



Markus Kieksi

Haaroituskappalepiirustusten automatisointi SolidWorksillä

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Bio- ja kemiantekniikka

Insinöörityö

28.4.2022

Tiivistelmä

Tekijä: Markus Kieksi
Otsikko: Haaroituskappalepiirustusten automatisointi SolidWorksillä
Sivumäärä: 58 sivua
Aika: 28.4.2022

Tutkinto: Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma: Bio- ja kemiantekniikka
Ammatillinen pääaine: Kemian prosessitekniikka
Ohjaajat: lehtori Timo Seuranen
laskenta- ja kehitysinsinööri Lasse Kuusijärvi

Insinööriyössä oli tavoitteena luoda automaattinen haaroituskappaleen piirustustyökalu. Automatisoinnilla pyrittiin nopeuttamaan ja tehostamaan piirustustuotantoa. Alussa työkalun vaatimukset käytiin läpi suunnittelijoiden kanssa. Insinööriyö tehtiin Recion Oy:lle.

Työn pohjustuksena tutustuttiin asiaan liittyviin standardeihin ja käytiin yrityksen valmistusyksikössä vierailulla. Aiheeseen liittyi useita kymmeniä standardeja, joista työn kannalta oleellimmat käytiin läpi. Standardiryhmistä perehdyttiin valmistukseen, tarkastukseen, lujuuslaskentaan ja piirustuksiin liittyviin standardeihin.

Insinööriyössä mallinnettiin haaroituskappale SolidWorksia apuna käyttäen. Haaroituksen kokoonpano koostui runko- ja haaraputkesta. Tämän lisäksi rungon päihin mallinnettiin mahdolliset supistukset. Mallinnuksen jälkeen kappaleen parametritiedot siirrettiin DriveWorksiin, joka mahdollisti mittojen automatisoinnin.

Tuloksena syntyi toimiva automatisointityökalu haaroituskappaleen piirustuksille. Työkalun toimivuus todennettiin testaamalla sitä aiemmin piirrettyihin haaroituskappaleisiin. 2D-piirtämiseen nähden uusi työkalu säästää käyttäjältä aikaa useita tunteja.

Molempien ohjelmien haasteet havaittiin työn aikana ja niihin osataan paremmin varautua muiden muotokappalepiirustusten automatisoinnissa. DriveWorksin käyttöliittymässä on mahdollisuus syöttövirheille, ja tämän vuoksi suunnittelijoita tulee perehdyttää työkalun käyttöön.

Avainsanat: putkisto, haaroituskappale, SolidWorks, DriveWorks

Abstract

Author: Markus Kieksi
Title: Automation of Pipe Branch Connection Drawings Using SolidWorks
Number of Pages: 58 pages
Date: 28th April 2022

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Biotechnology and Chemical Engineering
Professional Major: Chemical Engineering
Supervisors: Timo Seuranen, Senior Lecturer
Lasse Kuusijärvi, Calculation Engineer

The aim of this thesis was to create an automatic drawing generator for branch pieces. Automation would accelerate and enhance the production of drawings. The requirements for the tool were initially discussed with designers. The thesis was done for Recion Oy.

The background for the thesis was gathered from related standards and from a visit to the company's fabrication unit. There are dozens of standards related to this topic, from which the most essential ones were chosen. The standard groups that were used include fabrication, inspection, strength calculation and drawings.

In this thesis, a branch piece was modelled using SolidWorks. The assembly of this branch piece consisted of a run pipe and branch pipe. In addition to this, each run pipe end could contain a reducer, which was also modelled. After modelling, the parameters of each component were transferred to DriveWorks, which allowed automatic change of dimensions.

The result was a functioning automatic tool for branch piece drawings. The functionality of the tool was tested by using the parameters of previous branch pieces. Compared to 2D-drawing method, the new tool saves time by several hours from the user.

Challenges of both programs were noticed during the thesis. This allows for better preparation regarding the future automation of form piece drawings. There are possibilities for input mistakes within the DriveWorks-interface. For this reason, an introduction into DriveWorks is required for the designers before they start to use the tool.

Keywords: Piping, Pipe Branch, SolidWorks, DriveWorks

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Esivalmistus	1
2.1	T-kappaleen valmistus	2
2.1.1	Haaroituskappaleen valmistus putkimaisista komponenteista istuttamalla	2
2.1.2	Putken pään kuumamuovaus	5
2.1.3	Viisteet	6
2.1.4	Hitsaus	8
2.1.5	Lämpökäsittely sekä jälkitarkastus	8
2.2	Valmistusstandardit	9
2.2.1	Valmistuksen vaatimukset yleisesti	9
2.2.2	Leikkauksien ja viisteiden vaatimukset	10
2.2.3	Supistusten kuumamuovaus	14
2.2.4	Seinämien kalibrointi	16
2.3	Putkiston osien tarkastus ja loppudokumentaatio	18
2.3.1	Aineenkoetukset	18
2.3.2	Painekoe	21
2.3.3	Loppudokumentaatio	21
2.3.4	Loppuarviointi	22
3	Suunnittelustandardit	23
3.1	Suunnittelun perusteet	23
3.2	Suunnittelujännitykset	24
3.3	Materiaalistandardit	24
3.4	Laskentastandardi ja lujuuslaskenta	26
3.4.1	Laskennassa huomioitavat kuormitukset	27
3.4.2	Lujuuslaskennassa huomioitavat kuormitustapaukset	27
3.4.3	Putken laskenta	28
3.4.4	Kuumasupistuksen mitoitus	28
3.4.5	Haaroituksen laskenta	31
3.4.6	Ainepaksuus	34
3.5	Piirustusstandardit	35

3.5.1	Piirustuksen sisältö	35
3.5.2	Kuvannot	37
3.5.3	Mitoitus	40
4	Työn toteutus	41
4.1	SolidWorks	41
4.1.1	SolidWorks yleisesti	41
4.1.2	DriveWorksXpress-lisäosa	42
4.2	Osien mallinnus SolidWorksillä	42
4.2.1	Runkoputken mallinnus	43
4.2.2	Kartioiden mallinnus	44
4.2.3	Yhteen mallinnus	46
4.2.4	Kokoonpano	48
4.2.5	Piirustus	51
4.3	Muotokappalepiirustusten automatisointi DriveWorksXpressillä	52
4.3.1	Parametrit	52
4.3.2	Käyttöliittymä	54
4.3.3	Piirustusten automatisointi	55
4.3.4	Testaus	56
5	Yhteenveto	57
	Lähteet	59

Lyhenteet

DN: *Dimension Nominal*. Nimellissuuruus.

NDT: *Non-Destructive Testing*. Rikkomaton aineenkoetus.

PED: *Pressure Equipment Directive*. Painelaitedirektiivi 2014/68/EU.

WPS: *Welding Procedure Specification*. Hitsausohje.

1 Johdanto

Piirustukset toimivat suunnittelun ja valmistuksen yhdistävänä tekijänä, jonka vuoksi piirustuksissa on mainittava kaikki valmistukseen liittyvä tieto. Muotokappaleissa, varsinkin haaroituskappaleissa, on paljon yksityiskohtaista tietoa, josta osa on vaikeammin tuotettavissa pelkällä 2D-piirto-ohjelmalla.

Insinööriyön tavoitteena on haaroituskappalepiirustusten automatisointi käyttäen pohjana 3D-suunnitteluohjelmistoa. Työssä pyritään mahdollisimman suureen automatisoinnin määrään, jotta vältetään 2D-suunnittelussa tyypillisesti esiintyviltä osanumerointi- ja mittavirheiltä. Automatiikan pohjana toimii 3D-mallinnettu haaroituskappale, josta ohjelma luo 2D-piirustuksen graafisen alueen ja osaluettelon. Tässä työssä ohjelmistoksi valikoitui Dassault Systèmesin SolidWorks ja sen lisäosa DriveWorks.

Insinööriyö tehtiin Recion Oy:lle, joka on korkeapaineputkistoihin erikoistunut suunnittelutoimisto ja valmistaja. Recionin putkistoprojektien palveluihin kuuluu esiselvitykset, suunnittelu, projektinjohto, asennus ja osien esivalmistus. Näiden lisäksi Recion tarjoaa myös kuumasinkitystä monen kokoisille kappaleille. Recionin Ylivieskan tehdas mahdollistaa laadukkaiden putkistoesivalmisteiden tekemisen, joilla saadaan helpotettua ja nopeutettua putkistokokonaisuuden asennusta.

2 Esivalmistus

Putkistokomponentteja on mahdollisuus ostaa joko sarjavalmisteinä SFS-EN 10253 -standardisarjan mukaan tai yksittäiskappaleina. Seosteräksisiä ja pakuseinämäisiä kappaleita on vähemmän saatavilla tai toimitusaika on liian pitkä nykyisten projektien tiukkoihin aikatauluihin. Tämä ajaa putkistoesivalmisteiden käyttöön.

Esivalmiste, tai toisin sanoen muotokappale tai erikoisosa, on koneistamalla, hitsaamalla tai kuumamuovaamalla valmistettu putkiston osuus, jota ei tehdä

putkenosien standardin mukaiseksi. Tyypillisesti tällaisilla kappaleilla pyritään vähentämään työmäärää sekä asennusaikaa ja näin ollen kustannuksia.

2.1 T-kappaleen valmistus

T-kappale voidaan valmistaa useammalla tavalla: prässäämällä kahdesta levyistä, vetämällä haaroitusosa runkoputkesta, kahdesta putkesta istuttamalla tai kokonaan koneistamalla. Kuva 1 esittää haaroituskappaleen valmistuksen runkoputkesta vetämällä, kahta levyä prässäämällä ja koneistamalla. Valittavaa valmistusmenetelmää rajaavat asiakkaan ja standardin vaatimukset sekä kustannukset. [1.]



Kuva 1. T-kappaleen valmistus vetämällä, prässäämällä ja koneistamalla [1; 2, muokattu].

Yksi rajaavista tekijöistä on, että korkeapaineiset osat eivät ole tyypillisesti pituushitsattuja [3]. SFS-EN 10253 -standardi puolestaan ei anna käyttää pyörötankoja yli DN 40 -koossa [4].

Tässä insinööriyössä syvennytään istutettujen haaroituskappaleiden suunnitteluun ja valmistusvaiheisiin.

2.1.1 Haaroituskappaleen valmistus putkimaisista komponenteista istuttamalla

T-kappaleen valmistus aloitetaan leikkaamalla kappale oikean pituiseksi. Jos kappaleessa täytyy olla supistus yhdessä tai molemmissa päissä, käytettävän

putken toinen pää kuumasupistetaan ensiksi. Tämän jälkeen on helppo katkaista putki oikean pituiseksi ja lopulta tehdä kappaleen toisen pään supistus. [5.]

Kappaleiden mittaan täytyy aina jättää työstövaraa, koska kuumasupistuksen jälkeen kartion supistuneen pään muoto ja pituus ei ole sopiva, vaan se täytyy leikata ja koneistaa oikeanlaiseksi. Lopullisilla koneistuksilla saadaan aina toteutettua kappaleiden suunnitellut mitat ja myös korjattua mahdollisia edellisissä vaiheissa tapahtuneita virheitä. [5.]

Haaroituskappaleen yhdettä varten runkoon porataan reikä aarporalla. Kyseisen reiän koon tulee vastata liittyvän yhteen sisähalkaisijaa. Runko ja yhde työstetään erikseen ennen toisiinsa hitsaamista. Myös yhteen päähän tulee hitsausrailo ja mahdollisesti myös kalibrointi. Yhteen runkoon liittyvään päähän taas tehdään kaareva ja useasti myös viistekulmaltaan muuttuva satulapinnan hitsausrailo. Viistekulmat voivat olla erikokoisia pituus- ja poikkisuunnassa. Kyseinen railo täytyy toteuttaa sopimaan runkoon, joten viisteen laskennassa täytyy huomioida rungon ulkohalkaisija. Tämä suhteellisen haastava hitsausrailo koneistetaan aarporan avulla. [6.] Kuvassa 2 näkyy aarporan terä, yhteen satulapinnan viiste ja putken pään hitsausviiste.



Kuva 2. Aarporan terä ja koneistettuja putkenpäitä aarporauksen jälkeen.

Ennen kuin kappaleet yhdistetään toisiinsa, ne usein hiekkapuhalletaan puhtaaksi. Näin ollen pintoihin ei jää epäpuhtauksia, ja kappale tasoittuu entisestään. T-kappale kootaan hitsaamalla runkoputki ja yhde toisiinsa ilmarako huomioiden. [5.] Esimerkki runkoputken hitsatusta yhteestä näkyy kuvassa 3.



Kuva 3. Haaroituskappale, jossa tuoreeltaan runkoputken hitsattu yhde.

Ilmaraon säilyttämiseksi hitsaaja käyttää apupaloja kappaleiden välissä ja sen jälkeen hitsaa hitsauspalot railoon. Tätä apupalojen käyttöä kutsutaan silloitukseksi. Kuvassa 4 näkyy lähikuva apupalan käytöstä hitsausrailossa. Kun railo on täytetty, hitsi viimeistellään hiomalla ylimääräiset saumanosuudet pois jättäen siistin ja tasaisen muodon rungon ja yhteen välille. [5.]



Kuva 4. Putken ja kuperan päädyn välinen hitsausseama, jossa apupala käytössä ilmaraon säilyttämiseksi.

Seuraavaksi valmis kappale voidaan vielä uudelleen hiekkapuhaltaa tarvittaessa. Lopuksi kappale jälkilämmitetään joko uunissa tai pienempien kappaleiden tapauksessa lämpöpeitoilla. T-kappale on tarpeeksi pieni lämpökäsiteltäväksi kokonaisena uunissa, joten ei tarvita lämpökäsittelyä vyöhykkeittäin tai paikallisesti. [5; 7.]

2.1.2 Putken pään kuumamuovaus

Putkien supistuskartiot voidaan valmistaa kuumamuovaamalla valmista putkea (kuva 5). Tätä varten käytetään valmiita muotteja, jotka muovaavat putken pään halutulle kartionkulmalle. Kartion valmistaminen suoraan putken päähän kuumamuovaamalla on tehokkaampaa ja yksinkertaisempaa, koska näin vältetään hitsausseamojen teolta ja kalliiden taekappaleiden hankinnalta. Ilman kuumamuovausta kartio täytyisi koneistaa erikseen taekappaleesta esimerkiksi CNC-aarporaa käyttäen, mikä on aikaa vievää ja jättää paljon hukkamateriaalia. Taekappaleen koneistaminen myös vaatisi vastakoneistetulle kartiolle erikseen lämpökäsittelyn ennen liittämistä. [5; 7.]

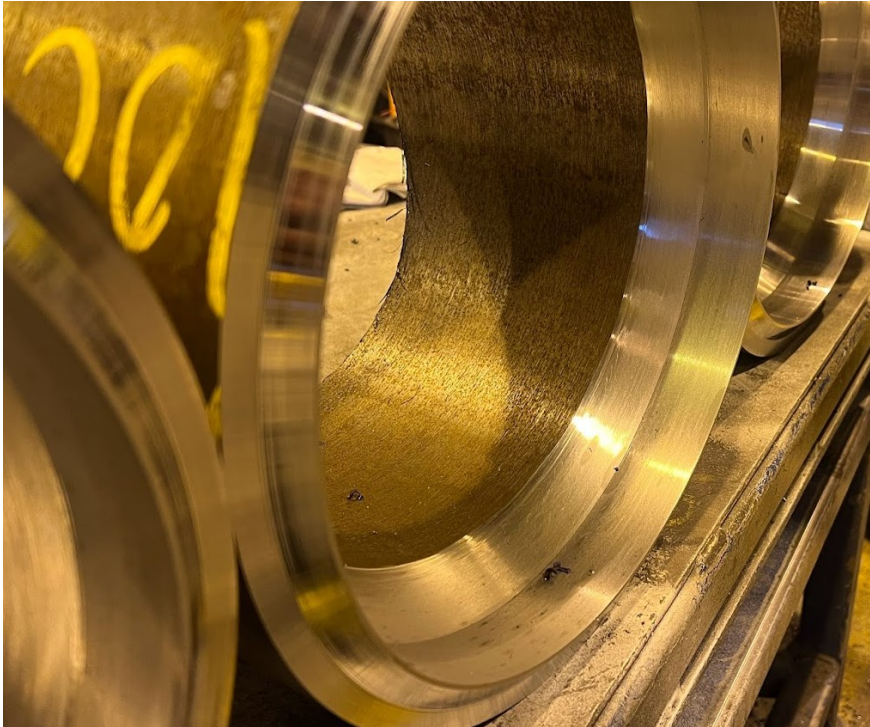


Kuva 5. Putken pään kuumasupistaminen.

2.1.3 Viisteet

CNC-aarporaa käytetään koneistamaan hitsausviisteitä, putken päiden kalibrointeja, haaroituskappaleiden runkoja ja haaran satulapintoja. Istutushaaran satulapinta viittaa haaroituskappaleen tai yhteen rungon puoleiseen päähän, johon täytyy koneistaa rungon ulkohalkaisijan mukaan kaareutuva railo hitsausta varten (kuvassa 2 keskellä). [6.]

Tarvittaessa kappaleelle voidaan tehdä kalibroinnit, jolloin aarporaja ensin lyhentää pään ulko-, sisä- tai molempia pintoja kalibroittavan pituuden verran. Samalla kone on asetettu tekemään kalibroinnille viisteen, jotta siirtymä kalibroidulta halkaisijalta kappaleen ulkohalkaisijaan tapahtuu tasaisesti. Tätä kutsutaan kalibrointikulmaksi, joka asetetaan suunnitteluvaiheessa laskennan avulla. [6.] Kuvassa 6 näkyy aarporalla koneistettu hitsausviiste ja sisäkalibrointi.



Kuva 6. Putken päähän aarporalla koneistettu hitsausviiste ja sisäkalibrointi.

Kalibroinnin jälkeen päähän tehdään lopullinen hitsausviiste ottaen huomioon haluttu juuripinta hitsaukselle. Viiste on tyypillisesti I-, V-, W-, Y- tai U-muotoinen. Yleensä valmistaja päättää hitsausviisteen muodon ja tarvittavan juuripinnan pituuden, johon valmistajan hitsaajilla on omat mieltymyksensä. [6.]

Aarporan avulla hitsausviisteistä, varsinkin satulapinnoista, saadaan äärimmäisen tarkkoja ja ne vastaavat suunniteltuja hitsausrailomuotoja. Myös aarporan koneistuksen jälki on huomattavasti tasaisempaa ja laadukkaampaa kuin käsityökaluilla muotoiltujen railojen pinnat. Näin ollen hitsausaika lyhenee, laatu paranee ja saavutetaan mekanisoidun hitsauksen edellyttämät sovitustarkkuudet verrattuna perinteiseen käsityökalulla muotoiltuun viisteeseen. Esimerkiksi suurten lieriöiden rei'ityksen mitoitus tarkkuus paranee, kuten myös muiden suurempien esivalmisteiden kohdalla. Tarkka CNC-aarporaus myös vähentää jälkihiontatyön määrää, joskus hiontaa ei tarvita koneistuksen jälkeen lainkaan. [7.]

Pitkissä kalibroinneissa tulee huomioida, ettei kalibrointi kavenna seinämää liikaa. Onkin aarporaajan kannalta suositeltavampaa tehdä jyrkkä kalibrointi,

jolloin kalibroinnin pituus jää lyhyeksi, eikä ole vaaraa kaventaa kappaleen seinämää liikaa. Lujuuden puolesta taas mahdollisimman loiva seinämämuutos olisi parempi [6; 8, s. 226–228].

2.1.4 Hitsaus

Paksuseinämaisten putkien hitsaus pyritään automatisoimaan laatu- ja kustannussyistä, ja tämä saavutetaan orbitaali- ja jauhekaarihitsauskonetta käyttäen. [7.]

Orbitaalihitsauskoneella on helpompi hallita lämmöntuontia ja itse hitsisaumasta saadaan korkeampilaatuinen. Hitsauksen määrän vähentäminen korostuu varsinkin paksuseinämaisten putkien kohdalla, koska niiden hitsausrailot ovat isommat ja syvemmät, mikä vaatii enemmän hitsausmateriaalia eli palkoja. [7.]

Haaroituksissa rungon ja yhteen väliin jätetään suunnittelussa laskettu ilmarako, joka tarkoittaa sitä, että runko ja yhde eivät ole suoraan kosketuksissa toisiinsa. Hitsausvaiheessa ilmaraon pysyminen varmistetaan silloituksella, jossa hitsataan väliaikaiset apupalat rungon ja yhteen välille pitämään ne kohdakkain (kuva 4). Tämän jälkeen hitsaaja pääsee käsiksi kappaleiden hitsirailoihin, jonne hän saa hitsattua useat hitsauspalot. Hitsauspalkoja tulee yleensä niin paljon, että ne tulevat hiukan kappaleiden pinnan yli, mutta ne hiotaan tasaisiksi viimeistelyssä. [5.]

