioon, kuinka Cut-komento toimii. Käskyä käyttämällä leikataan ohutlevyistä kohtisuorassa pintaan nähden. Jos leikkausviiva otetaan putken kulmasta leikattavaan pisteeseen asti, putken alkuperäinen pituus ei säily. Putkesta mallinetaan tuolloin putken leikkauksen kulman tangentilla kerrotun levyn ainevahvuuden verran lyhyempi.



Kuva 7. Putkea lyhentävä leikkaustapa

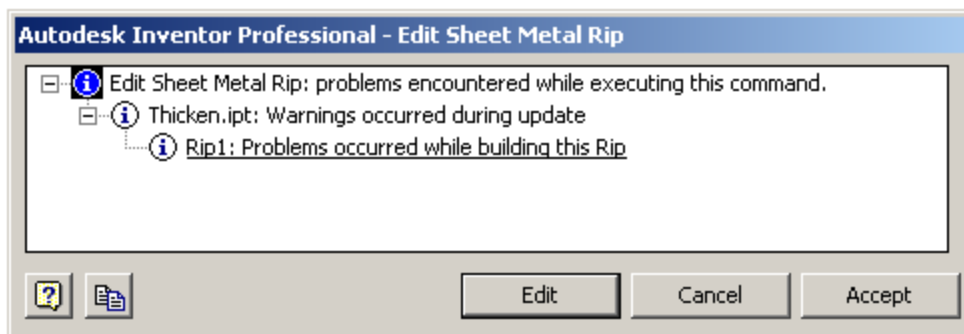
2.4.3 Trim (Surface)

Trim-komentoa käytetään pinnan (Surface) leikkaamiseen. Trim-komentoa käytetään ennen pinnan pursottamista. Kun kulma on leikattu, Thicken-komentoa käyttämällä putki pursotetaan levyn ainevahvuuden (Thickness) mitalla.



Kuva 8. Pinta (Surface) leikattu Trim-komennolla

Jos Thicken-komennon etäisyyteen asetetaan jokin muu arvo kuin Thickness, Rip-komennon käyttäminen ei toimi, vaan ohjelma antaa virheilmoituksen.



Kuva 9. Virheilmoitus (Rip-komento)

2.4.4 Eroavaisuudet levityskuvissa

Eri leikkauskomentojen käyttäminen vaikuttaa levityskuvan mittoihin. Surfacea käyttämällä mallinnetaan ohutlevystä realistinen levityskuva. Muiden leikkauskomentojen mallintamia levityskuvia voidaan verrata Trim-komennolla mallinnettuun levityskuvaan.

Split-komentoa käyttämällä levityskuvaan tulee kaksi lähekkäistä viivaa, koska komennon käyttäminen ei luo realistista leikattua ohutlevyä. Ohutlevyssä olevat viisteet aiheuttavat lähekkäiset viivat. Jos lähekkäiset viivat siistitään oikein AutoCAD-

ohjelmassa, levityskuvasta saadaan melkein samanlainen kuin Trim-komentoa käyttämällä. Eroavaisuuden määrä on millimetrin sadasosa.

Cut-komentoa käyttämällä, levityskuvan kulmaa edustava viiva eroaa Trim-komennolla tehdystä levityskuvasta millimetrin molemmilta sivuilta. Eroavaisuus ei ole paljon, mutta tarkempia mallinnusvaihtoehtoja on käytettävissä.

Surfacea käyttämällä, monimutkaisissa paloissa huomataan levityskuvaan vaikuttavat tilanteet heti, koska mallinnusvaiheessa on helpompi nähdä miltä muutokset käytännössä näyttävät. Surfacea putket mallinnetaan suoraviivaisesti, minkä vuoksi virheiden tapahtumiselle annetaan vähemmän mahdollisuuksia.

