

Tatu Valtonen

# KEMIKAALILASTAUSVARSIEN KOMPONENTTIKIRJASTON KERÄYS JA 3D-MALLINTAMINEN

Opinnäytetyö

Tekniikan Ammattikorkeakoulututkinto

Energiatekniikan koulutus

2023



**Kaakkois-Suomen  
ammattikorkeakoulu**

Tutkintonimike	Insinööri (AMK)
Tekijä/Tekijät	Tatu Valtonen
Työn nimi	Kemikaalilastausvarsien komponenttikirjaston keräys ja 3d-mallintaminen
Toimeksiantaja	Enmac Oy
Vuosi	2023
Sivut	34 sivua, liitteitä 2 sivua
Työn ohjaaja(t)	Kalle Tarhonen, Tuomo Kanerva

## TIIVISTELMÄ

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutustua Enmac Oy:n aiemmin tuottamiin kemikaalien lastausvarsiprojekteihin, analysoida varsien rakennetta sekä ominaisuuksia ja tuottaa niiden pohjalta lastausvarsille modulaarinen rakenne ja kirjasto, jonka sisällöstä voidaan yhdistellä uusia lastausvarsia tehokkaammin. Tarvittavien osien mallintamiseen, vanhojen mallien muokkaamiseen, sekä kokoonpanojen valmistamiseen käytetään SolidWorks tietokoneavusteista suunnitteluohjelmaa.

Projektin teoriaosuudessa perehdytään kemikaalien lastausvarsien valmistajiin, rakenteeseen ja niiden sisältämiin niveliin, liittimiin, niiden ominaisuuksiin, sekä lyhyesti varsien ja niiden osien valmistusta sääteleviin standardeihin.

Lastausvarsien teorian jälkeen työssä käsitellään SolidWorks-ohjelmistolla suunnittelua ja käydään esimerkein ja kuvin läpi tietokoneavusteisen suunnittelun perustoimintoja, yksinkertaisten muotojen ja kokoonpanojen luomisesta osien ja kokoonpanojen konfigurointiin, avaten lopuksi vielä valmistuskuvien piirtämistä ohjelmistossa.

Seuraavassa kappaleessa analysoidaan lähdemateriaalin lastausvarsia ja niiden rakenteellisia eroavaisuuksia modulaarisen rakenteen suunnittelun näkökulmasta ja muodostetaan lopullinen lastausvarren jako eri moduuleihin. Moduulien mallinnus käydään läpi yksi moduuli kerrallaan samalla kun käsitellään mallinnuksessa vastaan tulevia ongelmia, sekä niiden ratkaisuja ja vaikutuksia lopulliseen tuotteeseen. Moduulien valmistuttua työssä avataan malleista muodostetun kirjaston rakenne sekä modulaarisen kirjaston käyttöä varten kirjoitettu käyttöohje.

Projektin tuotteena muodostui aiempien lastausvarsien mallien pohjalta rakentunut modulaarinen kirjasto, jonka sisällöstä pystyy muodostamaan mitä tahansa lähdemateriaalin lastausvarsta vastaavan tuotteen murto-osassa siitä ajasta, missä uuden tuotteen mallintaisi, tai todennäköisemmin muokkaisi olemassa olevasta mallista uuden tuotteen. Kaikki mallit valmistuivat aikataulussa, ja vaikka valmistuskuvien piirtäminen karsiutui työn sisällöstä, työ onnistui ja lopputulokseksi saatiin toimiva ja monipuolinen, mutta silti helppokäyttöinen modulaarinen rakenne ja osakirjasto.

**Asiasanat:** SolidWorks, 3D-mallinnus, konfigurointi, lastausvarret

Degree title	Bachelor of Engineering
Author (authors)	Tatu Valtonen
Thesis title	Gathering and 3D-modeling of a component library for chemical loading arms.
Commissioned by	Enmac Oy
Time	2023
Pages	33 pages, 2 pages of appendices
Supervisor	Kalle Tarhonen, Tuomo Kanerva

## ABSTRACT

The objective of this thesis was to get to know some of the previously designed chemical loading arms by Enmac Oy and analyze their structure and features, and to procure a modular build for a new loading arm parts library based on their build and models. With this new modular structure and pre-constructed library it is possible to compile new chemical loading arms substantially faster than before. The 3D-modeling of the required new parts, modifying the old ones and making the assemblies is done by SolidWorks computer assisted modeling-software.