2.1.5 Lämpökäsittely sekä jälkitarkastus

Muokkauksessa ja hitsauksessa materiaaliin syntyy ja jää jännitystiloja. Kuuma-muovatut osat käyvät lopuksi lämpökäsittelyssä, jossa niiden perusmateriaalin ominaisuudet pyritään palauttamaan. Osien ominaisuudet voidaan vielä tarkistaa mekaanisilla testeillä. [7.]

Lämpökäsittelijän on valittava pajan tuotannosta lämpökäsittelyerään sopivat kappaleet. Tämä vaatii kokonaiskuvan pajan tuotannon tilanteesta. Standardin

SFS-EN 13480–5 kohta 7.2.5 vaatii, että muovatun osan lisäksi uunituksessa on oltava myös koekappaleet. [9, s. 11.]

2.2 Valmistusstandardit

Valmistus pohjautuu painelaitedirektiivin vaatimukseen, joihin kuuluu PED-luokat ja valmistusmoduuli. Standardin SFS-EN 13480–3 mukaisten putkistojen asennusta ja valmistusta ohjaa standardi SFS-EN 13480–4. Vesiputkikattilastandardia SFS-EN 12952–6 voidaan myös soveltaa putkistonosien valmistukseen muovauksien osalta. Putkiston muovattuja osia voivat olla esimerkiksi taivutukset ja kuumamuovaamiset.

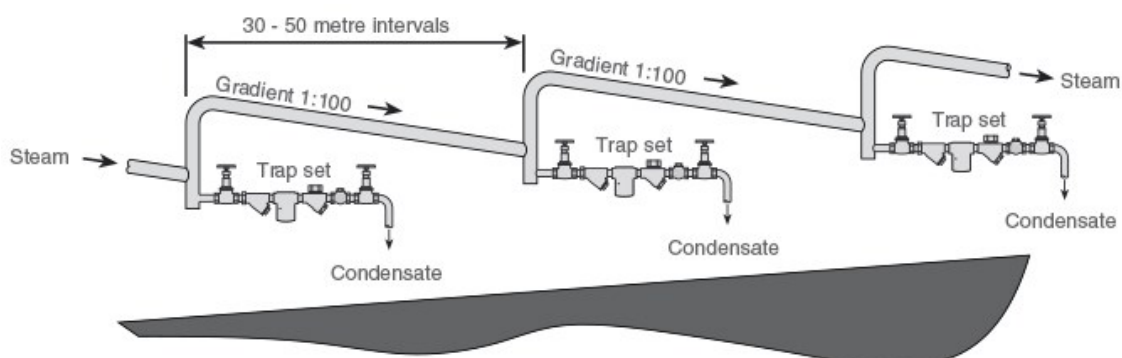
2.2.1 Valmistuksen vaatimukset yleisesti

Standardin SFS-EN 13480-4 mukaan valmistaja on vastuussa putkiston ja putkiston osien valmistuksesta ja asennuksesta riippumatta siitä, onko valmistus alihankittu urakoitsijoilta tai asentajilta. Urakoitsijat ja asentajat ovat vastuussa osien asianmukaisesta valmistuksesta, varastoinnista, kuljetuksesta, asennuksesta ja tarkastuksesta. Heillä täytyy myös olla käytettävissään sopivat välineet putkiston osien käsittelyä ja testausta varten. Urakoitsijoilla ja asentajilla täytyy olla omat vastuulliset valvojat valmiin putkiston eheyden varmistamiseksi alihankinnan käytöstä riippumatta. [10, s. 8–9.]

Valmistuksen kannalta esivalmisteiden ja rakenneosien oikeinpitävyys on tarkistuksin varmistettava ennen jokaista työvaihetta. Tämä viittaa siihen, että osa vastaa sen piirustuksia, todistuksia jne. Asennuksen aikana tehdyt jännitykset ja muovaukset esivalmisteille ja rakenneosille on kielletty, paitsi ne mitä itse konstruktio saattaa vaatia. [10, s. 8–9.]

Jos kappaleella on mahdollisuus altistua korroosiolle, kappaleen likaantumisen ehkäisemiseksi on käytettävä suositeltuja menetelmiä [10, s. 37]. Putkisto on asennettava riittäväällä kallistuksella ja lauhteenerottimilla, jos sen sisällä on

mahdollisuus lauhtumiselle [11]. Putkisto on suositeltu asennettavaksi 1:100 kallistuksella, kuten kuvan 7 esimerkki ohjeistaa [12].



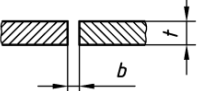

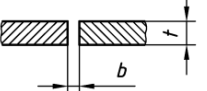

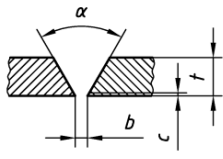

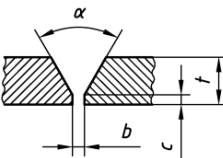
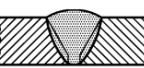
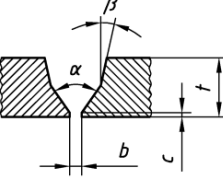
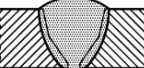
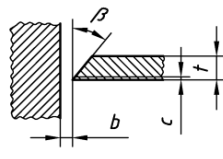
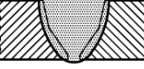
Kuva 7. Suositeltu höyryputkiston kallistus [12].

2.2.2 Leikkauksien ja viisteiden vaatimukset

Standardi 13480–4 sallii koneelliset leikkaamiset ja viistämiset kaikille materiaaleille. Materiaaliryhmien 1, 2, 3, 4 ja 5 [13, s. 55] kohdalla liekillä leikkaaminen on sallittua vain esikuumentamisen kanssa. Plasmaleikkaus taas määritellään soveltuvaksi kaikille standardin esittämille materiaaliryhmille, mutta myös esikuumentamisen kanssa. Materiaaliryhmillä 1 ja 2 viisteet voidaan muodostaa liekkileikkausta käyttäen, mutta tällöin täytyy kiinnittää huomiota, että vaaditut viistemuodot ja toleranssit saavutetaan laadukkaasti. Standardi hyväksyy myös muut leikkaus- ja viistämisprosessit, kunhan niiden sopivuus tilanteeseen on osoitettavissa. [10, s. 9–10.]

Standardi SFS-EN ISO 9692–1

Railomuotosuosituksia esittää standardi SFS-EN ISO 9692–1. Kyseisen standardin esittämät railomuodot ovat kaikille teräslajeille soveltuvia ja käytettävissä kaasu-, puikko-, metallikaasukaari-, TIG- ja sädehitsauksessa. Standardista löytyy sen suosittamat railomuodot taulukoituna (kuva 8). [14, s. 8–10.]

Viite-numero	Aineen-paksuus t mm	Railo-muoto	Hitsaus-merkki (ISO 2553 mukaan)	Poikkileikkaus	Mitat			Hitsin kuva
					Kulma ^a α, β	Ilmarako ^b b mm	Juuri-pinnan korkeus c mm	
1.2.1	≤ 4	I-railo			-	$\approx t$	-	
1.2.2	$3 < t \leq 8$	I-railo			-	$6 \leq b \leq 8$	-	
	≤ 15					$\approx t$		
						$\leq 1^d$		
						0		
1.3	$3 < t \leq 10$	V-railo	V		$40^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$	≤ 4	≤ 2	
	$8 < t \leq 12$				$6^\circ \leq \alpha \leq 8^\circ$	-		
1.5	$5 \leq t \leq 40$	Osa-viistetty V-railo	Y		$\alpha \approx 60^\circ$	$1 \leq b \leq 4$	$2 \leq c \leq 4$	
1.7	> 12	Erikois-V-railo	≡		$60^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ $10^\circ \leq \beta \leq 15^\circ$	$2 \leq b \leq 4$	> 2	
1.9.1	$3 < t \leq 10$	Puoli-V-railo	✓		$35^\circ \leq \beta \leq 60^\circ$	$2 \leq b \leq 4$	$1 \leq c \leq 2$	

Kuva 8. Kuvakaappaus standardin SFS-EN 9692–1 railomuotosuosituksien taulukosta [14, s. 12–18, muokattu].

Kuva 8 näyttää, kuinka standardi SFS-EN 9692–1 asettaa vaatimukset hitsausrilon dimensioille. Esimerkiksi V-railon tapauksessa on määritetty viisteen kulma (α -kulma), joka viittaa hitsin juureenpäästävyteen. Standardi määrittää myös railon ilmarakon ja juuripinnan korkeuden raja-arvot, kuten myös esittää suosituksen kyseiselle railolle käytettävästä hitsausprosessista. Standardin

esittämät ilmaraot on tarkoitettu vastaamaan liitoksen silloituksen jälkeistä tilannetta. Kyseistä standardia voidaan myös soveltaa yhdettä pintaan hitsattaessa, johon viittaa standardin taulukko 1:n kohta 1.9.1 (kuva 8). [14, s. 8, 14.]

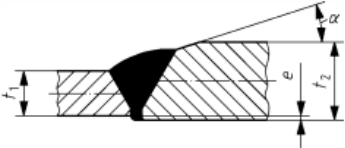
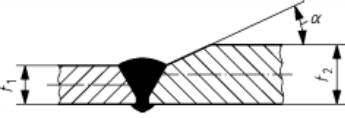
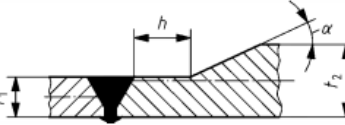
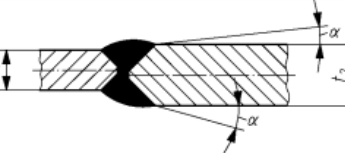
Standardin SFS-EN ISO 9692–1 taulukko 1:n (kuva 8) kohta 1.9.1 antaa suositellut raja-arvot viisteenkulmalle, osien väliselle ilmaraoille ja viisteen juuripinnalle. Kohdan 1.9.1 antamaa viistekulman arvoa voidaan käyttää, kun hitsataan yhdettä vaipan pintaan, esimerkiksi runkoputkeen.

Standardi SFS-EN 1708–1

Standardi SFS-EN 1708–1 syventyy paineenalaisten osien liitosmuotoihin. Se esittää painelaitteisiin suositeltuja liitosmuotoja perustuen yleisesti käytettäviin liitosmuotoihin. Standardin esittämät liitosmuodot eivät ole pakollisia, eivätkä estä muiden liitosmuotojen käyttämistä, mutta suunnittelussa on kuitenkin muistettava noudattaa jännitysanalyysin sääntöjä. [15, s. 6.]

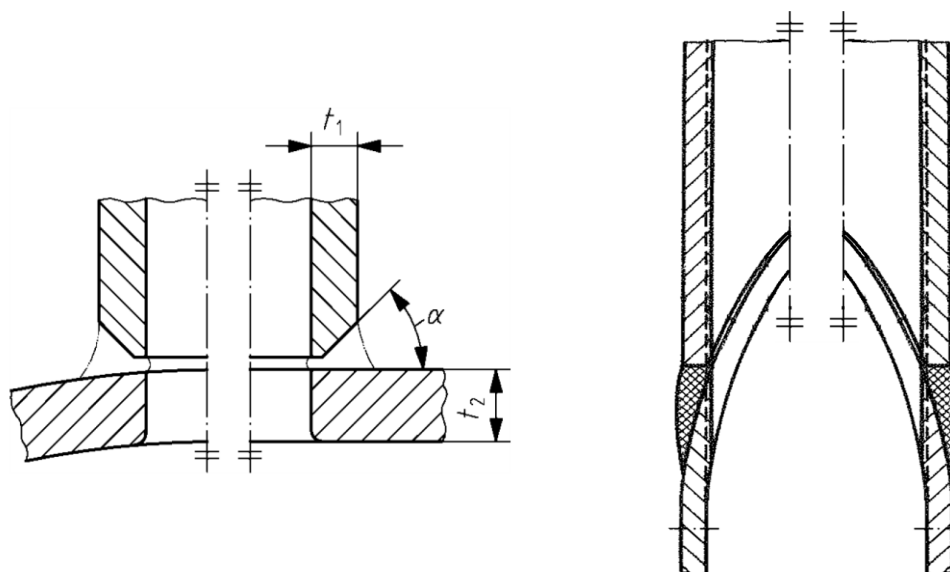
Standardi perustuu aiemmin mainittuun SFS-EN 9692–1 -standardiin railomuotojen osalta, mutta tarkentaa hitsausaumojen yksityiskohtia. Standardi vaatii, että saavutetaan ehjä ja tehokas läpihitsautuminen pääsemällä railon juureen asti. Tapauksissa, joissa hitsattavien kappaleiden aineenpaksuudet poikkeavat toisistaan merkittävästi (3 mm tai enemmän) paksumman osan pääty tulee ohentaa vastaamaan toisen liittyvän kappaleen seinämäpaksuutta. Näissä ohennuksissa tulee käyttää 1:5–1:2 kaltevuutta, mutta tasaisempaa liittymää voidaan käyttää vaativissa käyttöolosuhteissa. [15, s. 8.]

Standardi ohjeistaa myös ohennuksen jälkeisiin vähimmäissuoranmittoihin, joita hyödynnetään erilaisissa tarkastuksissa, kuten ultraäänitarkastuksessa ja radiograafisessa kuvauksessa. Suoranmitat suhteutetaan osan seinämäpaksuuteen. Näistä huomautetaan esimerkiksi kuvan 9 kohdassa 1.1.3. [15, s. 12.]

Nro	Kuva	Sovellutus/Olosuhteet	Huomautus
1.1 Päätisliitokset eri aineenpaksuuksille			
1.1.1		$\alpha \leq 30^\circ$ $t_1 < t_2$	Vaativissa käyttöolosuhteissa mitoituksen tulee olla kuvien 1.1.2 ja 1.1.3 mukainen. $e \leq 0,1 t_1$ 2 mm max. (yhdelta puolelta hitsauksessa).
1.1.2		$\alpha \leq 30^\circ$ $t_1 < t_2$	
1.1.3		$\alpha \leq 30^\circ$ $t_1 < t_2$	Ultraäänitarkastuksessa $h > 3 t_1$, kuitenkin vähintään 20 mm. Radiograafisessa kuvauksessa $h \geq t_1$.
1.1.4		$\alpha \leq 30^\circ$	Ks. 1.1.1.

Kuva 9. Kuvakaappaus standardin SFS-EN 1708–1 taulukosta 1 [15, s. 12, muokattu].

Yhteiden istutushitsin osalta standardin SFS-EN 1708–1 taulukko 2 esittää sille vaatimukset eri halkaisijasuhteista riippuen. Tämä on näkyvässä kuvassa 10.



Kuva 10. Yhteen liitos kahdella eri halkaisijasuhteella [15, s. 18, muokattu].

Kuvan 10 vasemmanpuoleisessa osassa näkyy kaksi eri kuvantoa istutuksesta: rungon akselin suuntainen ja kohtisuora poikkileikkaus. Oikeanpuoleisessa osassa on sama kuvanto toisintona.

2.2.3 Supistusten kuumamuovaus

Putkien taivutuksia ja muovauksia ohjeistaa standardi SFS-EN 13480–4 kohdassa 7. Nämä standardin mainitsevat muovauksen ohjeistukset koskevat kylmä- ja kuumamuovauksia. Putken seinämäpaksuus ei saa ohentua sallittujen arvojen alapuolelle muovauksesta johtuen. Muovauksen tasaisen profiilin varmistamiseksi on pidettävä huolta, että käytettävät työkalut ja laitteet ovat asianmukaisessa kunnossa. Epätasaisuudet, kuten lovet, vaikuttavat muovatun kappaleen keston ja jännitysarvoihin. [10, s. 10–12.]

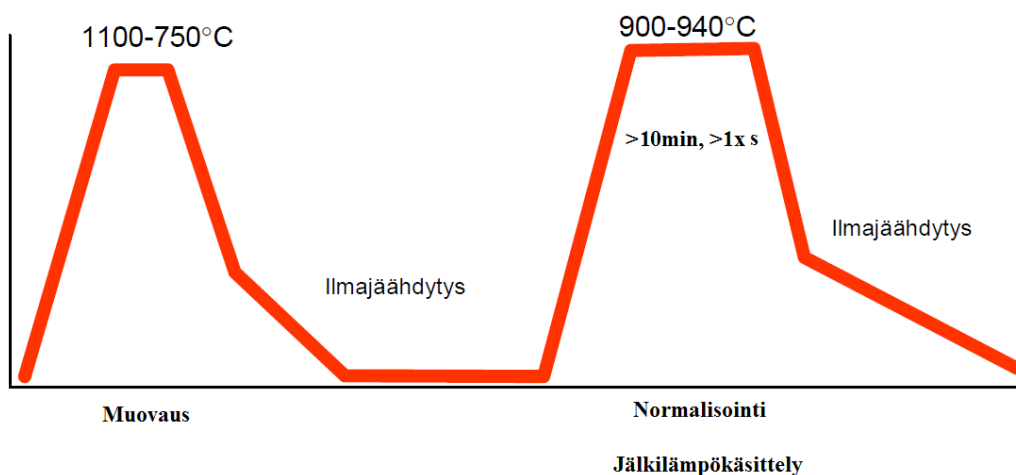
Muovauksen jälkeen kappale on lämpökäsiteltävä ottaen teräksen valmistajan suositukset ja materiaalistandardit huomioon. Muovattua kappaleen kohtaa ei saa hitsata, ellei sitä ole lämpökäsitelty muovauksen jälkeen. Lämpökäsittelyllä varmistetaan, että muovatun osan materiaalistandardin edellyttämät

ominaisuudet toteutuvat. Standardin vaatimien ominaisuuksien täytyminen on erityisesti tärkeää materiaaleille, joita tullaan käyttämään haastavissa olosuhteissa, kuten korkeissa tai alle nollapisteen lämpötiloissa. [10, s. 11, 14.]

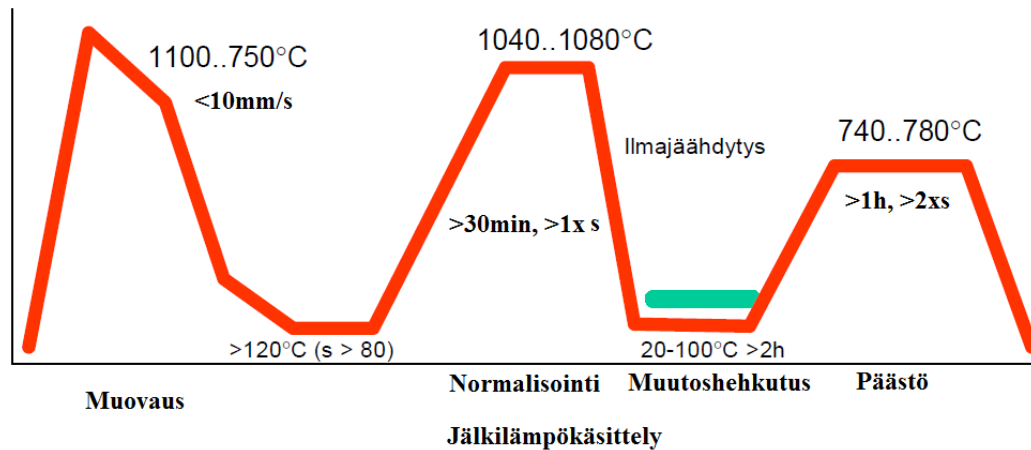
Putkiston osien taivutuksiin ja muovauksiin ja niiden lämpökäsittelyyn voidaan soveltaa lisäksi kattilasuunnittelun standardia SFS-EN 12952–5, joka erityisesti velvoittaa tarkastamaan ja testaamaan muovatut osat. Esimerkiksi austeniittisten materiaalien kuumamuovatut supistukset tulee lämpökäsitellä uudestaan materiaalispesifikaation mukaan. [16, s. 32.]

Standardin SFS-EN 12952–5 hyväksymät lämpökäsittelymenetelmät kuuma- ja kylmämuovauksille ovat normalisointi, normalisointi ja päästö, nuorutus ja liuotushehkutus. Standardi hyväksyy myös muita lämpökäsittelymenetelmiä, kunhan ne ovat aiemmin mainittujen menetelmien mukaisia ja valmiin osan materiaaliarvojen riittävydet voidaan todistaa testauksessa. Muovatulle osalle täytyy myös tehdä jälkilämpökäsittely, jos kyseistä osaa on hitsattu aiempien lämpökäsittelyiden jälkeen. Tavallisesti osat tulisi lämpökäsitellä kokonaisina riittävän kokoisessa uunissa, mutta esimerkiksi kehähitseille voidaan tehdä paikallinen lämpökäsittely. [16, s. 68, 74.]