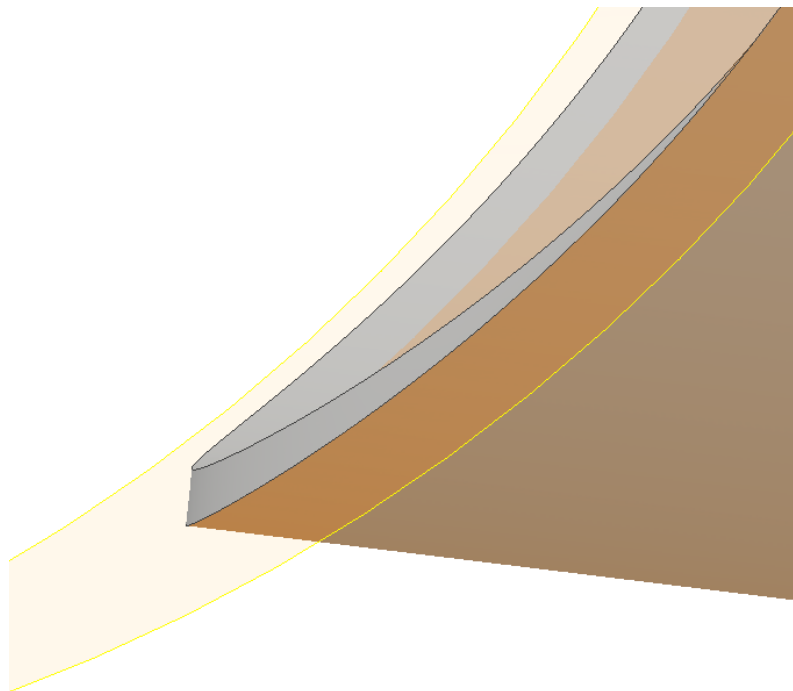
2.5 Putkihaaroitus

Haaraputkien leikkausten mallintaminen voidaan tehdä esimerkiksi käyttämällä putkien geometriaa leikkaavana työkaluna. Tämä kuitenkin aiheuttaa kaventumista ohutlevyssä, mikä ei vastaa todellisuutta, koska ohutlevyn sivujen täytyy olla kohtisuoria levitettyinä. Jos putkien leikkaus mallinnetaan esimerkiksi Surfacea käyttämällä, putkista voidaan tehdä todellisuutta vastaavat levyt. Todellisessa ohutlevyssä leikkaukset ovat kohtisuorassa leikattavaan pintaan nähden.

Surfacea käyttämällä, putkihaaroituksen putket mallinnetaan niin, että molemmat putket voidaan vuorotellen leikata Trim-komennolla ja pursottaa käyttämällä Thicken-komentoa. Pursotettuihin putkiin voidaan Rip-komentoa varten luoda uusi Sketch, jossa osoitetaan välin aloituspiste komennolle. Molemmista putkista tallennetaan oma tiedosto.

Leikattu Surface menee täysin leikkauksen mukaisesti. Kun pinta pursotetaan, huomataan pinnan ylittävän leikkaavan Surfacen. Digitaalinen koekappale on paljastanut kokoonpanoon liittyvän ongelman. Ongelma johtuu ohutlevyn kohtisuoruudesta. Ohutlevyn kohtisuoruus aiheuttaa putkeen viisteen, joka ylittää leikkaavan Surfacen. Jos putkeen ei tule viistettä, viiste on tällöin levitettyssä ohutlevyssä. Viisteen kor-

keinman ylittävän kohdan mitta on sama kuin viisteen kulman tangenti kerrottuna ainevahvuudella.



Kuva 10. Leikkauksen ylittävä putken osuus.

Ongelma täytyy huomioida muissakin putkissa, että putkien kokoonpano olisi mahdollista. Korjaus voidaan tehdä esimerkiksi säätämällä läpäisyn kokoa. Täydellisten kappaleiden valmistaminen ei kuitenkaan ole mahdollista, vaan realistiset valmistustoleranssit on huomioitava.

3 OHJELMAN ASETUKSISTA JOHTUVAT VIRHEET

Ohjelman ohutlevykomennot vaativat asetettavia tietoja oikeanlaisen lopputuloksen saavuttamiseksi. Seuraavissa kappaleissa käsitellään ohjelmassa asetettavia asetuksia, jotka vaikuttavat ohutlevyn käyttäytymiseen mallinnettaessa.

3.1 K-kerroin

K-kerroin määrittää teoreettisen prosentin materiaalin ainevahvuudesta, jossa taivutettava osa on neutraali. Kohdassa ei tapahdu venymistä tai tyssäntymistä kappaleessa tapahtuvan vedon tai puristuksen takia. Kohta säilyttää saman pituuden taivutettuna ja levitettynä. Kohdassa sijaitsee neutraaliakseli (Neutral Axis). Levittäminen K-kerrointa käyttämällä onnistuu määrittelemällä, paljonko materiaalia tarvitaan taivutuksen valmistamiseen (Bend Allowance) käyttämällä levyn ainevahvuutta, taivutuksen kulmaa, taivutuksen sisäpinnan sädettä ja K-kerroin arvoa. K-kerroin riippuu muuttujista kuten käytettävästä materiaalista, levyn ainevahvuudesta ja käytettävien laitteiden työkaluista. Testitaivutuksia tekemällä voidaan määrittää ideaalinen K-kerroin. Jos käytetty K-kerroin on liian suuri, levitetystä pituudesta tulee suurempi. (Waguespack 2011, 279)

Inventor käyttää oletuksena K-kerrointa laskemaan neutraaliakselin pituutta. K-kertoimen oletusarvo on 0.44, eli neutraaliakseli sijaitsee 44% kohdalla ainevahvuudesta. K-kerroin on lineaarinen. K-kerrointa käyttämällä ei voida kovinkaan tarkasti jäljentää todellista levitystä vastaavaa mitta, koska taivutus riippuu useasta muuttujasta. K-kerrointa voidaankin käyttää kappaleissa, joissa on suuri toleranssi. Tarkkuutta vaativissa kappaleissa voidaan K-kertoimen käyttö korvata taivutustaulukoita käyttämällä. (Waguespack 2011, 279)