The theoretical part of the thesis discusses and presents some of the chemical loading arm manufacturers, the structure and types of loading arms, and parts included in their build, such as swivels and couplers, their features, and some of the standards that regulate them.

The thesis also introduces the basics of designing with Solid Works CAD-software through its basic features, examples, and pictures. These examples include the creation of a new part and an assembly, both with simple configurations, ending with a blueprint drawing on SolidWorks.

In the thesis the chemical loading arms of the source material are discussed and their structural differences from the perspective of creating the modular build are analyzed. The thesis goes through the design of the modular build one module at a time while tackling upcoming difficulties and their effect on the build. After the modules have been formed, the structure of the created parts library and writing of the manual for their usage are discussed.

As a product of the thesis a modular library was formed from the foundation of the previous loading arm projects. From this library, a loading arm can be compiled to match any of the loading arms that were used in its creation, in a fraction of the time used in modeling the original product. All models were formed in the time given and even though the drawing of blueprints was cut from the schedule, the thesis was a success, and the product is a working and versatile modular build that still manages to be user-friendly.

**Keywords:** SolidWorks, model, thesis, report writing

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	5
2	TEOLLISUUDEN KEMIKAALIEN LASTAUSVARRET .....	6
2.1	Varsityypit .....	7
2.2	Materiaalit, paineluokat ja putkikoot .....	8
2.3	Laipat, liittimet ja suuttimet .....	9
2.4	Nivelet .....	11
2.5	Keventimet .....	13
3	LASTAUSVARSIEN MODULAARISEN RAKENTEEN KEHITYS .....	15
3.1	Mallintaminen .....	15
3.2	Moduulit .....	19
4	KOMPONENTTIKIRJASTON KOKOAMINEN .....	25
4.1	Kirjaston rakenne .....	25
4.2	Ostokomponentit .....	28
4.3	Valmistettavat osat .....	28
4.4	Valmistus- ja kokoonpanokuvat .....	29
4.5	Ohjeet .....	31
5	JOHTOPÄÄTÖKSET .....	31
	LÄHTEET .....	34
	KUVALUETTELO	

## 1 JOHDANTO

Tämän projektin tarkoituksena on muodostaa toimeksiantajalle lastausvarsiprojektien mekaanista suunnittelua varten osa- ja komponenttikirjasto, joka sisältää kaikki toistaiseksi lastausvarsiprojekteissa käytetyt ja hyväksi todetut komponentit valmiiksi mallinnettuna, sekä analysoida lastausvarsien rakenne ja jakaa varret valmiiksi mallinnettuihin moduuleihin. Tämän kirjaston tarkoitus on poistaa tarve mallintaa samoja osia ja komponentteja uudelleen jokaista projektia varten ja tarjota valmis moduuli- ja osakirjasto, jonka sisältöä yhdistelemällä voidaan muodostaa nopeasti uusi lastausvarsi joka tarpeeseen. Suurin hyöty varsikirjastosta saadaan muodostettaessa yleisluontoisempia esisuunnittelukuvia, joihin lisätään ainoastaan päämitat.

Työn tiedonkeruuosuus toteutuu dokumenttianalyysin muodossa käymällä läpi Enmac Oy:n jo toteuttamia projekteja. Valmiiksi suunnitelluista lastausvarsista valitaan komponenttikirjaston lähdemateriaaliksi ne varret, joissa on hyväksi todettuja ominaisuuksia. Ennen modulaarisen rakenteen luomista haastatellaan toimeksiantajan työnjohtoa ja suunnittelijoita varsien rakenteesta ja toteutuksesta.

Työn teoriaosuudessa analysoidaan lähdemateriaaliksi valikoitujen Enmacin projektien tuotteita ja niiden rakenteellisia eroavaisuuksia, joiden pohjalta hahmotetaan tulevien moduulien rajat ja rajojen mukaan eri moduuleihin rajautuvat muuttujat ja varsien ominaisuudet. Tässä vaiheessa myös päätetään moduulikirjastoon osiksi valikoitavat lastausvarret.