Kuvissa 11 ja 12 nähdään jälkilämpökäsittelyprosessin erot materiaalien välillä. Kuvaajat eivät ole yleispäteviä kaikille materiaalipaksuuksille. [17.]



Kuva 11. Materiaalien P235GH ja 16Mo3 lämpökäsittely [17].



Kuva 12. Materiaalien X10CrMoVNb9-1, 10CrMo9-10 ja 13CrMo4-5 lämpökäsittely [17].

2.2.4 Seinämien kalibrointi

Kappaleiden päätyjen seinämille voidaan tehdä kalibroinnit, joilla saadaan liittyvien päätyjen seinämät yhtä paksuiksi ja täten osumaan kohdakkain päittäishit-sausta varten. Tätä päittäisliitosten kalibrointia ohjeistaa standardi DIN 2559–2, joka soveltuu käytettäväksi SFS-EN 10216–2 materiaalistandardin mukaisten putkien kanssa. Yhteensopivan halkaisijan arvon (matching diameter, d_p) laske-miseksi käytössä on kolme eri kaavaa [18, s. 5]:

$$1. d_p = D_{\text{minimi}} - 2 * t_p \quad (1)$$

$$2. d_p = 1,01 * d \quad (2)$$

$$3. d_p = 1,02 * d_{\text{min}} \quad (3)$$

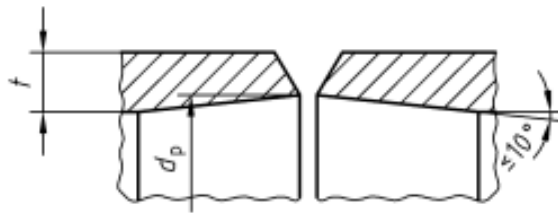
Ensimmäistä kaavaa käytetään ulkohalkaisijan perusteella laskettaessa ja kaksi viimeistä kaavaa sopivat laskuihin, joissa käytetään sisähalkaisijaa. Kaavojen symbolit:

D_{minimi} pienin sallittu ulkohalkaisija

t_p pienin sallittu seinämäpaksuus

d	sisähalkaisija
d_{\min}	minimi sisähalkaisija

Putken seinämän paksumpaa osuutta yleensä hyödynnetään vahvistavana osana esimerkiksi reikiä varten, kun taas putken pään liitoskohta ei välttämättä vaadi kovin paksua seinämää [19, s. 4]. Paksumpi seinämä myös vaatisi käytettävän enemmän koneistusta ja hitsausainetta liitoskohdan pinta-aloista johtuen. Yhteensopivien halkaisijoiden esimerkki näkyy standardin kuvassa 1 (kuva 13).



Kuva 13. Standardin DIN 2559–2 esitys yhteensopivista halkaisijoista (d_p) [18, s. 5].

Standardin kaavat on rakennettu siten, että yhteensopiva halkaisija (d_p) ei voi jäädä SFS-EN 10216–2 -standardin esittämien putkien pienimpien sallittujen seinämäpaksuuksien alle. Lisäksi standardissa on erikseen taulukoituna yhteensopivan halkaisijan laskukaavat eri DN-ko'ille (kuva 14). [18, s. 5–6.]

Dimensions in millimetres

Outside diameter D	Wall thickness t	Equation for matching diameter d_p	Number of equation
$D \leq 48,3$	$\leq 3,2$	$d_p = D - 0,5 - 2(t - 0,4)$	1
	$> 3,2$	$d_p = D - 0,5 - 1,75 t$	2
$48,3 < D \leq 219,1$	all wall thicknesses	$d_p = 0,99 D - 1,75 t$	3
$D > 219,1$	$\leq 0,025 D$	$d_p = 0,99 D - 1,6 t$	4
	$0,025 D < t \leq 0,05 D$	$d_p = 0,99 D - 1,7 t$	5
	$0,05 D < t \leq 0,1 D$	$d_p = 0,99 D - 1,75 t$	3
	$> 0,1 D$	$d_p = 0,99 D - 1,8 t$	6

Kuva 14. Kuvakaappaus DIN 2559–2 -standardin taulukosta yhteensopivan halkaisijan laskemiseksi [18, s. 6].

Kuvan 14 sisältämä DIN 2559–2 -standardin taulukko perustuu materiaalistandardin SFS-EN 10216–2 mainitsemiin putkiin ja niiden ominaisuuksiin.

Liitoskohdalle standardi suosittelee joko koneistamista tai lastuamatonta työstöä. Liitoskohdan ja siirtymien tulee olla mahdollisimman tasaisia ja pinnankarheuden raja-arvoiksi on asetettu $R_z \leq 100 \mu\text{m}$ ja $R_a \leq 12,5 \mu\text{m}$. Vain yhteensopi-valta halkaisijaltaan (d_p) samansuuruisia putkia voidaan yhdistää, sillä näissä on keskenään samat toleranssit, jotka on esitetty kuvassa 15. [18, s. 9.]

Dimensions in millimetres

d_p	Tolerance
≤ 120	0 -0,3
$120 < d_p \leq 320$	0 -0,5
> 320	0 -1,0

Kuva 15. Kuvakaappaus DIN 2559–2 -standardin taulukosta 1, joka koskee laskettujen yhteensopivan halkaisijan arvojen toleransseja [18, s. 6].

Tapauksissa, joissa liitettävillä osilla on eripaksuiset seinämät, myös lasketut yhteensopivan halkaisijan arvot tulevat eroamaan toisistaan. Tällöin käytetään suurempaa laskettua arvoa, tosin ottaen huomioon standardin määrittelemät kappaleiden pienimmät sallitut seinämäpaksuudet (t_p). [18, s. 9.]

2.3 Putkiston osien tarkastus ja loppudokumentaatio

Tarkastus ja loppudokumentaatio tehdään hitsauksen jälkeen. Tarkastuksen ja loppudokumentaation sisältö on määritetty standardissa SFS-EN 13480–5.

2.3.1 Aineenkoetukset

Muovatuille osille tulee tehdä joko rikkomaton (NDT = Non-Destructive Testing) tai rikkova aineenkoetus. Rikkomaton aineenkoetus voidaan tehdä

silmämääräisesti, seinämänpaksuuden mittauksella, mittojen ja toleranssien tarkistuksella, kovuuskokeilla tai pintatarkastuksella. Rikkomattomia aineenkoetuksia tehdään yleensä hitsausseamoille, koska niiden eheys on tarkoitus säilyttää, eikä testikappale välttämättä täysin vastaa käyttöön menevää kappaletta. Rikkovia aineenkoetuksia tulee tehdä jälkilämpökäsittelyille muovatuille osille lämpökäsittelyn vaikutuksien todentamiseksi. [9, s. 7–9.]

Rikkovia aineenkoetuksia tehdään yleisimmin muovatuille ja taivutetuille putkenosille. Rikkoviin aineenkoetukseen on sisällytettävä vetokoe huoneenlämmössä, iskukoe ja mahdolliset muut testit, jotka mainitaan eurooppalaisessa materiaalistandardissa testattavalle materiaalille. Rikkovaan aineenkoetukseen käytetään koepaloja rakenneosan loppupäästä tai rakenneosasta erillisiä paloja, jotka ovat olleet samanaikaisesti lämpökäsittelyuunissa. Testattujen kappaleiden tulee olla tietylle lämpökäsittelyerälle edustavia, joten niillä on oltava samat mitat, muovausarvot ja materiaalin sulatuserä. [9, s. 11.]

Hitsauksen osalta tarkastus alkaa hitsausasiakirjojen tarkastuksella, johon kuuluu hyväksytyt hitsausohjeet ja lista pätevoitetystä hitsaushenkilöstöstä. Ennen hitsausta jokainen railo on silmämääräisesti tarkastettava, ja tällöin tulee todentaa piirustuksen ja hitsausohjeen (WPS = welding procedure specification) sopivuus. Tässä tarkastuksessa tulee varmistaa, että käytössä on oikeat materiaalit, mitat ovat toleranssien sisällä, railo on puhdas, yhteen on oikein sovitettu putkeen ja silloitushitseissä (hefteissä) ei ole virheitä. [9, s. 11–12.]

Hitsauksen tarkastus jatkuu itse hitsauksen aikana sopivissa vaiheissa, jolloin varmistetaan, että hitsausohjetta seurataan tarkasti. Tähän kuuluu oikea esikuumennus, hitsausprosessi, hitsausaineet, puhdistus ja muut hitsausohjeen vaatimukset. Hitsauksen jälkeen tarkistetaan valmiin sauman ja piirustuksen vastavuus, saumojen yksilöinti ja jäljitettävyyden hitsaajaan sekä väliaikaisten kiinnikkeiden asianmukainen poisto. Myös mahdollisen hitsauksen jälkeisen lämpökäsittelyn pöytäkirjat on tarkastettava ja lisätutkimuksia tehtävä tilanteen mukaan. [9, s. 11–12.]

Hitsien tarkastukseen käytetään rikkomatonta aineenkoetusta (NDT), jolla varmistetaan hitsausseamien laatu ja täten saadaan varmistettua sauman kestävyys. Hitsausliitoksen rikkomattomassa aineenkoetuksessa tarkistettava alue ensiksi tarkastetaan silmämääräisesti. NDT tehdään aina lopuksi varsinkin vasta lämpökäsittelyn jälkeen. Havaitut hitsausvirheet tulee korjata standardin EN 13480–4 mukaan, jonka jälkeen samat saumat tarkistetaan uudelleen. Hitsausseamien laatu tarkastetaan satunnaistarkastuksella, jossa näytteiden täytyy olla jokaista hitsiryhmää edustavia. Hitsiryhmällä tarkoitetaan saman hitsaajan hitsaamia saumoja, jotka on tehty saman hitsausohjeen mukaan. [9, s. 12–13.]

Rikkomattomaan koetukseen valittava menetelmä ja sen laajuus valitaan kuvassa 16 näkyvän standardin taulukon mukaan, jossa huomioidaan testattavan kappaleen materiaaliryhmittely, putkistoluokka ja seinämänpaksuus. Standardin taulukko huomioi myös virumisen vaikutuksen putkistossa alahuomautuksen f) sisältämissä kohdissa. [9, s. 14.]

Materiaaliryhmä	Luokka	Kaikki hitsit	Kehähitsit			Yhdehitsit									
			Pintatarkastus		Volumetrisen tarkastus RT/UT %	Pintatarkastus			Volumetrinen tarkastus						
			e_n mm	MT/PT %		Yhteen halkaisija	e_n h mm	MT/PT %	Yhteen halkaisija	e_n h mm	RT/UT %				
1.1, 1.2, 8.1	I	100	0		5	Kaikki	0	Kaikki		0					
	II		(5)		(10)		(5)								
	III				10		10	> DN 100	> 15	10					
1.3, 1.4, 1.5, 2.1, 2.2, 4.1, 4.2, 5.1, 5.2, 8.2, 8.3, 9.1, 9.2, 9.3, 10.1, 10.2	I	100	≤ 30	5	10	Kaikki	10 (25)	Kaikki							
			> 30	10	10										
	II		≤ 30	5	10										
			> 30	10	10										
	III		≤ 30	5	10 25						Kaikki		> DN 100	> 15	10
			> 30	10	10 25										

Kuva 16. Kuvakaappaus standardin EN 13480–5 taulukosta hitsien testausmenetelmän ja -laajuuden valitsemiseksi [9, s. 15, muokattu].

Kuvassa 16 olevien tarkastusmenetelmien lyhenteet ovat kätevästi standardissa SFS-EN ISO 17635 taulukoituna (kuva 17).

Tarkastusmenetelmä	Lyhenne
Pyörrevirtatarkastus	ET
Magneettijauhetarkastus	MT
Tunkeumanestetarkastus	PT
Radiografinen tarkastus	RT
Ultraäänitarkastus	UT
Silmämääräinen tarkastus	VT

Kuva 17. Standardin SFS-EN ISO 17635 taulukon kuvakaappaus hitsien rikkomattomille aineenkoetuksille lyhenteineen [20, s. 7].

2.3.2 Painekoe

Kaikki standardin SFS-EN 13480–5 mukaan valmistetut putkistot täytyy koeponnistaa, jolla saadaan varmistettua kyseisen putkiston eheys. Painekokeet tehdään aina valvotuissa olosuhteissa asianmukaisten laitteiden avulla. Painekokeita voidaan suorittaa joko nesteisinä tai kaasuisina, mutta ensisijaisesti tulee käyttää nestepainekoetta. Kaasupainekoe tehdään vain, jos nestepainekoe todetaan haitalliseksi tai epäkäytännölliseksi testattavan putkiston kannalta. [9, s. 20, 24.]

Painekokeen tulokset on sisällytettävä koepöytäkirjaan, kuten myös kokeessa käytetty väliaine, jos se on muu kuin vesi. Lisäksi loppudokumentaation tulee sisältää suunnitteluun ja valmistukseen liittyvät asiakirjat ja ohjeet. Standardin taulukko 9.4–1 (kuva 18) esittää kaiken, mitä loppudokumentaation täytyy sisältää. [9, s. 24.]

2.3.3 Loppudokumentaatio

Dokumentaatiota täytyy kerätä siten, että putkiston suunnittelu ja valmistus on arvioitavissa SFS-EN 13480–5 -standardin ja hyväksytyyn suunnitelman perusteella. Myös käyttöohjeet on koottava käyttäjälle, jotta käyttäjällä on tarvittava tieto putkiston käyttöönottamisesta, käyttämisestä, kunnossapidosta ja tarkastuksista. Käyttöohjeiden tulee sisältää suunnittelutiedot ja päämitat sekä mahdolliset kaaviot, piirustukset ja dokumentit, jotka voivat helpottaa käyttöohjeiden

ymmärtämistä. Loppudokumentaatio on toimitettava ostajallekin, tosin siitä voidaan keskinäisellä sopimuksella toimittaa vain ostajan haluamat osat. Tarkastuksen loputtua valmistajan tulee antaa vakuutus valmistamansa putkiston standardin mukaisuudelle. [9, s. 25.]

Nro	Dokumentit	Luokka				Putkisto ≤ 0,5 bar
		III	II	I	0	
1	Putki- ja instrumentointikaavio (PI-kaavio)	x	x	x	x ^a	x ^a
2	Suunnittelu- ja käyttöarvojen yhteenveto	x	x	x	x ^a	x ^a
3	Putkiston sijoituspiirustukset ja kannakepiirustukset mitoituksineen (voi sisältää isometrisiä piirroksia, toteutuspiirustuksia, kohtakuvia, pohjapiirroksia)	x	x	x	x ^a	x ^a
4	Putkiston rakenneosien osaluettelot	x	x	x ^a	x ^a	-
5	Perusmateriaalien ja hitsauslisäaineiden aineodistukset tarvittaessa	x	x	x ^a	Ks. EN 13480-2	-
6	Dokumentit sekalaisille rakenneosille, kuten venttiileille tai turvalaitteille	x	x	x ^a	x ^a	x ^a
7	Hitsausdokumentit	x	x	x ^a	x ^a	-
8	NDT-dokumentit	x	x	x	-	-
9	Lämpökäsittelydokumentit	x	x	x	-	-
10	Painekokeiden tai korvaavien testien dokumentit	x	x	x	x ^a	-
11	Tunnistemerkin tiedot (ks. EN 13480-4:2017, kohta 11)	x	x	x	x	x ^a
12	Standardinmukaisuusvakuutus suunnittelulle	x	x	x	-	-
13	Vaatimustenmukaisuusvakuutus putkiston valmistukselle/asennukselle	x	x	x	-	-
14	Käyttöohjeet ^b	x	x	x	-	-
15	Muut soveltuvat käyttöohjeet ^b	-	-	-	x	-

"x" tarkoittaa, että asiakirja on oltava mukana loppudokumentaatiossa.

EU HUOM. Katso PED liite IV ja CEN/TR 13480-7:2017 taulukko A.2 EU-vaatimustenmukaisuusvakuutusta varten, joka on oltava saatavilla, jos putkisto kuuluu luokkiin I, II ja III ja se on saatettu markkinoille maassa, jossa PEDiä sovelletaan.

^a riippuu valmistajan päätöksestä

^b ellei sisälly laitoksen tai kokoonpanon käyttöohjeisiin

Kuva 18. Loppudokumentaation vaatimukset kuvakaappauksena standardista SFS-EN 13480-5 [9, s. 24–25].

2.3.4 Loppuarviointi

Putkistokokonaisuuden tarkastuksen päättää loppuarviointi ja dokumentointi, jonka valmistaja suorittaa todentaakseen, että kaikki vaatimukset ovat täyttyneet putkiston valmistuksessa. Lopputarkastus sisältää silmämääräisen tarkastuksen painekoetta ennen ja jälkeen, sekä valmistusdokumenttien tarkastuksen. Ennen painekoetta tehtävässä silmämääräisessä tarkastuksessa varmistetaan, ettei putkistolle ja sen osille ole tehty ulkopinnoitusta. Tämän tarkastuksen tulee

osoittaa, että putkistojärjestelmän suunnitteluvaatimukset täyttyvät mittojen ja suuntauksien osalta. [9, s. 19.]

Putkistojärjestelmä ja sen asennus täytyy osoittaa vastaavan SFS-EN 13480–5 -standardin vaatimuksia. Paineokeen jälkeen tulee todeta, ettei painekoe ole aiheuttanut putkistokokonaisuudelle mitään heikennyksiä. Tarkastuksen yhteydessä varmistetaan, että kaikki tilapäiset tuet ja mittarit on poistettu ja kaikki painekokeen ajaksi poistetut rakenneosat on asennettu uudelleen. [9, s. 19.]

3 Suunnittelustandardit

Suunnittelu tehdään aina standardien pohjalta, koska niiden avulla suunnitelmat täyttävät helpoiten Painelaitedirektiivin vaatimukset. Itse suunnittelua ohjataan standardeilla, kuten myös useita muita suunnittelun ohella tehtäviä päätöksiä. Näitä ovat esimerkiksi piirustus-, materiaali- ja valmistusstandardit. Samankaltaisia standardeja löytyy useilta eri standardoimisjärjestöiltä, kuten SFS, DIN ja ISO. Insinööryö tehdään yritykselle, jossa käytetään suomalaisia SFS-standardeja ja suunnittelun osalta ohjeistus tulee pääosin standardista SFS-EN 13480–3 Putkistot – suunnittelu ja laskenta.

3.1 Suunnittelun perusteet

Standardi SFS-EN 13480–3:n mukaan täytyy huomioida kaikki tilanteet kuten käyttö- ja koeolosuhteisiin, sekä esiasetus-, esijännitys-, huuhtelu- ja puhdistustilanteisiin. Tilanteissa, joissa kyseinen standardi ei esitä laskentamenetelmää, suunnittelijan on käytettävä muita yleisesti tunnustettuja ohjeita tai kokeellisia menetelmiä laskennan suorittamiseksi. Standardin SFS-EN 13480–3 sisältämät laskentamenetelmät perustuvat materiaalin kimmoisuuteen, vaikka joissakin rakenneosissa saattaa esiintyä plastista käytöstä. Kaatoja ja lauhdetaskuja tulee käyttää putkistoissa, joissa lauhtuminen on todennäköistä. [8, s. 7]

3.2 Suunnittelujännitykset

SFS-EN 13480-3 -standardissa käytetään SFS-EN 13480-2 -standardin luettelemia materiaalistandardeja suunnittelujännityksien laskemiseksi [8, s.16]. Mikäli materiaalia tai standardia ei ole lueteltu, kyseiselle materiaalille on laadittava erityisarviointi, PMA [13, s. 13].

On tapauksia, joissa valmistus tai lämpökäsittely johtaa materiaalistandardista poikkeaviin arvoihin. Tällöin valmistajan on joko hylättävä kappale tai laatia asiasta poikkeama. Poikkeava arvo voidaan vielä hyväksyä asiakkaan ja tarkastajan päätöksellä, jos poikkeama ei ole merkittävä. [21; 22, s. 28, 48.]

Alhaisissa lämpötiloissa (alle 10°C) käytettäville teräksille suunnittelujännitykset voidaan määrittää huoneenlämpötilan avulla. On kuitenkin ensin varmistettava, että materiaali on käytettävissä kyseisessä lämpötilassa SFS-EN 13480-2 liitteen B mukaan. Jos materiaalille ei ole tehty vetokoetta riittävän alhaisessa lämpötilassa, käyttö voi olla rajoitettu 0°C:n yläpuolelle. [8, s.16; 13.]