Neutraaliakselin (neutraalitaso) sijainti on likimäärin 0.445 kertaa levyn ainevahvuudesta taivutuksen sisäpinnasta. Tämä eroaa hieman Inventorin oletusasetuksesta. (Federal Aviation Administration 2012, 4-63)

3.2 Taivutustaulukko

Taivutustaulukko määrittelee neutraaliakselin pituuden käyttäen tiettyä ainevahvuutta tietyllä säteellä ja taivutuksen kulmalla levityksen analysaattorille. Analysaattori laskee arvon tunnettujen arvojen väliin, jos taulukosta puuttuu haluttu arvo. Taivutustaulukko voi olla epälineaarinen, minkä vuoksi taivutetut kappaleet ovat tarkempia toleransseiltaan. Taulukon jokainen kohta vaatii mitattuja testipaloja tarkkuuden takaamiseksi. (Autodesk www-sivut 2016)

3.3 Sheet Metal Defaults -asetukset

Ohutlevykappaleilla on muuttujia, jotka kuvaavat ohutlevyn erityisominaisuuksia ja valmistusta. Muuttujat tallennetaan säännöiksi (Sheet Metal Rule). Säännöt voidaan syrjäyttää yksittäisissä piirteissä piirteiden luonnin aikana. Sääntö koostuu ainevahvuudesta, materiaalista ja levitystyyppistä. (Autodesk www-sivut 2016)

Inventor käyttää oletuksena puolen millimetrin ainevahvuutta, joka johdetaan käytettävästä säännöstä. Asetuksissa määrätään levyn ainevahvuus sekä käytettävä K-kerroin. Asetukset täytyy muuttaa vastaamaan putken arvoja tai levityskuvan leveys on väärin. Väärien arvojen käyttäminen aiheuttaa vääriä pituusmuutoksia

Uuden säännön voi luoda tyylieditorissa (Style and Standard Editor). Nimeksi voidaan selkeyden vuoksi asettaa ainevahvuus ja käytetty materiaali. Tämän jälkeen asetetaan ainevahvuus ja valitaan valikosta oikea materiaali. Levitystä vastaava sääntö (Unfold Rule) on luotava erikseen ja valittava käytetäänkö säännössä K-kerrointa, taivutustaulukkoa tai omaa yhtälöä. Vaikka levitystä koskeva sääntö on valittu käytettäväksi uudessa ohutlevysäännössä, säännöt eivät välttämättä ole päällä samanaikaisesti.

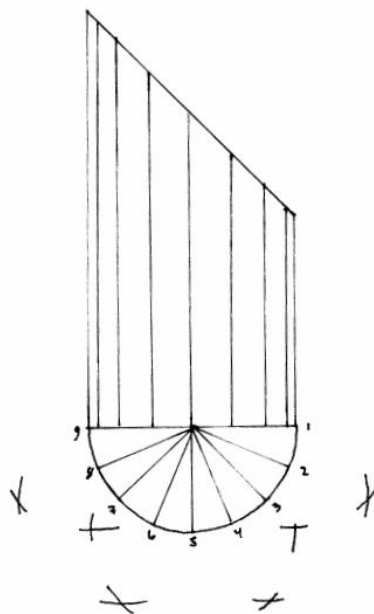
Säännöt voidaan tarkastaa Sheet Metal Defaults -komentoa käyttämällä. Valitaan luotu sääntö Sheet Metal Rule -kohtaan ja käytetään ainevahvuutta säännöstä. Taivutusta koskeva sääntö valitaan myös vastaamaan ohutlevysääntöä. Virhe on mahdolli-

nen, ellei sääntöjen täsmävyttä tarkisteta. Käytännössä, virhe aiheuttaa väärän K-kertoimen käytön ja levityksen leveydestä tulee suurempi kuin pitäisi.