Kun kirjaston materiaali on päätetty, kopioidaan valikoiduista lähdemateriaalin projekteista moduuleita vastaavat kokonaisuudet ja niissä käytetyt komponentit kirjastoa varten niin, että kirjaston osista voidaan muodostaa moduuleita, joihin voi sisällyttää kaikki lähdemateriaalin varsissa olevat ominaisuudet. Tässä vaiheessa perehdytään moduulien konfiguroinnin mahdollisuuksiin ja rajoituksiin. Koska suuri osa 3D-mallintamisen työtunneista kuluu valmistuskuvien piirtämiseen, mallinnettaessa pitää ottaa huomioon myös se, että jokaisesta mallista pitää pystyä muodostamaan oma ja itsenäinen valmistuskuvansa.

## 2 TEOLLISUUDEN KEMIKAALIEN LASTAUSVARRET

Tilastokeskuksen mukaan (2023) vuonna 2022 kotimaan kuorma-autoliikenteessä kuljetettiin 21 miljoonaa tonnia nesteitä. Kasvua vuoden edellisen vuoden 14 miljoonaan tonniin on pyöreästi noin 50 prosenttia. Jokainen kemikaalikuormassa kulkeva säiliöauto- tai kontti kuljettaa lastia, jonka tilavuus voi säiliön tyyppin mukaan olla jopa 40 kuutiometriä, ja jokaisen kuorman jokainen litra on siirrettävä kuljetuskalustoon lähtöpisteissä, sekä purettava siirtosäiliöstä purkupisteissä.

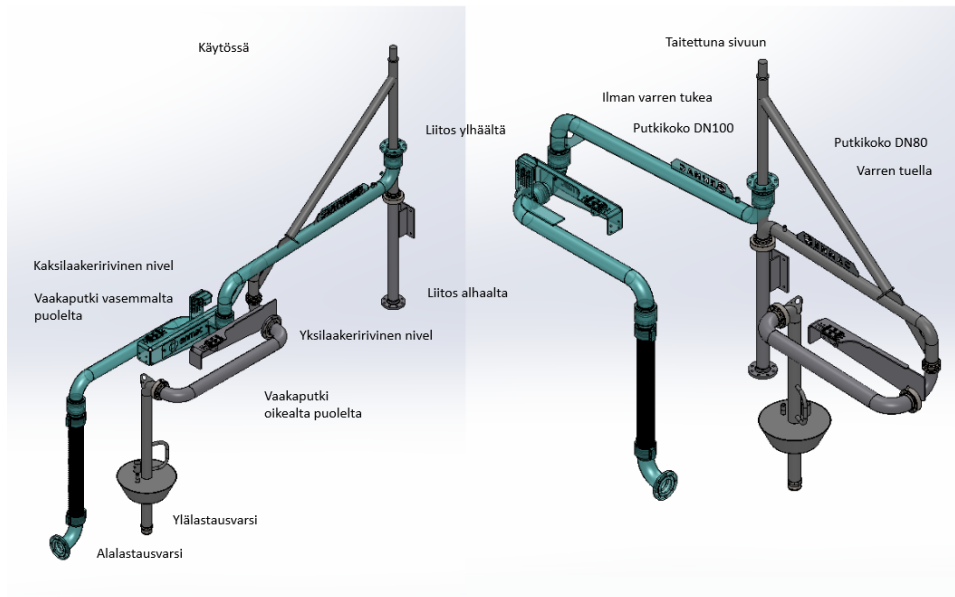
Uusia teollisuuden laitoksia rakennettaessa, sekä vanhempien laitosten ikäännytyessä ja turvamääräysten muuttuessa, on tarve suunnitella uusia ja asetusten mukaisia lastaus- ja purkupisteitä, joissa on nykyaikainen kalusto ja on otettu huomioon työn ergonomia, tehokkuus ja turvallisuus. Opinnäytetyössä puhutaan yleistäen lastausvarsista ja lastausasemista, vaikka tuotteita voidaan käyttää kuorman purkuun tai lastaukseen.