Virumislujuusarvot on huomioitava hitsattujen putkien ja putkenosien hitsien kohdalla. Laskuissa tulee käyttää näiden hitsien todennettuja laskenta-arvoja, jos ne vain ovat saatavilla. Muutoin laskuissa on käytettävä joko perusmateriaalin tai täytemateriaalin virumislujuusarvoa, joka pienennetään 20 %:lla. Näistä kahdesta laskentaan valitaan pienempi arvo. [8, s.18.]

Lujuusarvon määräytyminen riippuu lämpötilasta, materiaalistandardista ja lähtöaihion koosta. Kuumen tilan lisäksi kappaleen painekokeen kesto on joissain tapauksissa varmistettava. [21; 22; 23.] Suunnittelujännitykset on ohjeistettu standardin SFS-EN 13480-3 kohdassa 5.

3.3 Materiaalistandardit

Putkiston ja sen osien materiaalien vaatimukset esitetään standardissa SFS-EN 13480-2, joka on kirjoitettu koskemaan SFS-EN 13480-1 -standardin mukaisia teollisuusputkistoja. Standardi määrittää metallisten materiaalien valinnan,

tarkastuksen, merkinnän ja testauksen vaatimukset, jotta ne olisivat soveltuvia käytettäväksi teollisuusputkistoissa. Standardilla on sekä yleiset vaatimukset, että erikoisvaatimukset paineenalaisille putkistomateriaaleille. [13, s. 5.]

Materiaalin valinta tulee tehdä siten, että se soveltuu valmistusmenetelmiin ja olosuhteisiin. Olosuhteissa huomioidaan valmistuksen, kuljetuksen, testauksen ja käytön aikana tapahtuvat mahdolliset poikkeamat olosuhteissa. Standardin erikoisvaatimukset koskevat tilanteita, joissa valmistusmenetelmällä tai käyttöolosuhteilla voi olla vaikutusta materiaalin käytettävyyteen. Tämä vaikutus materiaaliin voi vaarantaa putkiston turvallisuuden tai lyhentää sen käyttöikää. Yleisimpiä haittavaikutuksia ovat esimerkiksi kylmämuovaus, lämpökäsittely ja korrosio. [13, s. 5, 9–11.]

Materiaalin sallittu käyttölämpötila perustuu standardin SFS-EN 13480–3 vaatimisiin materiaaliominaisuuksiin, joihin vaikuttaa kyseisen standardin määräämät suunnitteluarvot ja -lämpötila (T_R). Materiaalin valintaan vaikuttaa myös putkiston altistuminen virumiselle. Materiaalien käyttö on pääsääntöisesti kielletty virumisalueella, mutta se voidaan sallia, jos virumismurtolujuuden tai -rajan arvot on määritelty materiaalispesifikaatiossa. Tuotantokokeilla saadaan varmistettua, että valmistettavista materiaaleista on tulossa standardin mukaisia ja täten turvallisia. Näitä kokeita otetaan soveltuvin aikavälein tuotannon aikana ja niissä suoritetaan leikkaus-, veto-, taivutus- ja iskukokeita. [13, s. 12, 49.]

Standardin EN 13480–2 liitteessä D on taulukoitu kaikki eurooppalaiset standardit, jotka koskevat painelaiteteräksiä ja teräsosia. Kyseisen standardin vaatimukset ja rajoitukset materiaaleille perustuvat liitteen D taulukon materiaalistandardeihin, joissa materiaalien ominaisuudet on esitetty tarkemmin. Kuvista 19 ja 20 löytyy edellä mainittu liitteen D kokoelma painelaiteteräksiä koskevista eurooppalaisista standardeista. [13, s. 53.]

Tuotemuoto	Yleiset vaatimukset	Huoneenlämpötila-teräslajit ^a	Kuumalujat teräslajit
Levy ja nauha	EN 10028-1	-	EN 10028-2
Valssattu tanko	-	-	EN 10273
Saumaton putki	-	EN 10216-1	EN 10216-2
Kaarihitsattu putki	-	EN 10217-1	EN 10217-2
Jauhekaarihitsattu putki	-	EN 10217-1	EN 10217-5
Sulahitsattu putki	-	-	-
Putkenosa	-	EN 10253-2	EN 10253-2
Tae, mukaan lukien taotut tangot	EN 10222-1	-	EN 10222-2
Valukappale	EN 10213	-	EN 10213
Kiinnitinteräs	-	-	EN 10269
^a Huoneenlämpötilan arvot esitetään kaikissa tämän taulukon standardeissa.			

Kuva 19. Kuvakaappaus standardin EN 13480–2 liitteen D taulukosta D.1–1 koskien painelaiteteräksien standardeja [13, s. 53, muokattu].

Tuotemuoto	Hienoraeteräkset			Matalien käyttölämpötilojen lajit	Ruostumattomat teräkset
	Normalisoidut	Termomekaanisesti valssatut	Nuorrutetut		
Levy ja nauha	EN 10028-3	EN 10028-5	EN 10028-6	EN 10028-4	EN 10028-7
Valssattu tanko	-	-	-	-	EN 10272
Saumaton putki	EN 10216-3	-	EN 10216-3	EN 10216-4	EN 10216-5
Kaarihitsattu putki	EN 10217-3	-	-	EN 10217-4	-
Jauhekaarihitsattu putki	EN 10217-3	-	-	EN 10217-6	-
Sulahitsattu putki	-	-	-	-	EN 10217-7
Putkenosa	EN 10253-2	EN 10253-2	EN 10253-2	EN 10253-2	EN 10253-4
Tae, mukaan lukien taotut tangot	EN 10222-4	-	-	EN 10222-3	EN 10222-5
Valukappale	-	-	-	EN 10213	EN 10213
Kiinnitinteräs	-	-	-	EN 10269	EN 10269

Kuva 20. Kuvaa 19 jatkava kuvakaappaus standardin EN 13480–2 liitteen D taulukosta D.1–1 [13, s. 53, muokattu].

3.4 Laskentastandardi ja lujuuslaskenta

Putkisto suunnitellaan putkiluokkia hyödyntäen. Muotokappaleista sen sijaan tehdään erilliset laskelmat, ja niiden tietoja ei tuoda putkiluokkiin. Tyypilliset

haaroituskappaleeseen liittyvät komponentit ovat suora putki, haaroitus ja supistus. Seuraavat osiot käsittelevät muotokappaleen komponenttien laskentaperiaatteita yleistasolla.

3.4.1 Laskennassa huomioitavat kuormitukset

Paineen ja lämpötilan lisäksi putkistoon ja sen osiin vaikuttaa itse putkiston ja sisällön paino sekä sisällön dynaamiset vaikutukset. Putkistojärjestelmän painoon lasketaan putken, putkenosien, eristyksen, sisällön, venttiileiden ja liittyvien laitteiden painot. Näiden kuormitusten yhteisvaikutus on mahdollista tutkia joustavuusanalyysin keinoin ja varmistua putkiston riittävästä joustavuudesta laitteiden kuormitustasoon nähden. [8, s. 7–8.]

Normaalien käyttökuormien lisäksi muut putkistoon kohdistuvat kuormitustapaukset on tarkasteltava. Esimerkiksi koeponnistustilanteen väliaineen paino tai nestesisältöisen putken tyhjentyminen voivat aiheuttaa merkittäviä voimia. Sisällön dynaamiset vaikutukset on huomioitava suunnittelussa siten, että pyritään välttämään sisällön poikkeuksellisia dynaamisia vaikutuksia tai vähintään huomioidaan ne laskelmissa, jos niitä ei voida välttää. [8, s. 9–10.]

3.4.2 Lujuuslaskennassa huomioitavat kuormitustapaukset

Lujuuslaskennalla varmistetaan putkiston paineenkestävyys ja turvallisuus käyttöajan ajan. Laskelmilla varmistetaan sisäisen ja ulkoisen paineen kesto vallitsevissa lämpötiloissa. Putkiston ja sen osien lujuuslaskentaa ohjeistaa standardi EN 13480–3, jonka laskentaohjeita tulee käyttää sekä koe- että käyttöolosuhteissa. [8, s. 7.]

Putkiston käyttöpaine ja -lämpötila ovat aina alle suurimman sallitun paineen PS ja lämpötilan TS . Putkiston komponenttien mitoituksen perustana käytetään laskentapainetta p_c ja -lämpötilaa t_c . Valinnan yksinkertaistamiseksi tyyppillisesti valitaan lämpötilaksi TS ja paineeksi PS , jolloin mitoitetaan pahin ennakoitavissa oleva tilapiste. Mikäli korkeimman tilapisteen käyttöaika on hyvin lyhyt, se

voidaan huomioida sallittua jännitystä valittaessa ja mahdollisesti tehdä toinen laskelma yleisimmälle käyttötilanteelle [8, s. 8–9.]

3.4.3 Putken laskenta

Sisäisen paineen alaisen putken pienin vaadittu seinämäpaksuus e tulee laskea alla olevien kaavojen mukaan. Jos halkaisijasuhde $D_o/D_i \leq 1,7$: [8, s. 19.]

$$e = \frac{p_c \cdot D_o}{2 \cdot f \cdot z + p_c} \quad (4)$$

tai jos $D_o/D_i > 1,7$:

$$e = \frac{D_o}{2} \cdot \left(1 - \sqrt{\frac{f \cdot z - p_c}{f \cdot z + p_c}} \right) \quad (5)$$

Yhtälöiden symbolit:

p_c	laskentapaine
D_o	putken ulkohalkaisija
D_i	putken sisähalkaisija
f	suunnittelujännitys
z	liitoksen lujuuskerroin

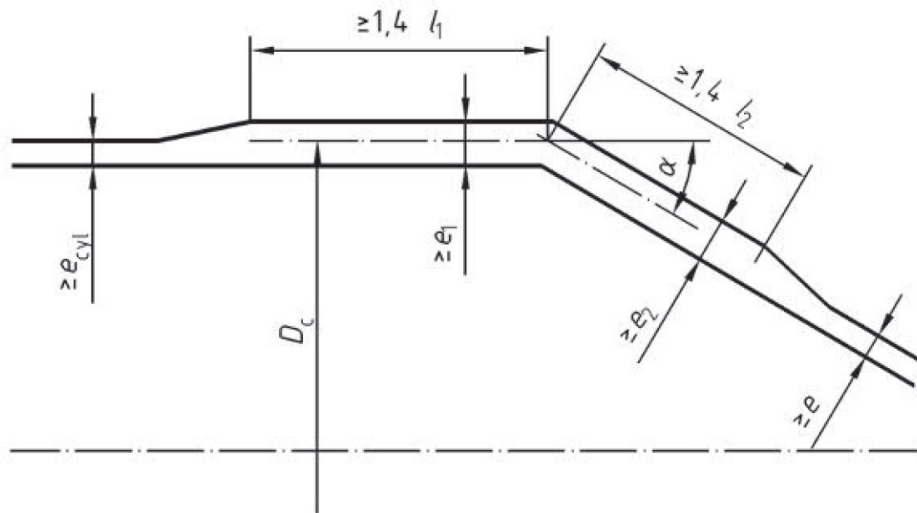
Yllä olevien laskelmien tuloksiin lisätään vielä toleranssi, korroosiovara ja ohememisvara, jotka käsitellään luvussa 3.4.6.

3.4.4 Kuumasupistuksen mitoitus

Kuumasupistamalla runkoputken päätä saadaan pienennettyä yhden tai useamman kokoluokan verran. Standardi SFS-EN 13480-3 ohjeistaa kartioiden suunnittelua, jota voidaan soveltaa kuumasupistuksiin.

Kartion ja lieriön välisessä liitoksessa seinämien keskilinjojen tulee kohdata, kuten kuva 21 osoittaa. Lieriön ja kartion sisä- ja ulkopintojen on myös liityttävä

toisiinsa jouhevasti. Tämä liitoshitsi on tarkistettava ainetta rikkomattomasti, poikkeuksena vain tapaukset, joissa hitsikohdan paksuus ylittää arvon $1,4e_j$ (e_j = kartion suuremman pään laskentapaksuus tai liitoskohdan vaadittu paksuus). [8, s. 23, 26.]



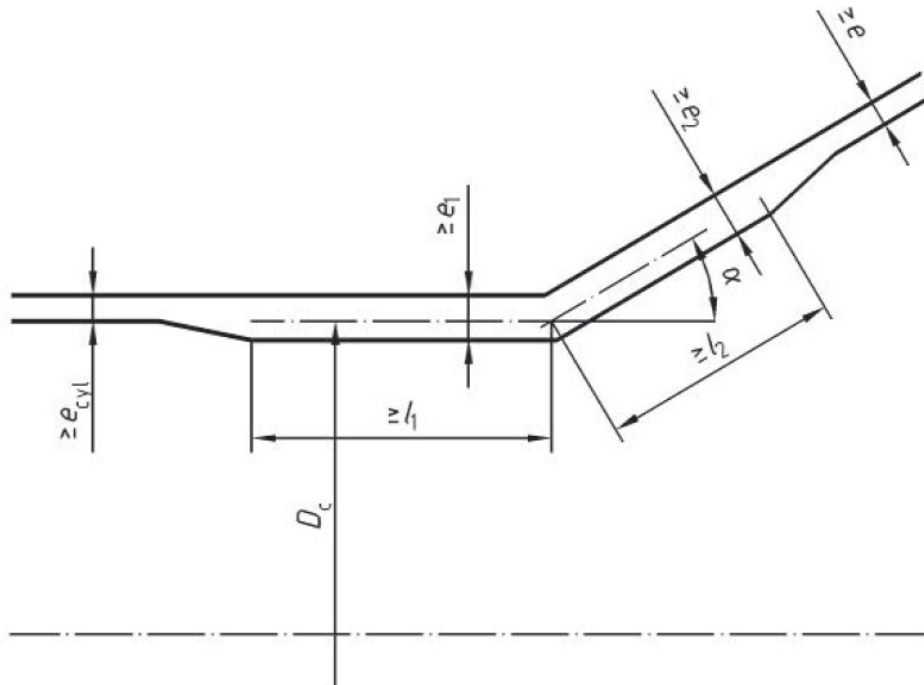
Kuva 21. Kartion ja lieriön liittäminen ilman taivepyöröstystä [8, s. 24].

Kuvassa 21 näkyvät symbolit tarkoittavat:

D_c	lieriön keskihalkaisija kartion liitoskohdassa
e_{cyl}	lieriön vaadittu paksuus
e_1	lieriön vaadittu paksuus liitoskohdassa
e_2	kartion ja taiveosan vaadittu paksuus liitoskohdassa

Kartion mitoituksessa käytetään lieriön ja kartion pituuksia (l_1 ja l_2) ja niiden suhdetta. Esimerkiksi kartion pituus voidaan pienentää lyhyemmäksi kuin $2l_2$, jos kartion ja taiveosan liitoskohdan paksuus e_2 jatkuu koko kartion pituudella, ja kartion pienemmän pään liitos on riittävästi mitoitettu. Lieriön ja kartion paksuuksien ei tarvitse aina olla jatkuvasti saman paksuisia koko kappaleelle. Kartion laskennassa voidaan esimerkiksi päätyä kasvattamaan kartion paksuutta liitoskohdan lähellä tai pienentämään paksuutta kauempana liitoskohdasta. Tällöin kartion materiaalin poikkipinta-alan tulee olla vähintään $1,4e_2l_2$ etäisyydellä $1,4l_2$. [8, s. 26–27.]

Kartion pienemmän pään ja lieriön liitokselle sovelletaan kuvan 22 ohjeistamia mittoja. Kuvasta huomataan, että lieriön ja kartion pituuksissa (l_1 ja l_2) ei käytetä 1,4-kerrointa kartion pienemmän pään mitoituksessa. [8, s. 30.]



Kuva 22. Kartion pienemmän pään ja lieriön liitoskohta [8, s.30].

Kartio-osan suurinta sallittua painetta laskettaessa käytetään seuraavaa kaavaa [8, s. 25]:

$$P_{\max} = \frac{2 \cdot f \cdot z \cdot e_{con} \cdot \cos \alpha}{D_m} \quad (6)$$

jossa aiemmin mainitsemattomat symbolit tarkoittavat:

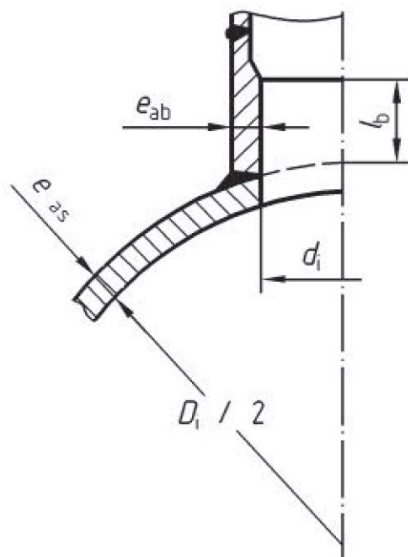
e_{con}	kartion vaadittu paksuus
D_m	kartion keskihalkaisija

Kyseistä kaavaa käytetään myös kartion vahvistavan osuuden suurimman sallitun paineen laskemiseksi sijoittamalla vahvistavan osuuden laskentapaksuus e_{2a} kaavassa kartion vaaditun paksuuden e_{con} tilalle. [8, s. 27–28.]

3.4.5 Haaroituksen laskenta

Haaroituksia voidaan tehdä esimerkiksi putkista, jolloin runkoputkeen porataan reikä, johon istutetaan yhde. Tätä sovelletaan varsinkin t-kappaleisiin. Reiän poraus heikentää putken rakennetta ja kestävyyttä, jonka vuoksi haaroituksille ja aukoille on tehtävä laskelmat, joilla varmistetaan putkenosan turvallisuus. Aukojen ja haaroitusten laskennalle on esitetty säännöt ja rajoitukset suunnitellustandardissa EN 13480–3.

Tämän insinööriyön tapauksessa käytetään vain pintaan hitsattuja haaroitusyhteitä, joiden esimerkki näkyy kuvassa 23.



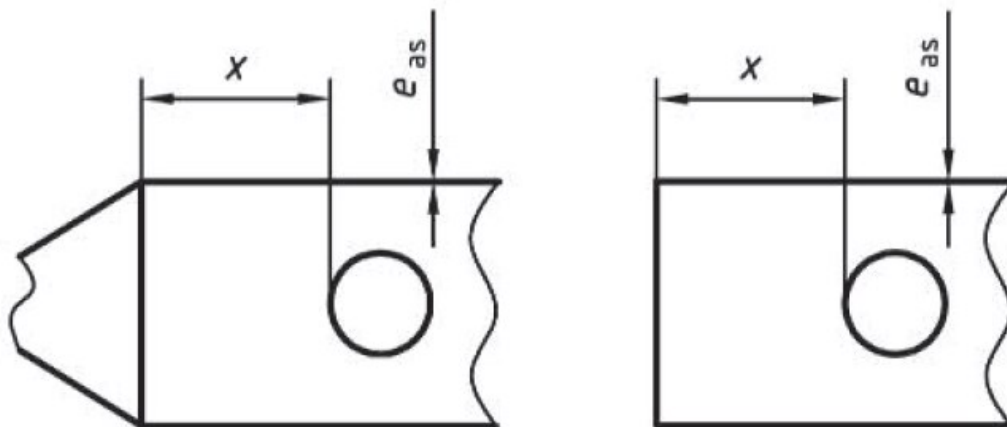
Kuva 23. Pintaan hitsatun haaroitusyhteen mitoitus [8, s. 65].

Kuvan 23 esittämät aiemmin mainitsemattomat mittojen symbolit tarkoittavat:

e_{ab}	haaran/yhteen seinämän laskentapaksuus
d_i	haaran/yhteen sisähalkaisija
l_b	haaran/yhteen vahvistavan osan pituus

Kuvan 23 haaroituksen yläosassa näkyy myös esimerkki luvussa 2.2.4 käsitellystä seinämän kalibroinnista.

Lieriön kuoressa olevalle aukolle on määritetty vähimmäisetäisyydet lieriön päästä tai esimerkiksi lieriössä kiinni olevaan kartioon (kuva 24). Kuvassa 24 symboli x tarkoittaa aukon reunan ja lieriön päädyn tai kartion välistä etäisyyttä ja e_{as} viittaa seinämän laskentapaksuuteen kuorelle. [8, s. 61–62.]



Kuva 24. Lieriökuoren aukon mitoitus [8, s. 62, muokattu].