4 LEVITYSKUVAN PIIRTÄMINEN

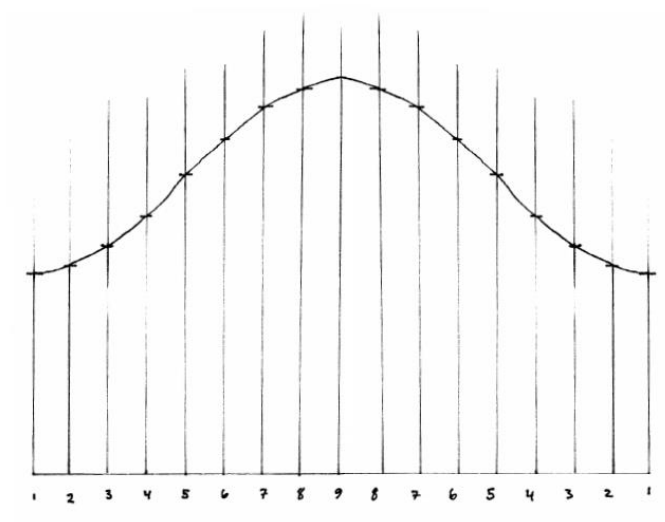
Putken levityskuvia voidaan myös piirtää käsin, jos levityskuvia mallintavan ohjelman käyttöön ei ole mahdollisuuksia. Täytyy huomioida kuitenkin putkien koko, koska levityskuvista tulee nopeasti melko suuria. Levityskuvia tehdessä on hyvä ymmärtää tekniikka, miten putket mallinnettaisiin ilman CAD-ohjelmaa. Piirtämisen kautta oppii tunnistamaan oikeanlaisen levityskuvan ja mallintaja voikin verrata piirrettyä levityskuvaa CAD-ohjelmassa tehtyyn levityskuvaan ja huomata mallintamisessa tapahtuvan virheen vuoksi levityskuvaan vaikuttavia seikkoja. Putkihaaroituk-
sissa piirretään myös putken profiili ylhäältä.

Levityskuva aloitetaan piirtämällä putken sivuprofiili, jonka alapuolelle piirretään harppia käyttämällä puoliympyrä. Puoliympyrä jaetaan osiin. Osien lukumäärään vaikuttaa levityskuvan haluttu tarkkuus. Puoliympyrän jakaminen aloitetaan piirtämällä puoliympyrän keskikohdasta kohtisuora viiva puoliympyrän kehälle. Kehä jaetaan osiin käyttämällä putken säteen mittaa harppissa. Tämän jälkeen piirretään viiva kehän ulkopuolella sijaitsevien leikkauspisteiden kautta kehältä puoliympyrän keskipisteeseen. Kehällä sijaitsevat pisteet siirretään ylös putken leikattuun pintaan piirtämällä suora viiva.



Kuva 11. Putken sivuprofiili.

Levityskuvan ja putken alapinnat linjataan samalle tasolle. Levityskuva jaotellaan osiin piirtämällä harpilla sivuprofiilin osien segmentin mitalla vaakaviivat. Vaakaviivoista pitäisi tulla putken kehän pituus, jos kaikki on tehty oikein. Levityskuvaan pystymitat saadaan sivuprofiilista.



Kuva 12. Putken levityskuva.

Levityskuvien piirtäminen helpottaa mallintajaa ymmärtämään levityskuvissa olevia eroavaisuuksia. Tekniikkaa käyttämällä selviää myös oikeanlaiset hitsausauman sijainnit. Levityskuvan piirtämisen osaaminen helpottaa ymmärtämään esimerkiksi haaraputkien levityskuvien mallintamista. CAD-ohjelman käyttäminen levityskuvien mallintamiseen yksinkertaistaa, nopeuttaa ja tarkentaa levityskuvien mallintamista.

5 VALMISTUSTEKNIIKAN HUOMIOINTI

Kappaleen valmistustekniikan tietäminen on oleellinen osa suunnittelua. Seuraavissa kappaleissa käsitellään putkien valmistukseen tarvittavia tietoja, jotka huomioidaan mallinnusvaiheessa.

5.1 Materiaalivalinta

Pakoputkissa on käytetty niukkahiilistä terästä (Mild Steel). Dieselmoottorin pakoputkissa on voitu käyttää pallografiittivalurautaa (Ductile Iron). (Smith, Crawford & Moore 1987, 22)

Niukkahiilisen teräksen hiilipitoisuus vaihtelee 0.08-0.3% välillä. Alhaisen hiilipitoisuuden takia, ominaisuuksia ei voida muuttaa lämpökäsittämällä. Niukkahiilistä terästä käytetään laajalti hyvän koneistettavuuden, taottavuuden ja hitsattavuuden takia. Niukkahiilistä terästä käytetään muun muassa ohutlevytuotteissa.

Ruostumattomia ja haponkestäviä putkia käytetään erityistä syöpymisenkestävyyttä vaativissa kohteissa. Tavalliset ruostumattomat teräsputket määritellään standardissa ASTM A312. (Wermac [www-sivut](#) 2016) AISI 316L on ruostumatonta terästä, joka sisältää molybdeenin. Molybdeenin käyttäminen kasvattaa ruostumattoman teräksen korroosionkestävyyttä. 316L on erittäin niukkahiilinen versio tyypistä 316. Tyypillisiin käyttökohteisiin kuuluvat muun muassa pakosarjat, meri-ilmastolle altistuvat osat sekä putket. Tyyppeä 316L käytetään hitsauskohteissa, joissa halutaan varmistua optimaalisesta korroosionkestävyydestä. 316/316L tyypit omaavat paremman korroosionkestävyyden kuin tyyppi 304. (AK Steel 2007)