Oli kyseessä auton tai junan lastausasema, lastaus- ja purkuvarsia käytetään ympäristössä, jossa on liikkuvaa raskasta kalustoa. Tällaisen muuttuvan käyttöympäristön vuoksi on tärkeää, että lastausvarrella on paitsi käyttötilanteessa riittävän suuri käyttöalue, myös mahdollisuus kääntää varsi pois raskaan liikenteen tieltä, kun se ei ole käytössä. Käyttökohteesta ja sijainnista huolimatta lastausvarsien päätyypit ovat samat ja varret jakautuvat käyttötarkoituksen mukaisesti alalastausvarsiin sekä ylälastausvarsiin.

Teollisuuden kemikaalien lastausvarsien suunnittelu ja valmistus on huolellista sekä säädeltyä työtä, missä pitää ottaa huomioon paitsi kemikaalien ominaisuudet, myös linjaston paine ja putkikoot. Sen vuoksi niiden valmistuksessa noudatetaan muun muassa SFS EN13480 -standardia, joka sisältää määräykset ja vaatimukset metallisille teollisuusputkistoille. Tunnettuihin kemikaalien lastausvarsien valmistajiin lukeutuu esimerkiksi italialaiset Silea Liquid Transfer, sekä Officine Meccaniche Cavourresi, eli OMC, joilla on myyntiedustusta Suomessakin.

## 2.1 Varsityypit

Opinnäytetyön aiheena olevat lastausvarret on suunniteltu käytettäväksi säiliökonttien ja/tai -autojen lastaamiseen. Käyttötapansa mukaisesti lastausvarret pystytään jakamaan kuvan 1 esittelemään kahteen päätyyppiin: vihreällä korostettuihin alalastausvarsiin sekä harmaarunkoisiin ylälastausvarsiin.

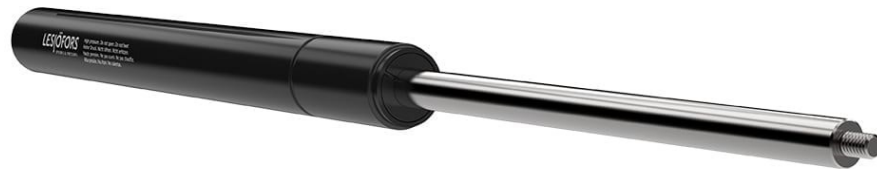


Kuva 1. Ylä- ja alalastausvarret

Merkittävin varsien eroista tulee esiin jo nimessä: kuvassa 1 vihreärunkoinen alalastausvarsi päättyy liittimeen, joka yhdistetään säiliön alaosaan, kun taas harmaa ylälastausvarsi päättyy suuttimeen tai imupäähän, joka lasketaan säiliön miesluukusta, yläkautta, säiliöön. Toinen varren päästä esiin nouseva piirre syntyy sekään käyttötarkoituksesta: Alalastausvarsissa varren viimeinen pystysuora osa ennen liittintä on letkua ja nivelletty kiertymään pysty akselilla, mikä helpottaa varren loppuosan kääntöä ja asemointia säiliön liittimeen. Ylälastausvarren viimeinen pystyosa on teräspuutke ja päättyy suuttimeen tai imupäähän. Sen lisäksi ylälastausvarsi nivelletään jo pystyosaa edellisestä vaakatasoisesta putkiosasta, jossa nivel kiertyy varren suuntaan poikittaisen, vaakatasoisen akselin ympäri. Näin muodostettu ylälastausvarsi on helpompi laskea ja nostaa säiliön miesluukusta.

Päävarsiyppien lisäksi lastausvarsissa on muitakin rakenteellisia eroja, jotka liittyvät varren varusteluun. Lähdemateriaalin aiemmin toteutetuissa varsissa

on käytetty tarpeen mukaan kahden tyyppisiä niveliä. Sen lisäksi riippuen varren rakenteesta ja kuormituksesta, lastausvarressa on saatettu käyttää varren käyttöä helpottavia jousi-, paineilma- tai kaasutoimisia keventäjiä. Kuvassa 2 on esimerkki Lesjöforsin kaasujousesta, joka toimii samalla periaatteella kuin keventäjissä käytetyt. Riippuen keventäjän toimintaperiaatteesta, lastausvarsi-kokoonpanoihin on tarvittu erilaisia asennusosia.



Kuva 2. Lesjöfors Springs Oy:n kaasujousi.