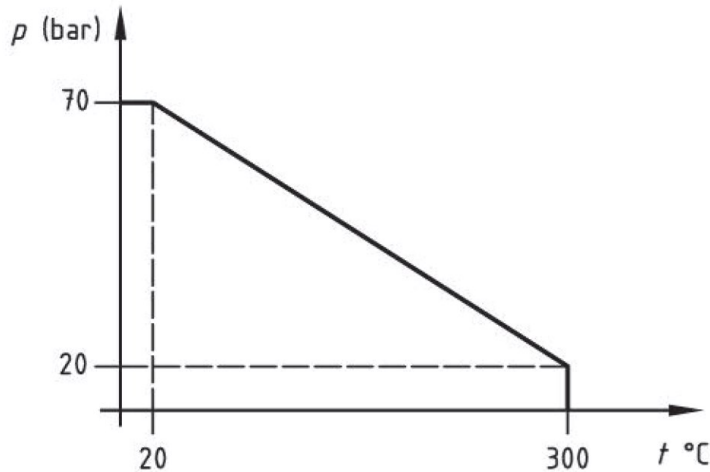
Lieriön kuorella voi olla useampia aukkoja ja haaroituksia, jotka tulee mitoittaa ja tarkastaa yksittäisinä aukkoina, jos niiden alla olevan kaavan mukainen keskipisteiden välinen etäisyys L_b toteutuu [8, s. 68].

$$L_b \geq \frac{d_1}{2} + \frac{d_2}{2} + 2l_s \quad (7)$$

Kaavan symbolit d_1 ja d_2 tarkoittavat aukkojen halkaisijoita tai yhteiden ulkohalkaisijoita. Symboli l_s puolestaan viittaa tässä tapauksessa kuoren vahvistavan osan pituuteen. [8, s. 68.]

Aukon tekeminen lieriö-, kartio- tai pallokuoreen vaatii standardin mukaisen vahvistuksen. Standardin ohjeistamat vahvistustavat ovat kuoren tai yhteen seinämepaksuuden kasvattaminen, vahvistuslevyjen hitsaaminen pintaan tai kaikkien näiden menetelmien yhdistelmä. Vahvistuslevyjen käytölle tosin on paine- ja lämpötilarajoitteita, jotka kuva 25 esittää. Kuvan 25 mukaan vahvistuslevyjen käyttö on kiellettyä, jos paine ylittää 70 baaria ja lämpötila 300°C. Vahvistuksen

pinta-alalle on aluksi asetettava oletusarvo, koska sitä ei voida laskea suoraan. Asetettu oletusarvo sitten tarkistetaan standardin määrittelemillä tapaukseen soveltuvilla menetelmillä ja laskuilla. [8, s. 63, 65.]

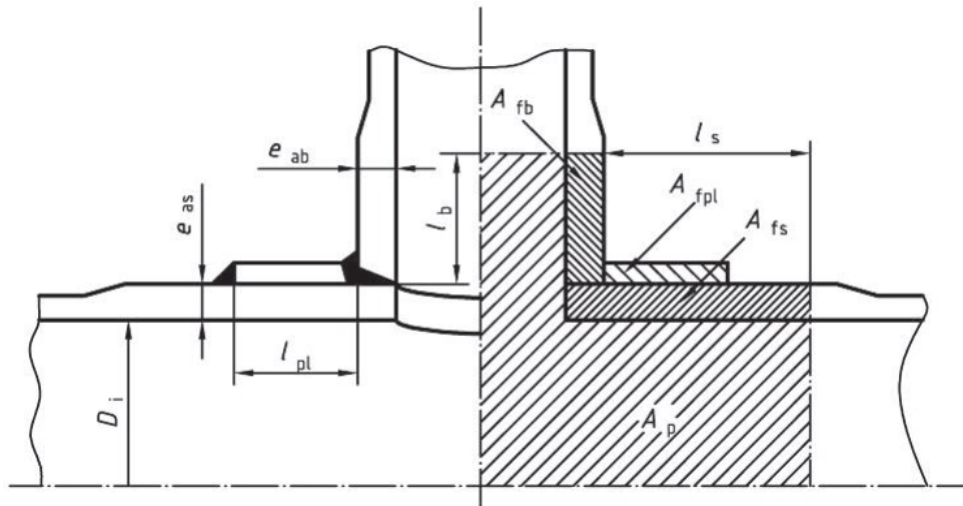


Kuva 25. Vahvistuslevyjien käytön paine- ja lämpötilarajat [8, s. 65].

Vahvistuksia on käytettävä, mikäli seuraava ehto ei täyty [8, s. 72]:

$$\left(f_s - \frac{p_c}{2}\right) A_{f_s} + \left(f_b - \frac{p_c}{2}\right) A_{f_b} + \left(f_{pl} - \frac{p_c}{2}\right) A_{f_{pl}} \geq p_c A_p \quad (8)$$

Aukon vahvistaminen voidaan saavuttaa seinämnpaksuutta kasvattamalla, jolloin kyseisen paksuuden on ulotuttava kuoren ja haaran vahvistavien osuuksien pituuksille (l_s ja l_b). Haaran vahvistava osuus l_b on hyvin näkyvissä kuvissa 23 ja 26. Kuva 26 esittää myös vahvistavat pinta-alat (symboleilla $A_{alaviite}$) ja vahvistuslevyjien käytön runko- ja haaraputken liitoskohdassa. [8, s. 70–72.]



Kuva 26. Runko- ja haaraputken vahvistavat pinta-alat [8, s. 72].

3.4.6 Ainepaksuus

Putkistolle ja sen osille on laskettava vähimmäispaksuudet huomioiden korroosion ja valmistusmenetelmän mahdolliset vaikutukset. Vähimmäispaksuuden määrittämiseen kuuluu korroosiovara c_0 , paksuustoleranssi c_1 ja oheneumisvara c_2 . Nämä esiintyvät kaavamuodossa: [8, s. 12–13]

$$e_{\text{ord}} \geq e + c_0 + c_1 + c_2 \quad (9)$$

tai

$$e_{\text{ord}} \geq \frac{(e + c_0 + c_2) \cdot 100}{(100 - x)} \quad (10)$$

joissa symbolit merkitsevät:

e	vähimmäispaksuus, jossa paksuuslisiä ja toleransseja ei huomioida
e_{ord}	tilattu ainepaksuus
c_0	erosio- tai korroosiovara
c_1	positiivinen toleranssi putkitoimittajalta
c_2	valmistuksen aikaisen oheneumisen oheneumisvara
x	toleranssin prosenttiosuus

Aiemmassa kaavassa toleranssi ilmoitetaan pituusyksikössä ja sitä sovelletaan yleensä putkenosien, kuten pyörötankojen, takeiden tai levyjen suunnitteluun. Jälkimmäisessä kaavassa taas toleranssi ilmoitetaan tilatun paksuuden e_{ord} prosenttiosuutena x ja sopii parhaiten käytettäväksi putkien suunnittelussa. [21; 22; 23; 24.]

Paineenkestoa tarkastettaessa käytetään analyysipaksuutta e_a , joka voidaan laskea alla olevilla tavoilla [8, s. 15]:

$$e_a = e_{ord} - c_0 - c_1 - c_2 \quad (11)$$

tai

$$e_a = e_{ord} \cdot \frac{(100 - x)}{100} - c_0 - c_2 \quad (12)$$

3.5 Piirustusstandardit

Teknisten piirustuksien tekoa ohjeistaa pääsääntöisesti standardiryhmän ISO 128 eri standardit. Teknisiä piirustuksia kuitenkin täsmentää useiden eri osaluokkien tuomat lisästandardit ISO 128 standardiryhmän ulkopuolelta. Standardi ISO 128–1 perehtyy piirustusten yleisiin esittämisperiaatteisiin ja asettaa niille perusvaatimukset. Näihin kuuluvat muun muassa, että piirustus on yksiselitteinen ja selkeä, oikeassa mittasuhteessa, kieliriippumaton ja standardinmukainen. Piirustuksen tulee olla myös täydellinen, millä tarkoitetaan piirustuksen sisältävän kaikki tarvittavat sen kuvaavan kappaleen valmistamista varten. [25, s. 10.]

3.5.1 Piirustuksen sisältö

Tekninen piirustus koostuu monista eri elementeistä, jotka saavat ohjeistuksensa useista standardeista. Näitä elementtejä ja niitä määrääviä standardeja ovat esimerkiksi arkin layout (ISO 5457), otsikkotaulu (ISO 7200), mitoitus (ISO 129), tekstaus (ISO 3098–0), osaluettelo (ISO 7573) ja tekijänoikeusilmoitukset

(ISO 16016). [25, s. 10.] Standardin ISO 7200 mukaisen otsikkotaulun on sisällettävä tunnisteiden ja hallinnolliset tietokentät. Alla olevissa kuvissa (kuvat 27 ja 28) on taulukoituna standardin vaatimat tunnisteiden ja hallinnolliset tietokentät, joista osa on valinnaisia. [26, s. 10.]

Alakohta	Kentän nimi	Kieliriippuvainen	Suosittelun merkkimäärä	Pakollisuus
5.1.2	Omistaja	–	Määrittelemätön	M
5.1.3	Tunnistenumero	Ei	16	M
5.1.4	Muutostunnus	Ei	2	O
5.1.5	Julkaisupäivämäärä	Ei	10	M
5.1.6	Lohkon/arkin numero	Ei	4	M
5.1.7	Lohkojen/arkkien lukumäärä	Ei	4	O
5.1.8	Kielikoodi	Ei	4/kieli	O

M Pakollinen.
O Valinnainen.

Kuva 27. Kuvakaappaus standardin ISO 7200 otsikkotaulun tunnisteiden tietokenttien taulukosta [26, s. 10].

Alakohta	Kentän nimi	Kieliriippuvuus	Suosittelun merkkimäärä	Pakollisuus
5.3.2	Vastuullinen osasto	Ei/kyllä ^a	10	O
5.3.3	Tekninen tuki	Ei/kyllä ^a	20	O
5.3.4	Hyväksyjä	Ei/kyllä ^a	20	M
5.3.5	Tekijä	Ei/kyllä ^a	20	M
5.3.6	Asiakirjatyypit	Kyllä	30	M
5.3.7	Luokitus/avainsanat	Ei/kyllä ^a	Määrittelemätön	O
5.3.8	Asiakirjan tila	Kyllä	20	O
5.3.9	Sivunumero	Ei	4	O
5.3.10	Sivumäärä	Ei	4	O
5.3.11	Arkkikoko	Ei	4	O

M Pakollinen.
O Valinnainen.

^a "Kyllä" tukemaan erityyppisiä aakkostoja.

Kuva 28. ISO 7200 standardin taulukon kuvakaappaus koskien otsikkoalueen hallinnollisia tietokenttiä [26, s. 14].

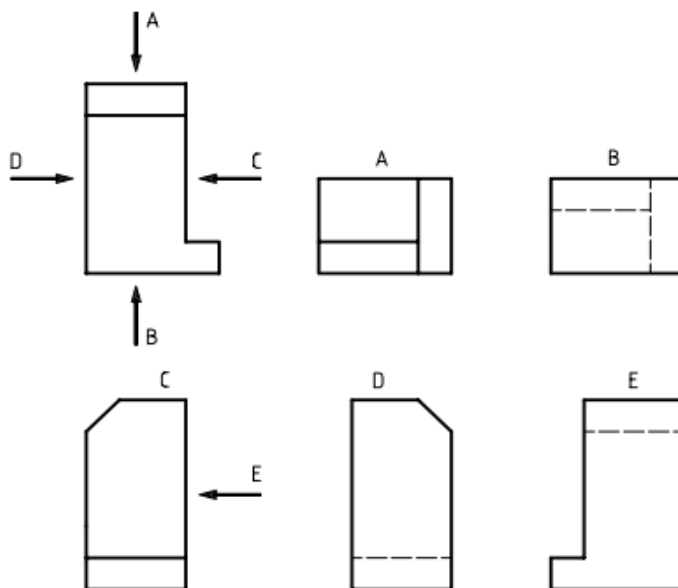
Itse piirustuksen arkkikoon määrittää standardi ISO 5457, jonka vaatimukset koskevat kaikkia teknisiä piirustuksia. Kyseisen standardin esittämät koot ovat A0–A4 ja piirustus tulee sovittaa pienimmälle mahdolliselle arkkikoolle, jolle se mahtuu ilman, että sen selkeys huononee. Arkin reunoilla täytyy olla

keskityksen merkit ja ruudukkokehys, jossa on aakkosmerkit piirustuksen koh-
tien tarkempaa paikantamista varten. [27, s. 1–4.]

Standardisarjan osat 20 ja 24 määrittävät teknisissä piirustuksissa käytettävät
viivatyypit ja -leveydet. Viivojen väreillä sekä tyyppien ja paksuuksien eroilla py-
ritään selkeyttämään piirustusta ja saamaan ne erottumaan selkeästi tulos-
teessa. [28, s. 6–9.] Standardi ISO 128–24 tuo esille suuremman valikoiman eri-
laisia viivatyyppejä, jonka lisäksi luettelee niiden tarkoitetut käyttökohteet ja vii-
testandardit. Kyseinen standardi myös taulukoi eri viivaryhmien sallitut viivan le-
veydet ja ohjeistaa ne valittaviksi piirustuksen koon, tyyppin ja mittakaavan mu-
kaan. [29, s. 8–12.]

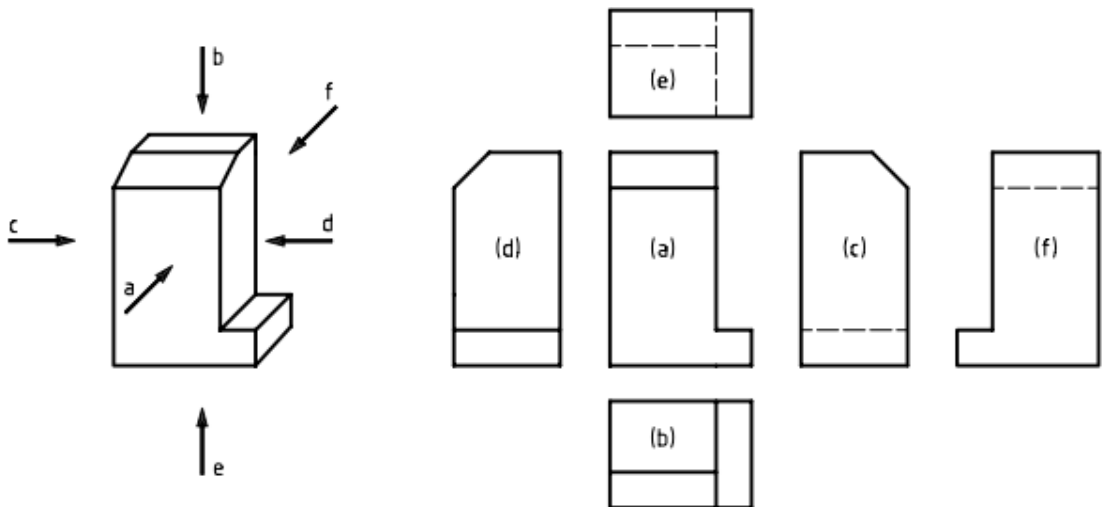
3.5.2 Kuvannot

Osasta tai kokoonpanosta voidaan piirustuksessa esittää eri kuvantoja havain-
nollistamaan kohdetta ja sen käyttö-, valmistus- tai kiinnitysasentoa selvemmin.
Kuvantojen katsontasuunnat merkitään suuraakkosia käyttäen ja suuntanuolen
kanssa, kuten standardin ISO 128–30 esimerkkikuva osoittaa (kuva 29). [30, s.
8.]

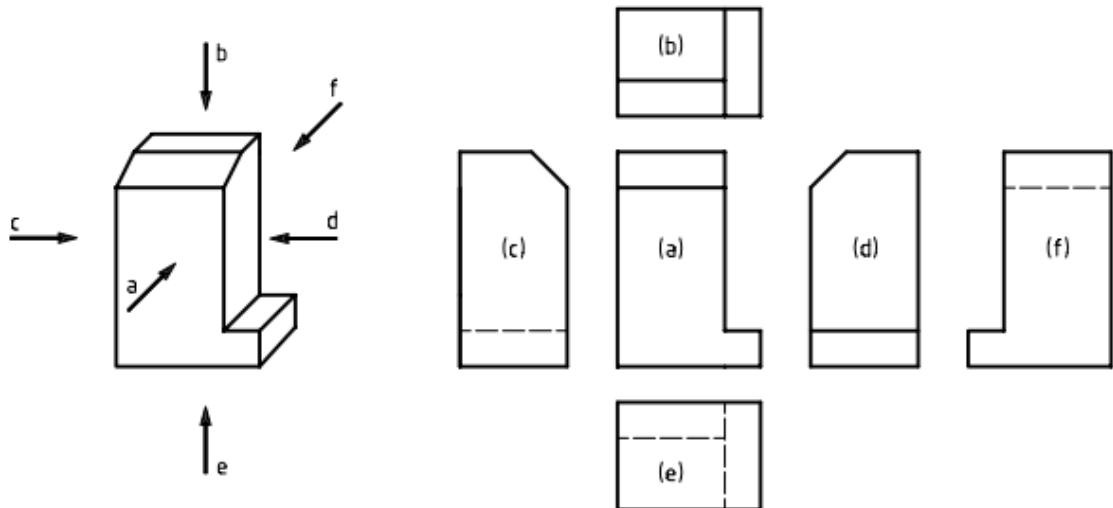


Kuva 29. Kuvantojen esittäminen ja merkitseminen ISO 128–30 -standardin oh-
jeistamana [30, s. 10].

Kohteen kuvantojen valinnassa tulisi huomioida, että piirustus säilyy yksiselitteisenä ja selkeänä. Tähän voidaan vaikuttaa esimerkiksi kuvantojen määrän pitämisenä maltillisena sekä näkymättömien muotoviivojen, reunojen ja yksityiskoh-
tien toiston välttämiseksi. Symmetrisissä kohteissa voidaan hyödyntää osaku-
vantoa, jossa symmetrisyys osoitetaan symmetriaviivoilla ja piirretään kohteesta
vain tarvittava osa. Standardi määrää kuvannoissa käytettäväksi joko yhden tai
kolmen käännön projektiomenetelmää, jonka ohjeistukset ovat kuvissa 30 ja 31.
[30, s. 10–16.]



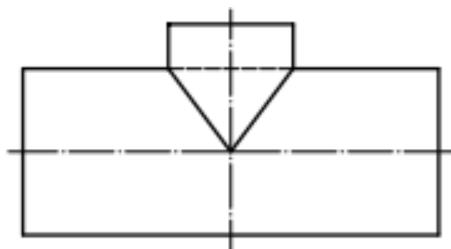
Kuva 30. Yhden käännön projektiomenetelmä ISO 128–30 -standardista [30, s. 14].



Kuva 31. Kolmen käännön projektiomenetelmä ISO 128–30 -standardista [30, s. 16].

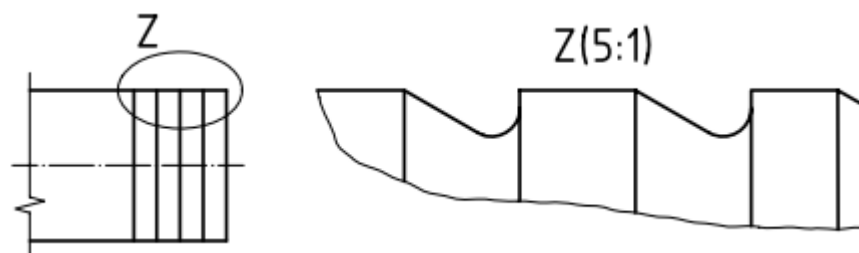
Kuvantojen esittämisen sääntöjä täsmentää standardi sarjan ISO 128 osa 34, joka huomioi standardien ISO 5456–2 ja ISO 6428 vaatimukset. Standardi ISO 128–34 keskittyy erityisesti paikalliskuvantojen, pintojen yhtymäkohtien ja osasuurennosten esittämiseen.

Paikalliskuvantoihin tulee käyttää kolmen käännön menetelmää riippumatta siitä, mitä muita menetelmiä piirustuksessa on käytetty. Pintojen yhtymäkohdissa näkyvät kohdat piirretään leveällä viivalla, kun taas näkymättömät kohdat kapealla katkoviivalla. Standardi sallii yksinkertaistetun esityksen kahden lieriön yhtymäkohdalle suoria viivoja käyttäen (kuva 32), mutta tätä tulee välttää, jos sen epäillään vaikuttavan piirustuksen selkeyteen ja ymmärrettävyyteen. [31, s. 6–14.]



Kuva 32. Kahden lieriön yhtymäkohdan yksinkertaistettu esitys suoria viivoja käyttäen [31, s. 14].