Tyyppi 316 kestää pistekorrosiota (Pitting Corrosion) meri-ilmastossa paremmin kuin tyyppi 304. (Davis 2000, 8) Pistekorrosio aiheuttaa metallin pinnalle pistemäisiä syöpymiä. Ohutseinämäisissä putkistoissa, pistekorrosio saattaa lävistää putken seinämän. Normaali viimeistely tyypille 316L on ASTM-standardin mukainen merkintä 2B. Merkintä tarkoittaa kylmävalssattua, hehkutettua, peitattua ja viimeistelyvalssattua käsittelyä. (Stainless Sales Corporation [www-sivut](#) 2016)

5.2 Hitsaaminen

Teräsputket voivat olla pituussaumattuja tai kierresaumattuja. Pituussaumatut putket voidaan hitsata muun muassa vastushitsaamalla (ERW) sekä kaarihitsaamalla kuten MIG/MAG-hitsaamalla (GMAW) tai jauhekaarihitsaamalla (SAW). Vastushitsaamisessa käytetään vastuslämpöä pituussauman hitsaukseen. Pituussauma induktiohitsaamalla (HFI) on kontrolloidumpaa ja tuloksilta yhteneväisempää, verrattuna vastushitsaukseen. Hitsattavuus otetaan huomioon myös putkien päissä. Esimerkiksi päittäisliitoksia varten putkien päät ovat viistettyjä. (Wermac www-sivut 2016)

Pakoputkissa käytettävä putki on melkein samanlaista putkea kuin höyryputkissa, mutta pakoputkissa käytettävä putki on esimerkiksi heikompaa lujuudeltaan. (Durand 2014, 239) Suuremman halkaisijan omaavat putket voidaan hitsata käyttämällä hitsausautomaattia. Levylaijoissa otetaan huomioon putken etäisyys laipan pinnasta hitsattaessa.

Putken pituussauman sijainti asetetaan levityskuvan lyhimmälle sivulle. Kun hitsausaumat asetetaan lyhimmälle sivulle, säästää hitsausaikaa ja rahaa. Putkien hitsausaumojen sijaintien suunnittelussa on otettava huomioon pakoputkien kiintopisteiden ja tasaajien sijainti, ettei putkien hitsausaumat ole päällekkäin kiintopisteiden ja tasaajien kanssa. Putkien hitsattavuus toisiinsa on myös huomioitava.

Hitsausaumojen minimointiin pyritään suunnittelemalla samanlaisia putkipaloja ja vähentämällä käytettäviä putkipaloja. Esimerkiksi kaksi kulmapalaa ja kulmapalojen välissä olevan putkipala voidaan muuttaa kahdeksi kulmapalaksi lisäämällä suoran putkipalan mitta kulmapaloihin, jos laserleikkauskoneen maksimimitat sallivat muutoksen. Putkipalojen yhdistämisellä voidaan välttyä ylimääräisiltä hitsausaumoilta, mutta myös ylimääräisiltä erilaisilta levityskuvilta. Kustannuksissa säästetään, kun hitsausaumat ovat hyvin suunniteltuja.

5.3 Laserleikkaus

Laserleikkausta varten levityskuvissa ei saa olla ylimääräisiä viivoja. Tällä tarkoitetaan muun muassa levityskuvan lähekkäisiä viivoja, joita syntyy Split-komennon käytön yhteydessä sekä putkihaaroituksen leikatussa putkessa, jos leikkaus on tehty geometrian mukaan. Laserleikkaus epäonnistuu, jos levityskuvassa on ylimääräisiä viivoja.

Kaikki levityskuvat asetetaan vaaka-asentoon, jolloin ohutlevyn neutraaliakseli levittyy x-akselin suuntaisesti. Levityskuvan keskelle voidaan asettaa myös pienet viisteet hitsausvaihetta varten.



Kuva 13. Viisteet levityskuvan yläpinnassa.

5.4 Pyöristäminen

Ohutlevy valssataan putkeksi. Neutraaliakselin sijainti pysyy keskellä aihiota, koska aineessa ei tapahdu tyssäntymistä eikä venymistä tarpeeksi. Valssauksessa aineiden kerroksissa tapahtuvat muodonmuutokset ovat vähäisempiä kuin esimerkiksi särmäyksessä. (Lepola & Makkonen 2005, 307)

Särmäyksessä taivutusalue ohenee 10-15 prosenttia, mikä aiheuttaa neutraaliakselin sijainnin muuttumisen lähemmäs taivutuksen keskipistettä. Pyöristämisessä neutraaliakselin sijainti ei muutu vastaavanlaisesti. (Federal Aviation Administration 2012, 4-60)

Jos pakoputken päät ovat leikattu eri suunnista (ks. kuva 14), taivutuksen suunta on merkittävä tieto. Levityskuvat järjestellään niin, että taivutuksen suunta on kaikissa sama. Tällä poistetaan putken peilikuvan valmistuksen mahdollisuus. Taivutuksen suunta voidaan merkitä Inventorissa.