## 2.2 Materiaalit, paineluokat ja putkikoot

Opinnäytteen lähdemateriaalina käytettävissä lastausvarsiprojekteissa käyttökohteena on ollut usein hapettavien tai syövyttävien kemikaalien käsittely, minkä vuoksi kaikki kokoonpanojen putkilinjat on valmistettu ruostumattomasta tai haponkestävästä teräksestä. Valmiina ostettavien osien tarkat seokset riippuvat valmistajien valinnoista liittyen tarkoitettuun käyttöympäristöön. Esimerkiksi monesta osasta koostuvassa yksilaakeririvisessä nivelessä, joka on tarkoitettu hapettavaan käyttöympäristöön, ainoastaan kemikaalien kanssa kosketuksiin joutuvat osat on valmistettu ruostumattomasta tai haponkestävästä teräksestä, ja nivelen ulkokuori on valmistettu edullisemmasta hiiliterässeoksesta. Tällaisen valmistustavan vuoksi moni valmistaja ilmoittaa tuotteen materiaaliksi joko käytössä altistuvan pinnan materiaalin tai materiaalin sijaan tuotteelle soveltuvat käyttöolosuhteet.



Johtuen sekä toteutettujen varsien materiaalivalinnoista, että lastausvarsien kosteudelle ja kemikaaleille alttiista käyttöympäristöstä, kaikki moduulit tullaan suunnittelemaan ruostumattomasta teräksestä. Mahdolliset asiakkaan vaatimat materiaalimuutokset toteutetaan muokkaamalla valmiista kirjastosta kopioituja moduuleita.

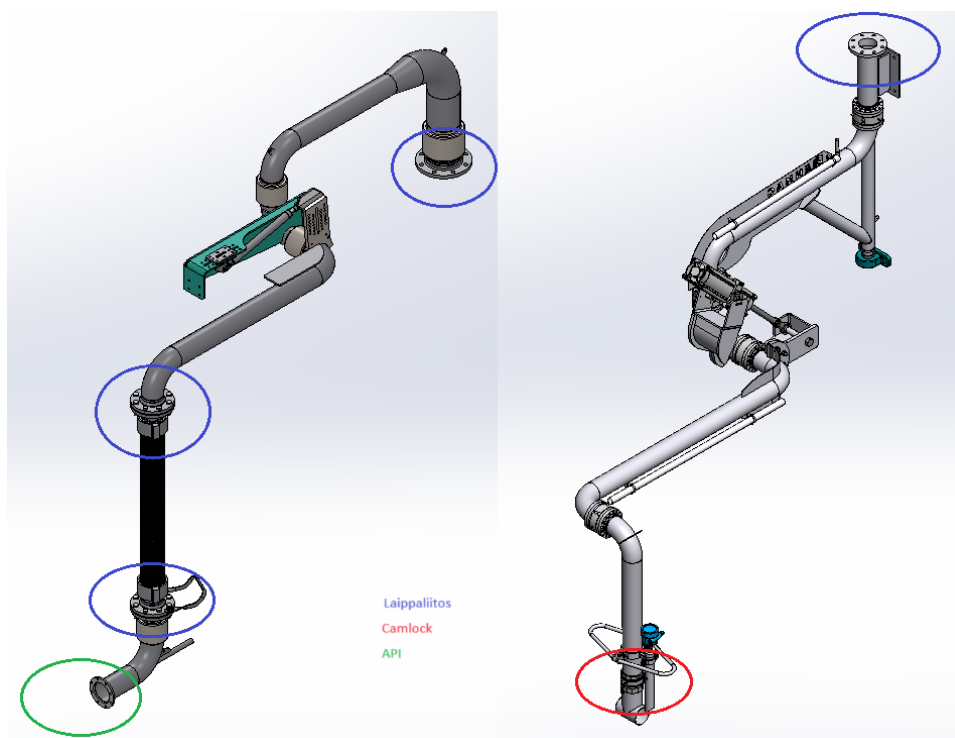
Kun kaikki lähdemateriaalin lastausvarret on käyty läpi, voidaan todeta, että kaikki toteutetut varret on suunniteltu paineluokalle PN16, varsinaisen käyttöpaineen ollessa huomattavasti pienempi. Näin ollen kaikki moduulit tullaan toteuttamaan paineluokalle PN16. Teollisuuden putkistojen sallitut käyttöpainet määritetään standardissa SFS-EN 13480, joka voi hyvinkin olla tärkein standardi EN-standardoitujen metallisten putkistojen suunnittelussa. Paineluokat annetaan standardin määrittelemänä PN-arvoina (Pressure Nominal), jotka tarkoittavat suurinta sallittua putken käyttöpainetta 20°C lämpötilassa. (Horto 2020, 8.)