Osien tai kokoonpanojen yksityiskohtia voidaan tarkemmin esittää osasuurennoksia hyödyntämällä. Tällöin tarkennettava kohta kehystetään tai ympyröidään kapealla ehyellä viivalla ja merkitään isolla kirjaimella. Kehystetyn alueen yksityiskohdat suurennetaan alkuperäisen kuvannon viereen ja merkitään oikealla tunnuskirjaimella ja suurennoksen mittakaavalla, kuten standardin esimerkkikuvassa ohjeistetaan (kuva 33). [31, s. 18.]



Kuva 33. Standardin ISO 128–34 ohje oikeasta osasuurennoksen esityksestä [31, s. 18].

3.5.3 Mitoitus

Piirustusten mittojen ja niiden toleranssien esittämisperiaatteet esitetään standardissa ISO 129–1, jotka soveltuvat kaikkiin teknisiin 2D-piirustuksiin. Nämä esittämisperiaatteet ovat sovellettavissa myös osien ja kokoonpanojen 3D-esityksiin.

Mittoja ei tule merkitä piirustukseen ylenpalttisesti, sillä vain nimellisgeometrian mitat ovat riittävät. Mittojen toistoa tulee välttää, mutta silloin kun mittojen toistoja käytetään, ne tulisi asettaa apumitoiksi. Mittojen ja mittaviivojen tulee olla piirrettynä samaan mittakaavaan kuin piirustuksessa on käytetty. Poikkeustapauksissa väärässä mittakaavassa olevat mittaluvut alleviivataan, jos ne todetaan sallituiksi. Mittojen sijoittelussa tulee huomioida, että mitoitettava kohde pysyy selkeästi näkyvissä. [32, s. 9–10.]

Mittaviivoja on käytettävä pituus- ja kulmamitoissa ja esitettävä ehyellä kapealla viivalla, jonka standardi ISO 128–20 on määrittänyt. Myös mitta-apuviivat esitetään edellä mainitun standardin mukaisesti ehyellä kapealla viivalla. Mittaviivat

voidaan sijoitella piirustukseen joko yhdensuuntaisena, ketju- tai jatkuvana mitoituksena. Näitä mitoitussasetteluja voidaan myös yhdistää keskenään. [32, s. 14, 19, 51.]

Piirretty kohde vaatii muitakin määrittelyjä kuin pelkät mitat. Täydellinen määrittely vaatii mittojen lisäksi esimerkiksi geometriset toleranssit, yleistoleranssit tai pinnan ominaisuusvaatimukset. [32, s. 9.]

4 Työn toteutus

Aikaisemmin haaroituskappalepiirustuksia tehtiin puoliautomaattisesti Vertex-ohjelmaa käyttäen. Kyseisen ohjelman haasteeksi osoittautui Vertexin erillisohjelman lähdekoodin ja osaavan henkilöstön puuttuminen. Korvaavaksi vaihtoehdoksi valikoitui SolidWorks, joka on tällä hetkellä yleisimmin opetettu ohjelmisto.

4.1 SolidWorks

SolidWorks on Dassault Systèmesin omistama 3D-mallinnusohjelma, joka nykyään pohjautuu 3DEXperience-sovellusalustaan. 3DEXperiencen päätavoitteena on luoda yrityksille pilvipohjainen tuotteiden ja prosessien kehitysjärjestelmä, joka yhdistää tietojenkeruun ja -jaon sekä simulaation ja mallinnuksen. Näin ollen eri osastot pystyvät saumattomammin keskustelemaan keskenään ja pysymään omassa tuotekehityksessään ajan tasalla. [33.]

4.1.1 SolidWorks yleisesti

SolidWorks-ohjelman on kehittänyt Jon Hirschtick tiimeineen vuonna 1995. Ohjelman tarkoitus oli olla helppokäyttöinen ja edullinen kilpailijoihin verrattuna sekä pohjautua Windows-käyttöjärjestelmään. Myös ohjelman mallien visualisointi oli omaa luokkaansa verrattuna kilpailijoiden rautalankamalleihin. Jo alkuperäisessä versiossa pystyi rakentamaan osia ja kokoonpanoja ja tekemään niistä piirustuksia. Dassault Systèmes osti SolidWorksin vuonna 2001 ja alkoi heti lisätä ohjelmaan simulointiominaisuuksia. Myöhemmin SolidWorksiin on

myös sisällytetty eri käyttötarkoituksiin soveltuvia lisäosia/sovelluslaajennoksia, kuten DriveWorksXpress. [34.]

SolidWorks mahdollistaa 2D- ja 3D CAD -suunnittelun, joita voidaan hyödyntää useilla eri teollisuudenaloilla. SolidWorks soveltuu parhaiten kappaleiden ja kokoonpanojen mallintamiseen ja simulointiin. Useasti SolidWorksin käyttö optimoidaan yhdistämällä sen 2D CAD -ohjelma DraftSight piirustuksien ja P&I-diagrammien tekoon ja 3D-mallinnus suoritetaan itse SolidWorksillä. [35.]

4.1.2 DriveWorksXpress-lisäosa

DriveWorks-ohjelma on SolidWorksiin rakennettu automatisointityökalu erityisesti tuotantoa varten. DriveWorksin on kehittänyt Glen Smith ja Maria Sarkar vuonna 2001, ja ohjelmisto on jo kehittynyt kolmeen eri versioon: DriveWorksXpress, DriveWorks Solo ja DriveWorks Pro. DriveWorksin eri versioita hyödynnetään mallien automatisoinneissa ja konfiguroinneissa, prosessien automatisoinnissa ja myyntikonfiguraattori-ohjelmistona (CPQ). [36.]

Tässä työssä käytettiin SolidWorksiin sisältyvää ilmaista DriveWorksXpress-versiota. DriveWorksXpress ei sisällä yhtä paljon ominaisuuksia kuin sen maksulliset versiot, mutta tässä työssä pärjättiin hyvin perusversiolla. Maksulliset versiot tarjoavat selkeämpää ja helpompaa käyttöliittymää ja muokkausmahdollisuuksia loppukäyttäjille. Tässä työssä rakennettu versio on täysin yrityksen sisäinen eikä ole tulossa monien henkilöiden käyttöön, joten sen helppouteen loppukäyttäjälle ei panostettu.

4.2 Osien mallinnus SolidWorksillä

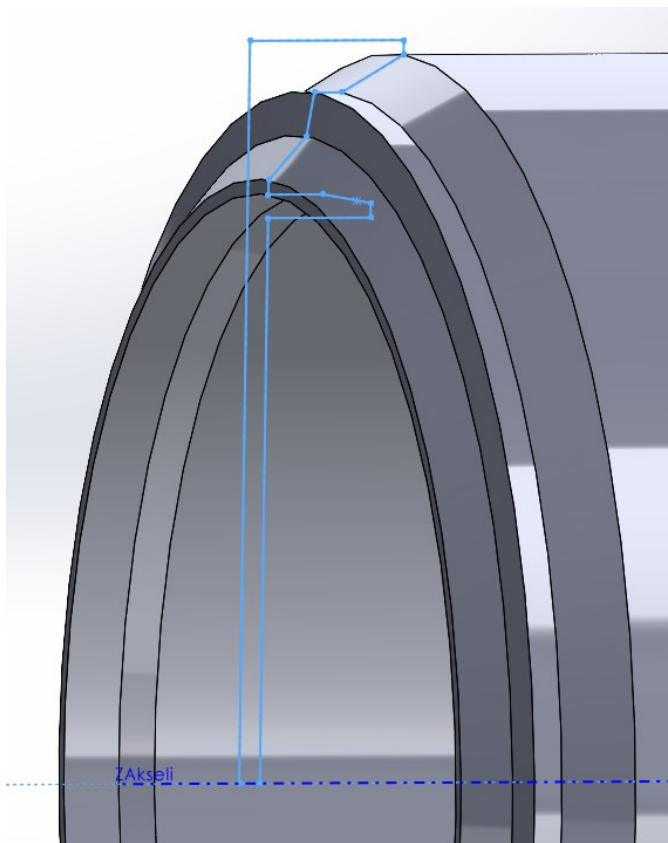
Työ toteutettiin mallintamalla haaroituskappale SolidWorks-ohjelmalla, joka sitten asetettiin muokattavaksi SolidWorksin omalla automaatio-ohjelmalla nimeltä DriveWorksXpress. Työ keskittyi t-malliseen haaroituskappaleeseen, joka koostuu runko-osasta ja siihen liitettävästä yhteestä. Haaroituskappaleen runkoon täytyi mahdollistaa supistusten lisäys tarvittaessa.

Kaikki luonnokset (sketch) täytyi piirtää standardien esittämien vaatimusten mukaan siten, että käyttäjän antamat arvot pitävät kappaleen standardien mukaisena. Tämä tarkoitti sitä, että esimerkiksi hitsausrailojen täytyi koostua standardin määrittämistä dimensioista, ja railon kulmien ja pituuksien kuului olla muokattavissa. Tosin standardin asettamat raja-arvot tuli huomioida.

T-kappaleen mallinnus koostui neljästä eri osasta, joista muodostettiin kokoonpano. Osat olivat runkoputki, yhde ja molempien päiden supistukset. Todellisuudessa supistukset tehtäisiin runkoputkea kuumamuovaamalla, jolloin vältetään hitsausaumojen tekemiseltä. Saumat olisivat tällöin muotokappaleen heikkoja kohtia. Mallinnuksessa kuitenkin supistukset ja runkoputki käsiteltiin eri osina, koska täten saatiin helpotettua eri konfiguraatioiden muodostamista, sekä osien mallinnusten luonnokset pysyivät yksinkertaisempina.

4.2.1 Runkoputken mallinnus

Runkoputki oli kokoonpanon yksinkertaisin osa. Sen mallintaminen alkoi pursottamalla lieriö, jonka päätyihin lopuksi tehtiin viisteet. Viisteet toteutettiin runkoputkea leikkaamalla käyttäen Revolved cut -toimintoa. Viisteen pohjaluonnos on näkyvässä kuvassa 34, jossa nähdään itse viisteen lisäksi päädyn ulko- ja sisäkalibroinnit. Viisteen luonnos ottaa huomioon standardin vaatimat viisteen dimensiot, kuten juuripinnan ja suorien osuuksien pituudet.

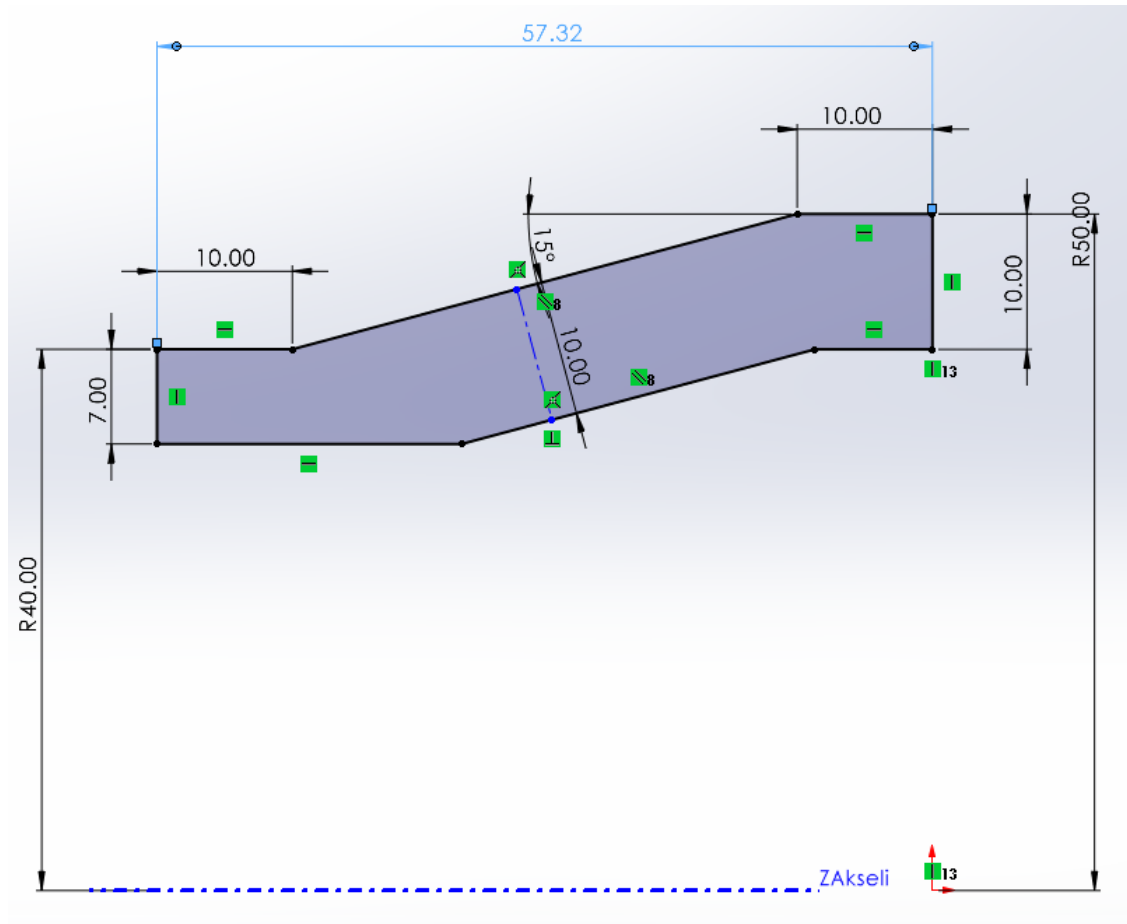


Kuva 34. Näkymä runkoputken päästä, jossa esillä viisteen ja kalibroinnin leikkausluonnos.

Rungon luonnokseen ei kannattanut suoraan sisällyttää mahdollisuutta supistaa runkoputken päitä, koska tämä olisi tehnyt luonnoksesta liian monimutkaisen. Supistuksiin olisi silloinkin täytynyt mallintaa hitsausviisteet ja kalibroinnit. Tällöin mahdollisuudet luonnoksen rikkoutumiseen olisivat kasvaneet huomattavasti, ja koko haaroituskappaleen malli ei olisi pystynyt toteutumaan.

4.2.2 Kartioiden mallinnus

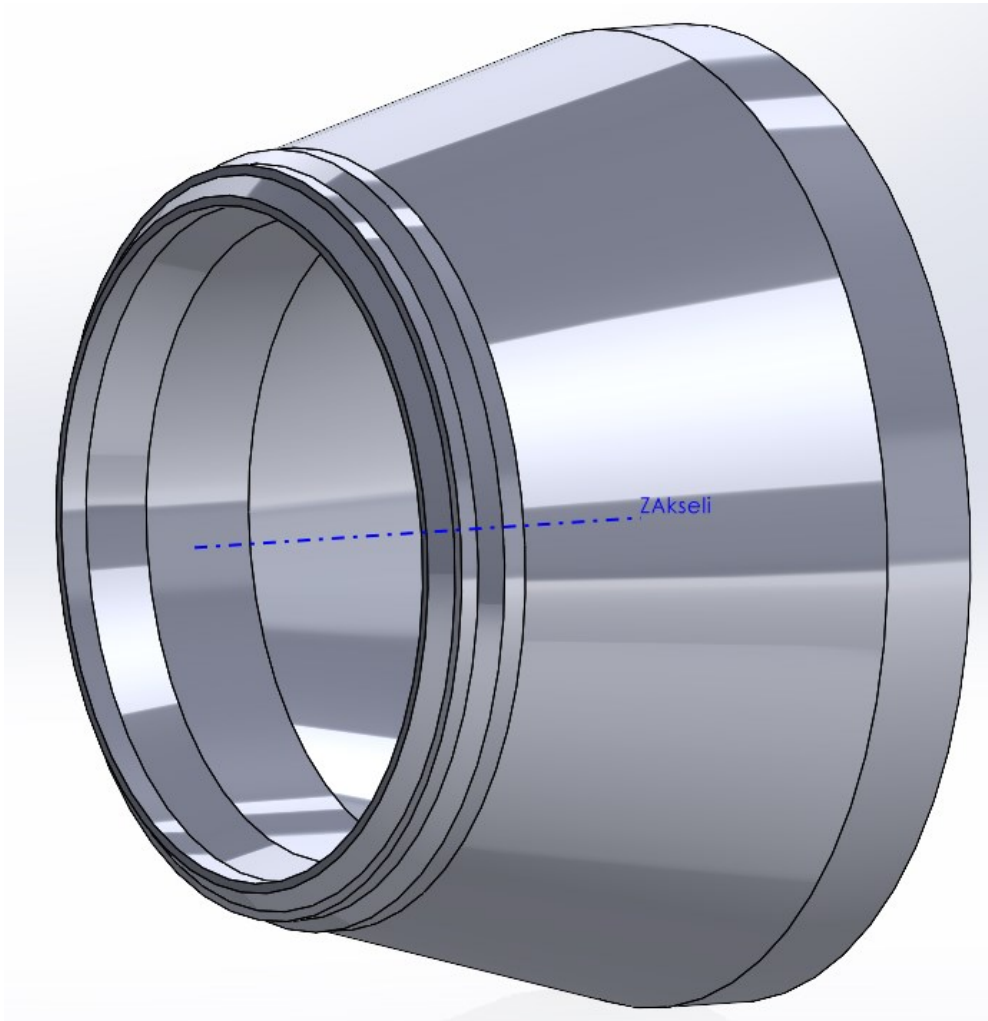
Kartioiden mallinnus aloitettiin piirtämällä seinämän muoto perustaksi, joka sitten pursotettiin Revolved boss/base -komennolla osan keskiakselin ympäri. Kuvassa 35 nähdään mallinnetun kartion seinämän muoto suoran osuksineen, sekä osan keskiakseliksi piirretty apuviiva nimellä "ZAkseli". Kartion sisä- ja ulkohalkaisijat mitoitettiin keskiakselin suhteen.



Kuva 35. Mallinnetun kartion luonnos.

Kuvasta 35 nähdään kartion molemmissa päissä olevat 10 mm:n pituiset suorien osuudet. Nämä täytyi mitoittaa, että luonnos saatiin täysin määrätyksi, ja täten kartion pituus tulee riippumaan kartion kulmasta ja sen pienemmän ja suuremman pään välisestä suhteesta.

Pursotuksen jälkeen kartion päädylle täytyi tehdä samanlainen luonnos viisteelle ja kalibroinneille, kuten runkoputken kohdalla. Valmis kartion 3D-malli näkyy kuvassa 36, josta huomataan kuvan 35 mukaisen luonnoksen pursotus osan keskiakselin ympäri. Kokoonpanoa varten tarvitsi mallintaa vain yksi kartio, josta luotiin kopio. Täten kokoonpanossa oli käytössä kaksi kartiota, joita voitiin erikseen muokata.



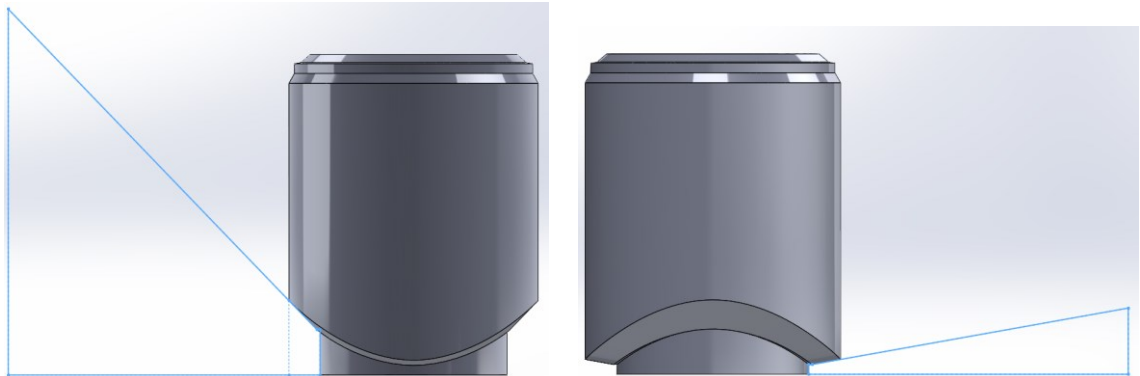
Kuva 36. Mallinnettu kartio päädyn kalibrointien ja viisteen kanssa.