Kuva 14. Putken päät leikattuna eri suunnista.

5.5 Toleranssit

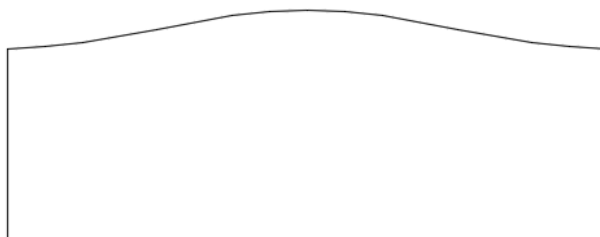
Toleranssilla tarkoitetaan hyväksytyä tahatonta muutosta nimellismitasta. Toleransseja määritellään standardeilla. Yleistoleranssit määritellään standardissa SFS-EN 22768. Termisen leikkauksen toleranssit määritellään standardissa SFS-EN ISO 9013. Kylmä- ja kuumavalssaukselle on omat standardinsa. Hitsauksen toleranssit määritellään standardissa SFS-EN 13920. Kappaleen muodosta ja asennuksesta johtuvat virheet pyritään korjaamaan sovitealueella.

6 PAKOPUTKISTO

Segmenttipalojen levityskuvien tulkitsemisessa voi tapahtua virheitä, jos ei ymmärrä, mistä eroavaisuudet levityskuvissa johtuvat. Seuraavissa kappaleissa esitellään esimerkkejä levityskuvista sekä joustavan pakoputkiston periaate.

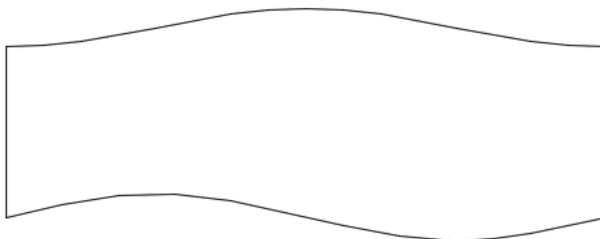
6.1 Esimerkkejä levityskuvista

Jos pakoputket valmistetaan putkipaloista, mallinnettavista levityskuvista tulee erilaisia riippuen putkipalan sijainnista pakoputkistossa. Levityskuvia tarkastettaessa huomataan heti virheelliset levityskuvat, jos tiedetään minkälainen levityskuva putkesta pitäisi muodostua. Levityskuva, jonka ylempi viiva on kaareva ja alempi viiva on suora, aloittaa yleensä putkipaloista tehdyn mutkan. Putkien tasaisen pinnan puoleen hitsataan yleensä laippa tai jatkoliitos.



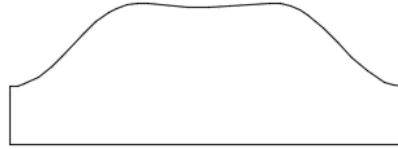
Kuva 15. Ylhäältä leikattu putki.

Levityskuva, jossa on eroava kaarevuus, omaa leikkaukset eri suunnista. Putki vaihtaa mutkan ulos- tai sisääntulon suuntaa. Jos levityskuvan ylempi ja alempi viiva vastaavat toisiaan, valmistettavaa putkea käytetään kulman muodostamisessa käytettävänä yhtenä segmenttinä.



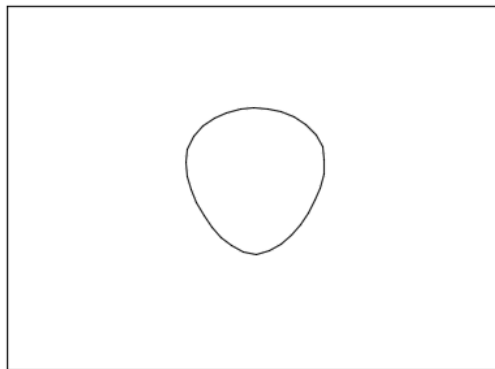
Kuva 16. Eri suunnista leikattu putki.

Levityskuvana putkihaaroituksen pienempi putki muistuttaa mutkan aloittavaa palaa, mutta korkeimmassa kohdassa on merkittävin eroavaisuus.



Kuva 17. Putkihaaroituksen pienempi putki.

Putkihaaroituksen suuremman putken levityskuvaan tulee pienemmän putken muodostama aukko. Putken aukko voidaan siirtää levityskuvan keskeltä ulkoreunoille. Putken aukko voi sijaita muuallakin kuin levityskuvan keskellä, jos pienempi putki on tietyssä kulmassa suurempaan putkeen nähden.



Kuva 18. Putkihaaroituksen suurempi putki.

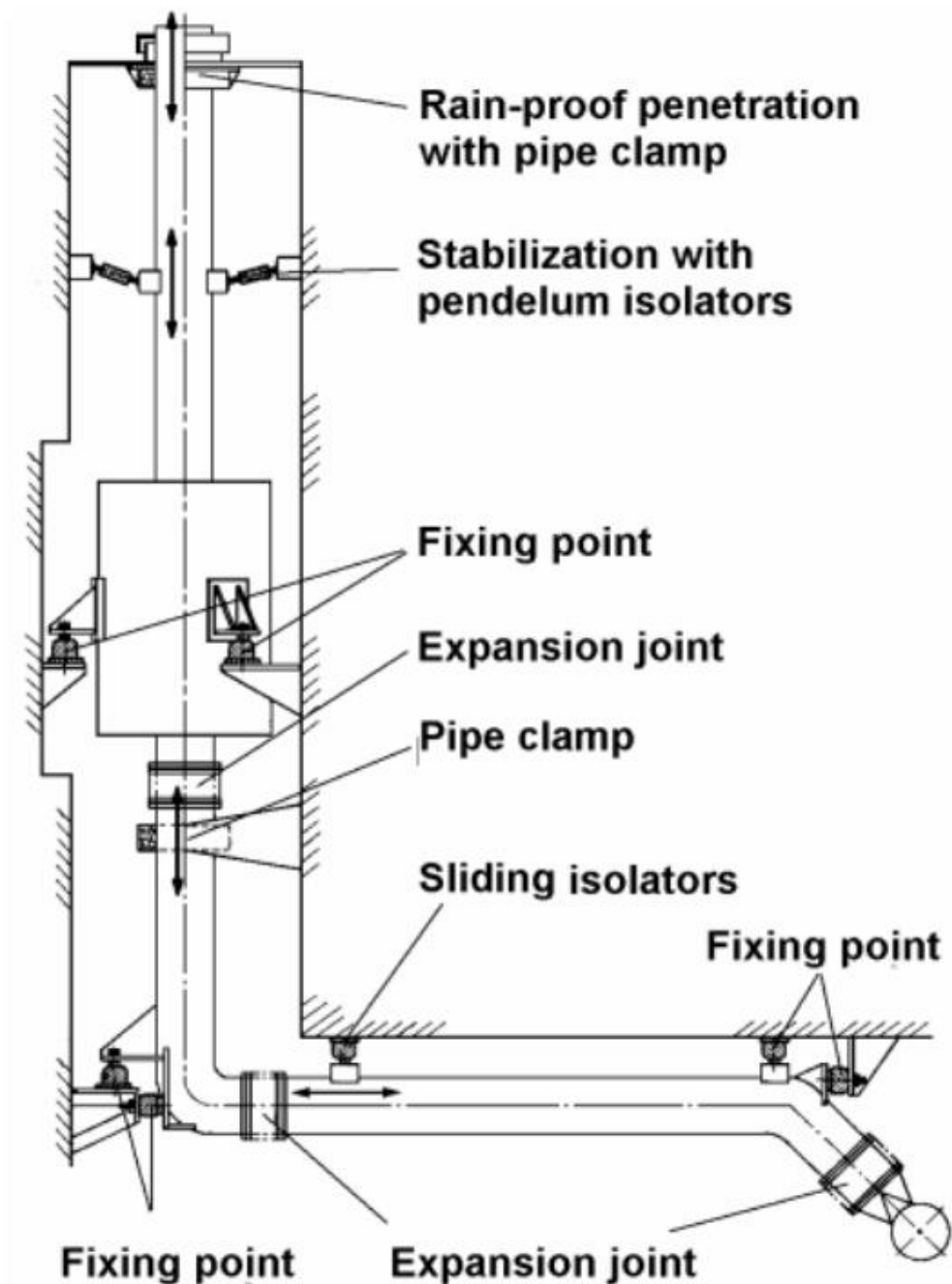
6.2 Kiintopisteet ja tasaajat

Pakoputket eivät saa olla suoraan kiinnitetty laivan runkoon. Pakoputkistot tuottavat rakenteessa värähtelyjä, minkä vuoksi pakoputkisto on eristettävä laivan rungosta. Eristämisellä vältetään ylimääräiseltä äänenvoimakkuudelta.

Pakoputkissa käytetäänkin joustavaa ripustusta. Joustava ripustus vähentää luotua äänenvoimakkuutta, kiinteästä liitoksesta johtuvaa vääristymistä sekä sallii pakoputkiston laajenemisen. (Vibratec Akustikprodukter 2014)

Joustavia elementtejä nimitetään kantaviksi elementeiksi ja ohjaaviksi elementeiksi. Kantavissa elementeissä otetaan huomioon, ettei niiden käytöstä tule pakoputkistoon jännityksiä. Esivalmisteputkien piirustuksiin on merkitty tasaajat ja kiintopisteet, jotta ne voidaan ottaa huomioon putkipaloja mallintaessa.