4.2.3 Yhteen mallinnus

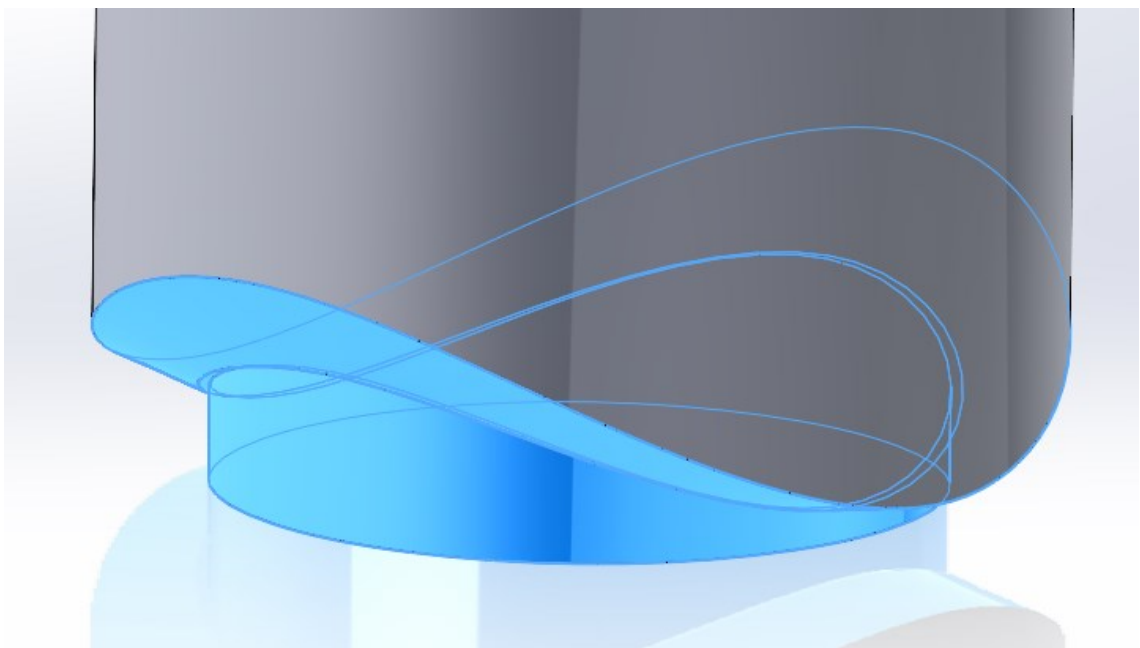
Yhde oli mallinnuksen näkökulmasta monimutkaisin, koska osan täytyi sisältää päädyn hitsausviiste ja kalibroinnit, sekä runkopuolen satulapinnan muotoinen hitsausviiste. Itse yhde pursotettiin yksinkertaisesti lieriön muotoon, johon edellä mainitut viisteet leikattiin. Yhteen päädyn hitsausviiste ja kalibroinnit tehtiin samalla tavalla kuin aiemmin runkoputkelle ja kartiolle.

Satulapinnan hitsausviiste oli monimutkainen sen vaihtelevasta viisteenkulmasta johtuen. Vaihtelevalla kulmalla oleva viiste toteutettiin Lofted cut -komennolla, joka vaatii useamman eri luonnoksen, jonka perusteella komento leikkaa

haluttua kappaletta. Satulapinnan luonnokset ottavat huomioon viisteen juuripinnan ja ilmaraon. Satulapinnan viisteiden luonnokset näkyvät kuvassa 37 ja Lofted cut -komennon lopputulos kuvassa 38.



Kuva 37. Mallinäkömät yhteen satulapinnan hitsausviisteen luonnoksista Lofted cut-toimintoa varten.



Kuva 38. Yhteen satulapinnan hitsausviiste Lofted cut -toiminnolla toteutettuna.

Mallissa yhteen satulapinnan viisteeseen jätetään suora alaosa (paksuudeltaan 0,001 mm), koska mallinnusohjelman leikkaustoiminto ei suostu leikkaamaan tätä kohtaa kokonaan pois. Kuvassa 39 näkyy oikeita koneistettuja yhteitä,

joiden satulapinnassa ei näy samanlaista suoraa osuutta kuin mallinnetussa kappaleessa. Mallissa suoran osuuden jättäminen tosin helpottaa yhteen kohdistamista ja liittämistä runkoputkeen tehtyyn reikään.



Kuva 39. Pajan valmistamia haaroitusyhteitä koneistettuine viisteineen.

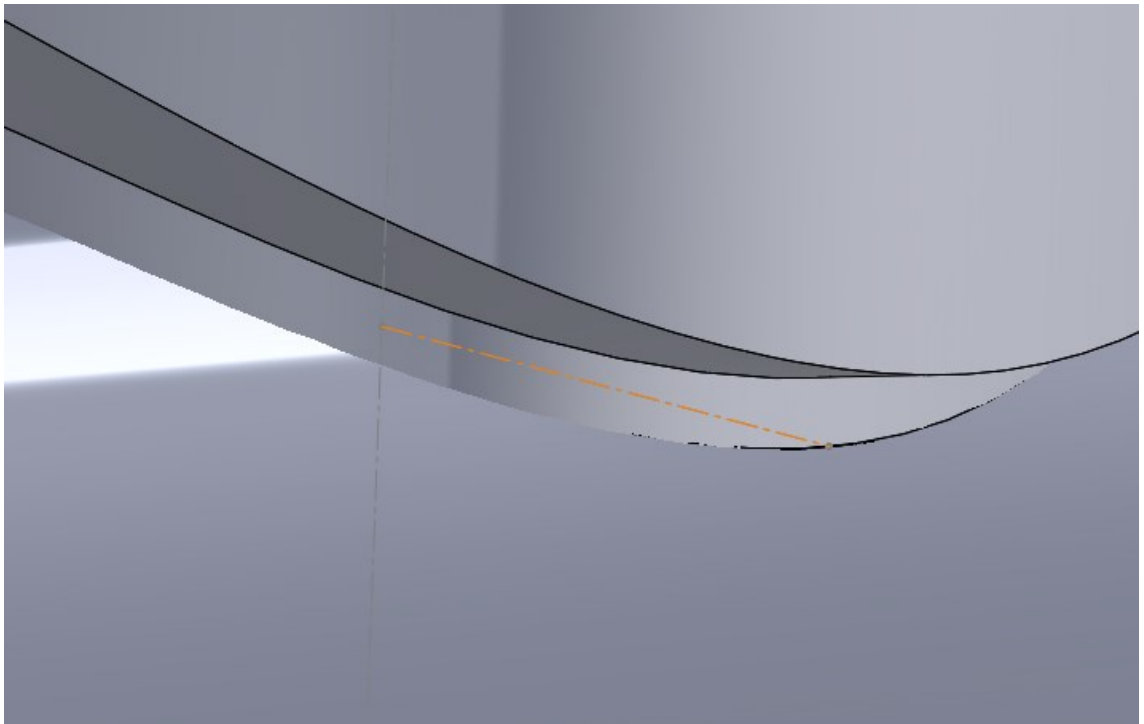
4.2.4 Kokoonpano

Yhteen kohdistaminen runkoputkeen tehtiin keskiakseleiden avulla. Nämä keskiakselit yhdistettiin toisiinsa apuviivaa hyödyntäen, mikä myös mahdollisti mittan asettamisen yhteen etäisyydelle runkoputken päästä. Tämän avulla yhteen voi asettaa haluamalleen paikalle runkoputkessa.

Yhteen ja runkoputken liitosta varten täytyi tehdä runkoputkeen reikä, jonka halkaisija vastaa yhteen sisähalkaisijaa. Tästä johtuen halkaisijat asetettiin vastamaan toisiansa käyttämällä DriveWorksin mittoihin liittyvää

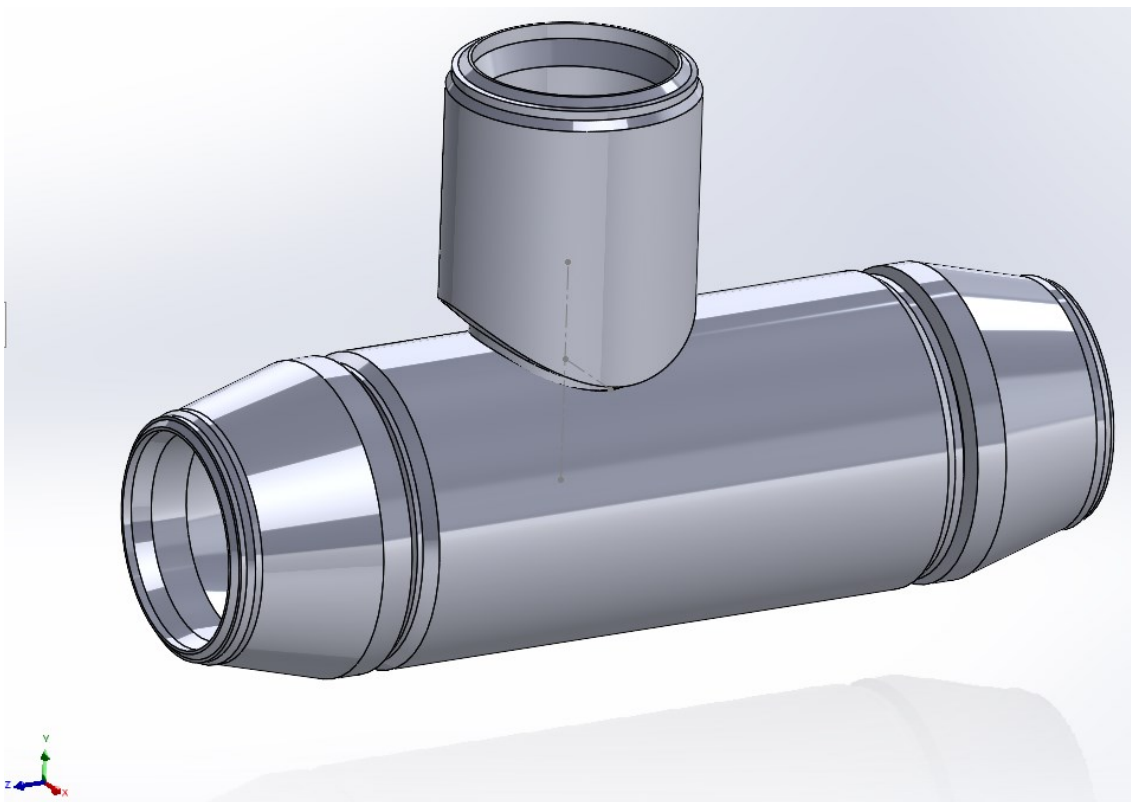
sääntöjenhallintaominaisuutta, jolloin runkoputken reikä tulee aina riippumaan yhteelle asetetuista mitoista.

Kokoonpanossa yhteen liittäminen runkoon tehtiin runkoputken reiän yläreunaan piirretyn apuviivan avulla (kuvassa 40 oranssilla katkoviivalla). Tämä kohdistaa yhteen alareunan ja runkoon tehdyn reiän reunan toisiinsa. Yhteen ja runkoputken välinen ilmarako saatiin säilytettyä aiemmin mainitun yhteen satulapintaan jääneen suoran alaosan vuoksi.



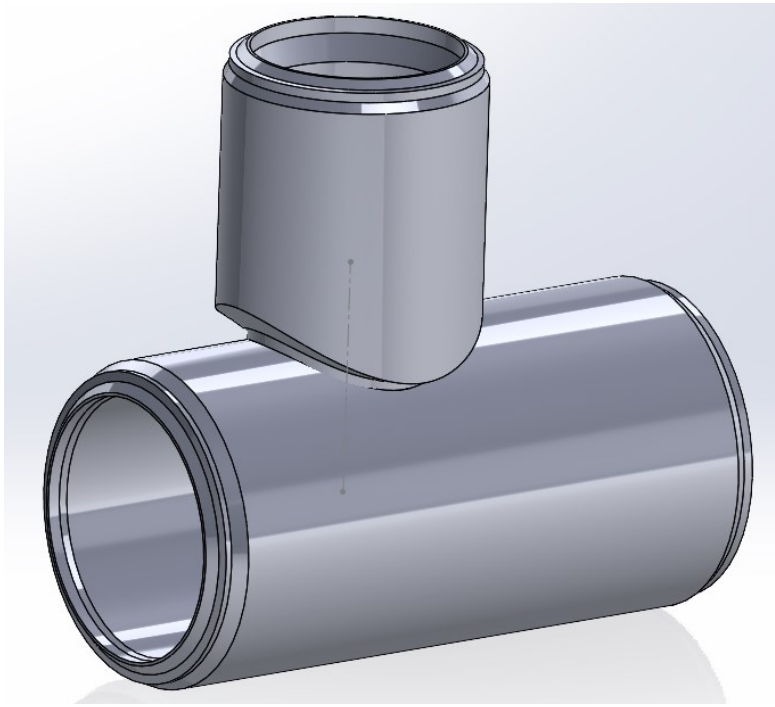
Kuva 40. Yhteen ja runkoputken liitoskohta, jossa apuviivat näkyvillä.

Kokoonpano oli valmis, kun runkoputkeen oli liitetty yhde ja molemmat kartiot, kuten kuvassa 41 näkyy. Kyseistä kokoonpanoa pidetään tulevan automatisoinnin pohjakokoonpanona, ja tämän vuoksi siinä on kaikki viisteet näkyvillä. Oikeassa haaroituskappaleessa rungon ja kartioiden välissä ei olisi hitsausviisteitä.



Kuva 41. Työssä mallinnettu haaroituskappale.

Pohjakokoonpanosta tehtiin neljä konfiguraatiota jo valmiiksi, jotta niihin siirtyminen automatisointiohjelmassa olisi mahdollisimman sujuvaa. Tästä esimerkkinä toimii kuvassa 42 näkyvä konfiguraatio pohjakokoonpanosta. Kyseinen vaihtoehto on tarkoitettu tapauksiin, joissa haaroituskappale ei tarvitse kartioita. Muissa valinnoissa oli joko vasen tai oikea kartio liitettynä runkoputkeen.

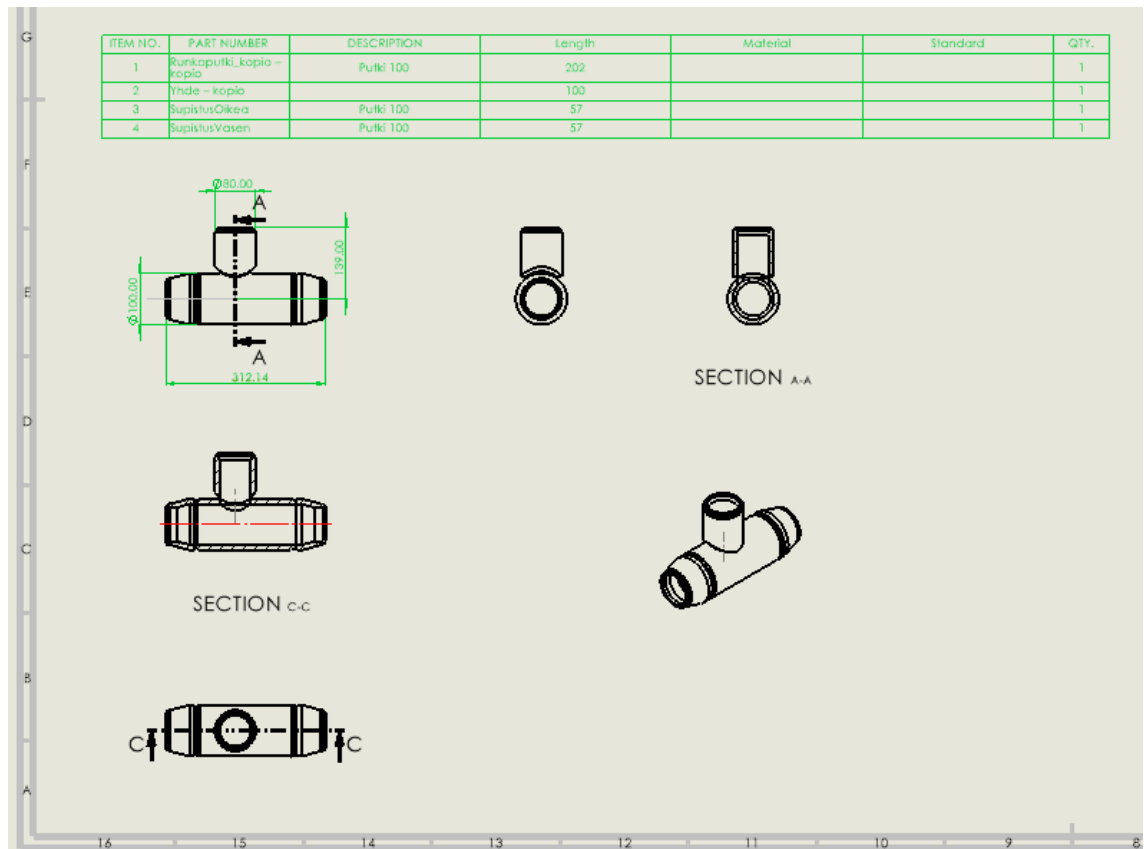


Kuva 42. Pohjakokoonpanon konfiguraatio ilman kartioita.

4.2.5 Piirustus

Valmiista t-kappaleen mallista luotiin piirustus, jonka SolidWorks tekee itse. Piirustus liitettiin DriveWorks-ohjelmaan toimimaan pohjana tuleville automaattisesti luotaville piirustuksille. Arkkiin valittiin tarvittavat kuvannot kappaleesta, ja liitettiin myös kappaleen osaluettelo.

Osaluettelo tulee päivittymään kappaleen mukana, ja osaluettelo lisättiin sarake osien pituuksille. Pituuksien sarake liitettiin kaavan avulla kappaleiden dimensioihin, jolloin taulukon arvot päivittyvät aina uuden kappaleen kohdalla. Osaluettelo ei tuo automaattisesti kappaleen materiaali- tai standarditietoja. Pohjakokoonpanon esimerkkipiirustus on esitettyinä kuvassa 43.



Kuva 43. Kokoonpanosta luotu piirustuspohja.

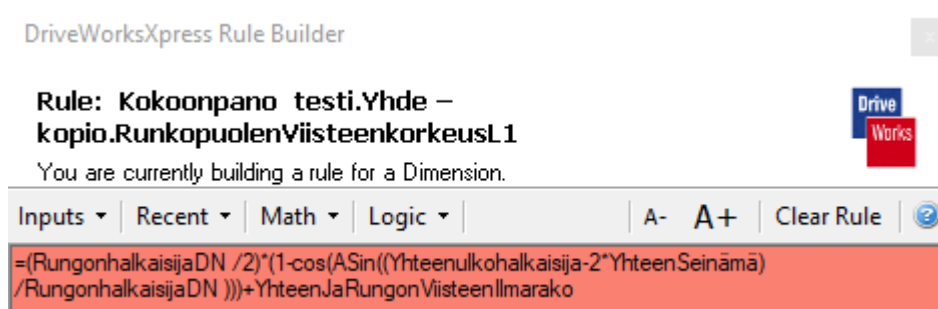
4.3 Muotokappalepiirustusten automatisointi DriveWorksXpressillä

Osien 3D-mallien valmistuttua niiden kaikki tarvittavat mitat, konfiguraatiot ja piirteet (feature) oli siirrettävä SolidWorksin sisältämään automatisointiohjelmaan eli DriveWorksXpressiin. Osien tiedoista oli siirrettävä ne, jotka tulisivat muuttumaan käyttäjän antaessa haluamiaan arvoja. Kaikkien valittujen arvojen pohjalta rakennettiin käyttöliittymä DriveWorksiin, jonka avulla käyttäjä voi muokata haaroituskappaleen mieleisekseen. Lopulta automatiikkaa testattiin aiemmin luotuihin kappaleisiin.

4.3.1 Parametrit

Monet kappaleiden mitat sisällytettiin DriveWorksin automatiikkaan – tosin kaavojen taakse, joita käyttäjä ei pääse muuttamaan. Nämä kaavat sisällytettiin

mittoihin, jotka ovat riippuvaisia toisista dimensioista, joihin käyttäjä pystyy antamaan haluamansa arvot. Useasti nämä kaavojen takana olevat arvot koskivat mittoja, joita käyttäjä, eli suunnittelija, ei välttämättä itse tiedä tai laske. Tällainen on esimerkiksi yhteen satulapinnan hitsaussauman korkeus, joka lasketaan trigonometrisesti yhteen ja runkoputken halkaisijoiden avulla (kuva 44).