Elementin jäykkyyden määräävät tuettavan osan paino ja ominaistaajuus. Joustavan pakoputkiston esimerkkikuvasta nähdään pakoputkiston elementtien sijainteja. (Vibratec Akustikprodukter 2014)



Kuva 19. Esimerkkikuva joustavasta pakoputkistosta (Vibratec Akustikprodukter 2014).

7 YHTEENVETO

Levityskuvia tehdessä otetaan huomioon mallintamistekniikka ja mallintamisesta johtuvat virheet. Mallintaminen on suoritettava niin, että otetaan huomioon ohutlevyn muoto todellisuudessa eri mallintamisvaiheissa ja kuinka kappale todella valmistetaan.

Putkien mallinnustekniikalla on myös merkitystä. Putket voidaan mallintaa ohutlevyjä varten tarkoitetuilla komennoilla tai geometriaa muokkaavilla komennoilla. Geometriaa muokkaavat komennot eivät ota huomioon ohutlevyn valmistamista. Ohutlevykomennolla otetaan huomioon valmistustekniikka sekä fakta, että useimmat muokkaukset tehdään ohutlevyyn eikä lopputulokseen.

Monet putkipalat ovat kulmapaloja, joten mallinnuksessa on otettava huomioon myös kulman mallintaminen ja mallinnustekniikoissa olevat eroavaisuudet lopputuloksessa.

Tarkin ja yksinkertaisin putken mallinnustekniikka vaikuttaa olevan Surfacea käyttämällä. Monimutkaisin ja hitain tekniikka vaikuttaa olevan Fold-komentoa käyttämällä mallinnettu putki. Contour Flange -komennon etuna on, että komentoa käyttämällä ei tarvitse erikseen mallintaa väliä, vaan välin mitta määritellään komentoa käyttämällä.

Kulman mallintamisessa tarkin ja yksinkertaisin lopputulos saavutetaan Surfacea käyttämällä. Surfacea käyttämällä ei tarvitse miettiä erikseen, onko putken kulma varmasti todenmukaisesti leikattu. Surfacea leikkaamalla nähdään mallinnusvaiheessa putkien todellinen koottavuus.

Geometriaa leikkaavilla komennoilla saavutetaan helpompi kokoonpano ohjelmassa, mutta leikkaukset eivät vastaa todellisen ohutlevyn leikkauksia. Geometriaa leikkaavilla komennoilla levityskuviin tulee lähekkäiset viivat, jotka on otettava huomioon laserleikkausta varten. Levityskuvat oikein siistittyinä, geometriaa leikkaavilla komennoilla saavutetaan lähes samanlainen levityskuva kuin Surfacea käyttämällä.

Ohutlevykomemnoilla kulman leikkauskohta levityskuvassa eroaa hieman edellä mainituista. Kulman leikkauksessa on oltava tarkkana, jos leikkaus tehdään kohtisuoraa pintaan nähden, ettei putkesta leikata vahingossa liian lyhyttä.

Ottaen huomioon putkipalojen runsauden ja sallitun ajankäytön, nopein ja yksinkertaisin tekniikka on suosittavin ratkaisu. Varma lopputulos merkitsee eniten, ettei väärästä mallintamisesta aiheudu lisäkustannuksia.

LÄHTEET

Autodesk www-sivut. Viitattu 18.6.2016. <https://knowledge.autodesk.com>

Waguespack, C. 2011. Mastering Autodesk Inventor 2012 and Autodesk Inventor LT 2012. Sybex.

Munford, P. & Normand, P. 2016. Mastering Autodesk Inventor 2016 and Autodesk Inventor LT 2016: Autodesk Official Press. Sybex.

Aviation Maintenance Technician Handbook – Airframe: FAA-H-8083-31 Volume 1. 2012. Federal Aviation Administration.

Lepola, P. & Makkonen, M. 2005. Hitsaustekniikat ja teräsrakenteet. Helsinki: WSOY.

Smith, D., Crawford, J. & Moore P. 1987. Marine Auxiliary Machinery. Butterworth-Heinemann; 6 Edition.

AK Steel. 2007. Product Data Sheet 316/316L Stainless Steel. Viitattu 18.7.2016. http://www.aksteel.com/pdf/markets_products/stainless/austenitic/316_316l_data_sheet.pdf

Davis, J. R. 2000. Alloy Digest Sourcebook: Stainless Steels (Alloy Digest). ASM International.

Durand, W. F. 2014. Practical Marine Engineering. Maritimepress.

Wermac www-sivut. Viitattu 20.7.2016 <http://www.wermac.org>

Stainless Sales Corporation www-sivut. Viitattu 21.7.2016 <http://www.stainlesssales.com/>

Vibratec Akustikprodukter. 2014. Exhaust catalogue Version 2.3. Viitattu 24.7.2016 <http://vibratec.se/wp-content/uploads/2014/09/exh-en23.pdf>

Pääkkönen, T., Haapalainen, M. & Mäkelä, M. 2008. Laivaputkiasentajan oppikirja. Turku: Väylä