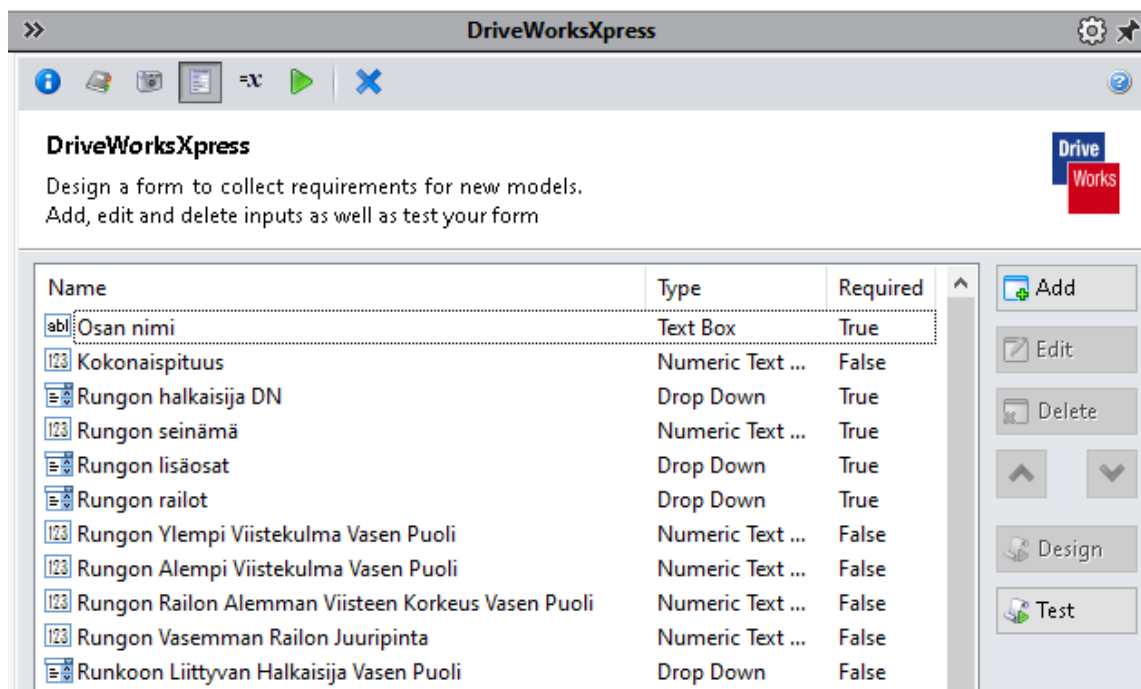
Kuva 44. Yhteen satulapinnan korkeuden kaava, joka riippuu käyttäjän valitsemista halkaisijoista.

Haarotuskappaleen kokonaispituutta varten täytyi myös tehdä kaava, koska kokonaispituus on riippuvainen runkoputkesta ja mahdollisista kartioista. Käyttäjä asettaa kokoonpanolle pituuden ja voi valita haarotuskappaleelle yhden kartion, molemmat kartiot tai ei kumpaakaan kartiota. Automatiikkaan rakennetut kaavat laskevat joko yksittäisen kartion tai kartioiden pituudet ja asettavat sen perusteella runkoputken oikean pituiseksi. Näin ollen haarotuskappaleen kokonaispituudesta tulee käyttäjän haluama.

Hitsausviisteiden ja kalibrointien mitat ovat todella alttiita virheille DriveWorksin automatiikassa ja voivat täten rikkoa mallin. Käyttäjän tulee laskea tarkat mitat eri dimensioille varsinkin, jos kalibrointeja käytetään. Tämä johtuu siitä, että kalibrointien kulmat liittyvät suoraan seinämän paksuuteen hitsausviisteen päässä. Jos jokin kalibrointikulmista tai seinämän paksuuksista ei täsmää, kyseisen hitsausrailon luonnos rikkoutuu. Rikkoutuminen tapahtuu, koska luonnoksen geometria ei toteudu. Tämä taas johtaa siihen, että kappaleen hitsausrailo-piirre menee rikki eikä toteudu mallissa ja piirustuksessa.

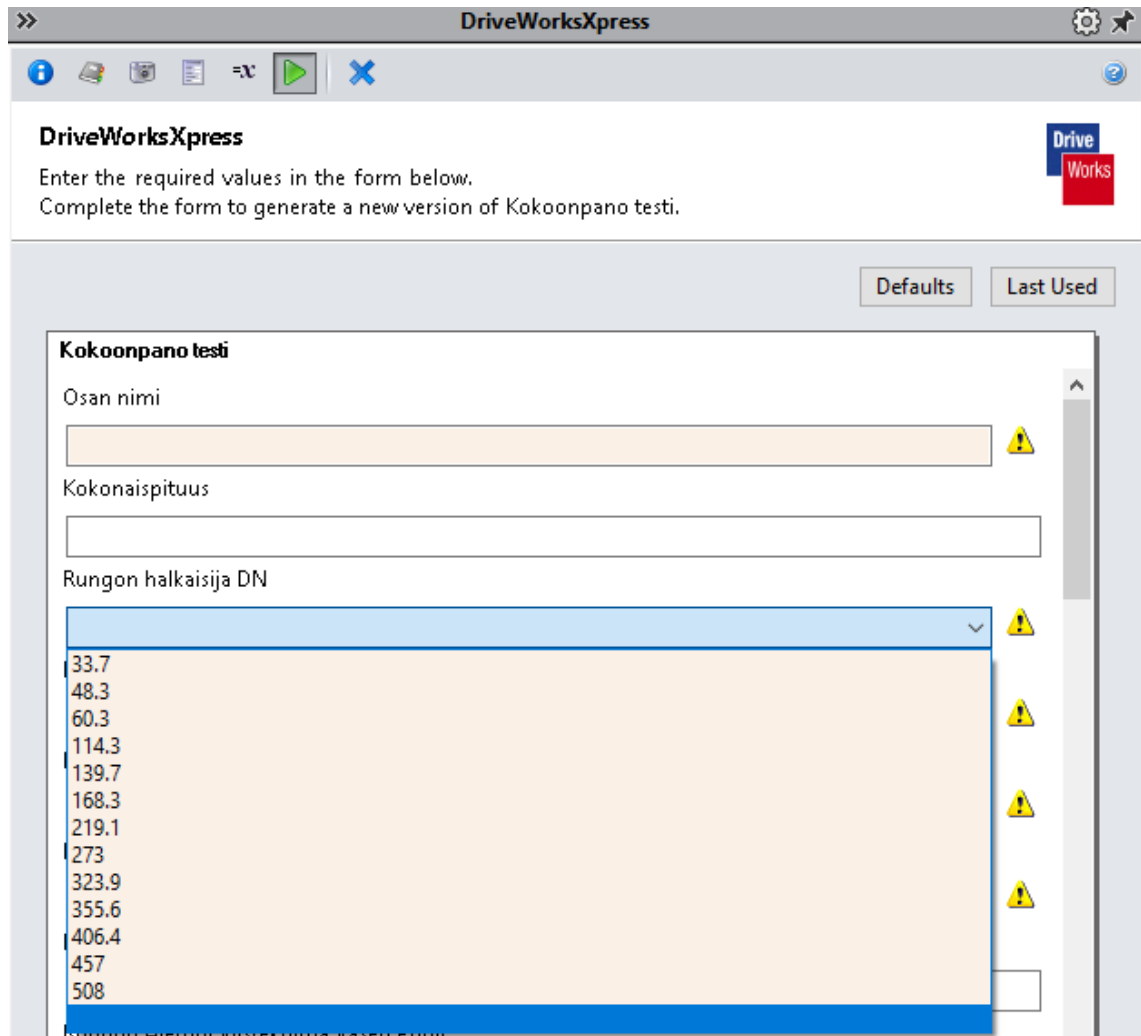
4.3.2 Käyttöliittymä

DriveWorksiin rakennettu käyttöliittymä pyrittiin pitämään mahdollisimman selkeänä ja käyttäjäystävällisenä. Kaikki käyttöliittymän kentät eivät ole pakollisia, ja kenttiin asetettiin raja-arvot, jotta käyttäjä ei voi antaa standardien ulkopuolisia arvoja. Käyttöliittymän rakentamiseksi kaikki käyttäjän muokattavissa olevat parametrit täytyi luetella järjestelmään (kuva 45).



Kuva 45. Osa DriveWorksiin rakennetusta käyttöliittymän pohjasta.

Halkaisijoita varten tehtiin pudotusvalikot, jotka sisältävät kaikki tarvittavat DN-koot (kuva 46). Tällä tavalla käyttäjä ei saa mielivaltaisesti valita kappaleille kokoja, jotka eivät vastaa suunnittelussa käytettäviä yleisiä DN-kokoja. Myös kartioiden ja hitsausviisteiden valintoihin tehtiin pudotusvalikot. Muuten esimerkiksi l-railon kohdalla käyttäjän olisi täytynyt itse asettaa viisteen kulmaksi 0° . Se saadaan nyt vältettyä pudotusvalikon ja automatiikan avulla.



Kuva 46. Osa käyttöliittymästä, jossa on näkyvissä myös DN-kokojen pudotusvalikko.

Suunnittelijoille tehdään käyttöohjeet työkalun käyttöä varten. Pehdytys vaatii lyhyen koulutuksen DriveWorksiin ja sen aktivointiin. Pehdytykselle on tarvetta, koska käyttöliittymää ei voitu rakentaa siten, että se eliminoisi kaikki syötövirhemahdollisuudet.

4.3.3 Piirustusten automatisointi

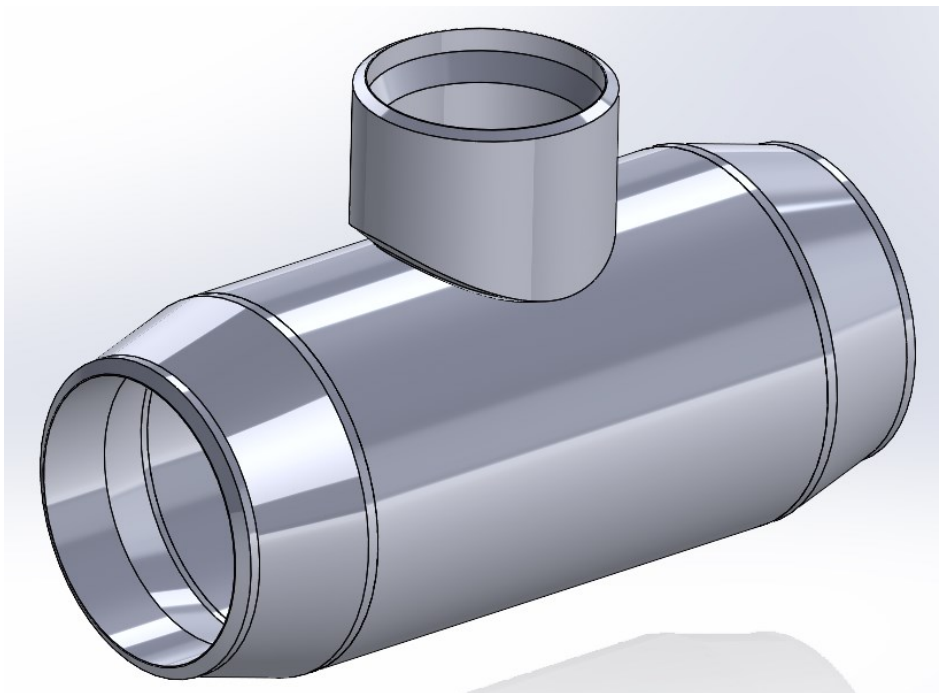
Automatisointia varten mallinnetun haaroituskappaleen piirustus liitettiin DriveWorksiin, jotta ohjelma muokkasi sen aina vastaamaan käyttäjän haluamaa kappaletta. DriveWorksin muokkaama piirustus sisältää aina samat kuvannot

kappaleesta ja päivittää kappaleen osalistan uuden mallinnetun kappaleen mukaan.

Piirustuksen kuvannot saattavat mennä päällekkäin, jos kappale on suurempi kuin mallipohja. Kappaleen leikkauskuvanto ja mitoitukset voivat irtaantua kohteistaan, jolloin käyttäjän täytyy tehdä leikkaus ja mitoitus uudelleen. Automatisointi-ohjelman tarkoituksena olikin vain luoda mallipohja haaroituskappaleesta, joka voidaan liittää asiakkaan piirustusohjaan.

4.3.4 Testaus

Valmista DriveWorks-mallia testattiin syöttämällä ohjelmaan aiemmin laskettujen ja piirrettyjen haaroituskappaleiden mittoja. Täten oli helppoa huomata mallin mahdolliset virheet vertaamalla ohjelman tuottamaa haaroituskappaletta ja sen piirustusta jo ennalta piirrettyyn muotokappalepiirustukseen. Testauksen tulos näkyy kuvassa 47, joka vastasi mitoiltaan oikeaa kappaletta.



Kuva 47. Automatiikan luoma testikappale.

Loppuhavaintona mallin ja täten automatisoinnin todettiin toimivan testikappaleille. Vertailuna muotokappalepiirustuksen käsintekemiseen ohjelman käyttö lyhensi piirtämiseen kuluvaa aikaa useita tunteja.

5 Yhteenveto

Insinööriyöllä luotiin hyvä pohja tulevien muotokappalepiirustusten automatisoinnille, ei pelkästään haaroituskappaleille. Työstä opittuja asioita voidaan soveltaa muihin muotokappaleisiin. Selvityksen aikana löydettiin SolidWorksin oma automatisointiohjelma DriveWorks, joka ei ollut yritykselle tuttu. Tavoitteena olleen yksihaaraisen haaroituskappaleen piirustuksen automatisointi saatiin onnistumaan.

Työtä tehdessä huomattiin SolidWorksin ja myös DriveWorksin puutteita ja kohtia, jotka voivat tuottaa haasteita uusien kappaleiden mallinnuksessa ja automatisoinnissa. Suuri haaste oli esimerkiksi luonnosten mittojen tarkkuus varsinkin viisteiden kohdalla. Tulevaisuudessa, ja uusia malleja tehdessä, ohjelman haasteisiin osataan jo varautua ja aloittaa kappaleiden piirto ja automatisointi helpompaa tapaa käyttäen.

Yhteen asettaminen runkoon tehtyyn reikään osoittautui haasteelliseksi, koska haaroituskappaleen suunnittelun näkökulmasta yhteen korkeus lasketaan runkoputken keskilinjasta. Tässä mallinnuksessa – ja yleensäkin valmistuksessa – yhde ja runkoputki käsitellään eri osina, jolloin yhdettä ei mitoiteta runkoputken keskilinjasta. Tätä varten DriveWorksiin täytyi tehdä kaava, joka mitoittaa yhteen korkeuden oikein.

Kaikkia mahdollisia haaroituskappaleen variaatioita ei testattu, joten käyttäjän on mahdollista päätyä virhetilanteeseen mallin osalta. Osa virhetilanteista on helppo ratkaista muuttamalla luonnoksissa olevia riippuvuuksia, mutta vaikeimmat tapaukset vaativat käyttäjältä kyseisen kokoonpanon syvempää tuntemusta.

Yhtenä kehitysmahdollisuutena olisi erillisen laskentaohjelman sisällyttäminen DriveWorksin automatiikkaan. Tämä voidaan toteuttaa koodaamalla laskentaohjelma liittymään DriveWorksiin tai laskentakaavojen kirjoittaminen DriveWorksin sisälle suoraan.

Toteutuksen aikana huomattiin, ettei SolidWorks sisällä kaikkia tarvittavia materiaaleja muotokappalesuunnittelua varten. Jos malliin saisi yrityksen käyttämät materiaalit, valittu materiaali ja painotieto välittyisi osaluetteloon.

Lähteet

- 1 How to use the standard in piping systems. 2016. Yrityksen sisäinen dokumentti. OSTP Finland Oy.
- 2 T-kappale DN80/80 tyyppi B. 2021. Yrityksen sisäinen dokumentti. Recion Oy.
- 3 SFS-EN 10217–2. Hitsatut painelaiteteräsputket. Tekniset toimitusehdot. Osa 2: Sähkövastushitsatut kuumalujat seostamattomat ja seostetut teräsputket. 2019. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 4 SFS-EN 10253–2. Päittäishitsattavat putkenosat. Osa 2: Toimituseräkohtaisesti tarkastettavat seostamattomat teräkset ja ferriittiset seosteräkset. 2008. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 5 Turpeinen, Pekka. 2022. Vanhempi suunnittelija, Recion Oy, Ylivieska. Keskustelu 2.3.2022.
- 6 Huttunen, Vesa. 2022. Koneistaja, Recion Oy, Ylivieska. Keskustelu 2.3.2022.
- 7 Ylivieskan tehdas. 2010. Yrityksen vanha nettisivu. Recion Oy.
- 8 SFS-EN 13480–3. Metalliset teollisuusputkistot. Osa 3: Suunnittelu ja laskeinta. 2017. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 9 SFS-EN 13480–5. Metalliset teollisuusputkistot. Osa 5: Tarkastus ja testaus. 2017. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 10 SFS-EN 13480–4. Metalliset teollisuusputkistot. Osa 4: Valmistus ja asennus. 2017. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 11 Painelaitedirektiivi. 2014. 206/27.6.2016.
- 12 Steam Mains and Drainage. Verkkoaineisto. Spirax Sarco Limited. <<https://www.spiraxsarco.com/learn-about-steam/steam-distribution/steam-mains-and-drainage>>. Luettu 27.4.2022.
- 13 SFS-EN 13480–2. Metalliset teollisuusputkistot. Osa 2: Materiaalit. 2017. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

- 14 SFS-EN ISO 9692–1. Hitsaus ja sen lähiprosessit. Railomuotosuositukset. Osa 1: Terästen puikko-, metallikaasukaari-, kaasuhitsaus, TIG- ja sädehitsaus. 2004. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 15 SFS-EN 1708–1. Hitsaus. Hitsausliitosten liitosmuodot teräksille. Osa 1: Paineenalaiset osat. 2010. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 16 SFS-EN 12952–5. Vesiputkikattilat ja niihin liittyvät laitteistot. Osa 5: Paineenalaisen osien valmistus. 2011. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 17 Lämpökäsittely, suoritusohje. 2021. Yrityksen sisäinen dokumentti. Recion Oy.
- 18 DIN 2559–2. Preparation of joints for welding – Part 2: Matching of inside diameters for circumferential welds on seamless tubes. 2007. Berlin: Deutsches Institut für Normung.
- 19 PSK 4213. Putkiluokka E25C1B painelaitteikäyttöön. Kuumaluja seostamaton teräs. Saumaton teräsputki. 2021. Helsinki: PSK Standardisointi.
- 20 SFS-EN ISO 17635. Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Yleisohjeet metallisille materiaaleille. 2016. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 21 SFS-EN 10273. Painelaiteteräkset. Kuumavalssatut hitsattavat kuumalujat terästangot. 2016. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 22 SFS-EN 10216–2. Saumattomat painelaiteteräsputket. Tekniset toimintusehdot. Osa 2: Kuumalujat seostamattomat ja seostetut teräsputket. 2014. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 23 SFS-EN 10222–2. Painelaiteteräkset. Takeet. Osa 2: Kuumalujat ferriittiset ja martensiittiset teräkset. 2017. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 24 SFS-EN 10028–2. Painelaiteteräkset. Levytuotteet. Osa 2: Kuumalujat seostamattomat ja seostetut teräkset. 2009. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 25 SFS-ISO 128–1. Tekniset piirustukset. Yleiset esittämisperiaatteet. Osa 1: Johdanto ja hakemisto. 2009. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 26 SFS-EN ISO 7200. Tekninen tuotedokumentointi. Otsikkoalueen ja asiakirjan ylätunnisteen tietokentät. 2004. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

- 27 SFS-EN ISO 5457. Tekninen tuotedokumentointi. Piirustuslomakkeiden koot ja rakenne. 1999. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 28 SFS-EN ISO 128–20. Technical drawings. General principles of presentation. Part 20: Basic conventions for lines. 2002. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 29 SFS-ISO 128–24. Tekniset piirustukset. Yleiset esittämisperiaatteet. Osa 24: Koneenpiirustuksen viivatyypit. 2014. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 30 SFS-ISO 128–30. Tekniset piirustukset. Yleiset esittämisperiaatteet. Osa 30: Perussäännöt kuvannoille. 2009. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 31 SFS-ISO 128–34. Tekniset piirustukset. Yleiset esittämisperiaatteet. Osa 34: Kuvannot koneenpiirustuksissa. 2009. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 32 SFS-ISO 129–1. Tekninen tuotedokumentointi. Mittojen ja toleranssien esittäminen. Osa 1: Yleiset periaatteet. 2019. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 33 A Game Changer for Business and Innovation. Verkkoaineisto. Dassault Systèmes. <<https://www.3ds.com/3dexperience>>. Luettu 11.4.2022.
- 34 Oanes, Sam. 2021. The History of SolidWorks. Verkkoaineisto. GoEngineer. <<https://www.goengineer.com/blog/history-of-solidworks>>. 24.9.2021. Luettu 12.4.2022.
- 35 Design/Engineering. Verkkoaineisto. Dassault Systèmes. <<https://www.solidworks.com/domain/design-engineering>>. Luettu 12.4.2022.
- 36 Our Story. Verkkoaineisto. DriveWorks Ltd. <<https://www.driveworks.co.uk/our-story/>>. Luettu 1.4.2022.