Kaikki lähdemateriaalin varret on toteutettu putkikoossa DN80 tai DN100, jonka vuoksi kaikki moduulien osat pitää toteuttaa kummassakin putkikoossa. DN-mitat (Diameter Nominal) ovat EN10220-standardin määrittämät kansainvälisesti käytössä olevat teollisten teräsputkien kokoluokat, joista opinnäytetyössä käytettyjen putkien nimellismitat ovat seuraavat: nimellismitta DN80 tai 3 tuumaa, ja jonka ulkohalkaisija seinämävahvuudesta riippumatta on 88,9 mm; Nimellismitta DN100 tai 4 tuumaa, ulkohalkaisija seinämävahvuudesta riippumatta on 114,3 mm. Ulkohalkaisija seinämävahvuudesta riippumatta tarkoittaa, että putken seinämävahvuus kasvaa aina sisäänpäin, pienentäen putken sisähalkaisijaa. Putken koko ei millään tapaa mitattuna vastaa DN-nimellimitan lukua, esimerkiksi DN80, mutta luku toimii karkeana pyöristyksenä putken ulkohalkaisijasta (Horto 2020, 8).

### **2.3 Laipat, liittimet ja suuttimet**

Alla esitetty kuva 3 havainnollistaa eri lastausvarsityyppien sisältämiä liittimiä ja laippaliitoksia. Yläreunassa sinisellä kehällä merkityt laipat ovat kummassakin varressa liitöntäasentoa lukuun ottamatta samankaltaiset. Kuvassa vasemalla esitettyssä alalastausvarressa on sen lisäksi sinisellä merkitty laippaliitos

myös alempana varressa sijaitsevan letkun ala- ja yläpäässä. Letkun alla vihreällä merkitty laippa on 4-tuumainen amerikkalaisen ANSI-standardin mukainen laippa API-liitintä varten. Oikealla, ylälastausvarren yläosassa, on aiemmin mainittu laippaliitos kemikaalilinjastoon, jonka alla ei ole muita liitoksia ennen lastausvarren loppuosan SFS-EN 14420-7:2022 -standardin mukaista urospuolista nokkavipuliitintä, jolla voidaan liittää ylälastausvarren “suutinosa”.



Kuva 3. Ala- ja ylälastausvarsiens laipat ja liittimet.

Sekä alalastausvarren letkuosan liitoksessa varren putkiosiin käytetään lastausvarren putkikoon mukaisia EN1092-1-standardoituja tyypin 11 kauluslaippoja. Mahdolliset asiakaslähtöiset poikkeukset toteutetaan muutoksina kirjastosta kopioituihin moduuleihin.

Eurooppalainen EN1092-1-standardi määrittelee teräslaippojen valmistusmitat, -toleranssit, mahdolliset kierteet ja seinämävahvuudet putkikoosta DN10 aina putkikokoon DN4000, paineluokissa PN2,5 – PN400. Pitäytymällä standardoiduissa laipoissa ja putkiosissa varmistetaan paitsi valmistettavan kokonaisuuden standardinmukaisuus, myös kaikkien standardoitujen osien yhteensopivuus.

Alalastausvarsien liittämässä säiliöön käytetään usein polttonesteiden kuljetuksessa yleisiä API-standardoituja kemikaaliliittimiä. Alla, kuvassa 4, Silean valmistama API-standardin mukainen naarasliitin. API on Amerikan Yhdysvalloista peräisin oleva American Petroleum Instituten hallinnoima standardi, joka määrittelee API-standardoitujen liittimien valmistusmitat ja piirteet. Näin varmistutaan siitä, että kaikki standardin alla valmistettavat liittimet ovat turvallisia ja yhteensopivia.

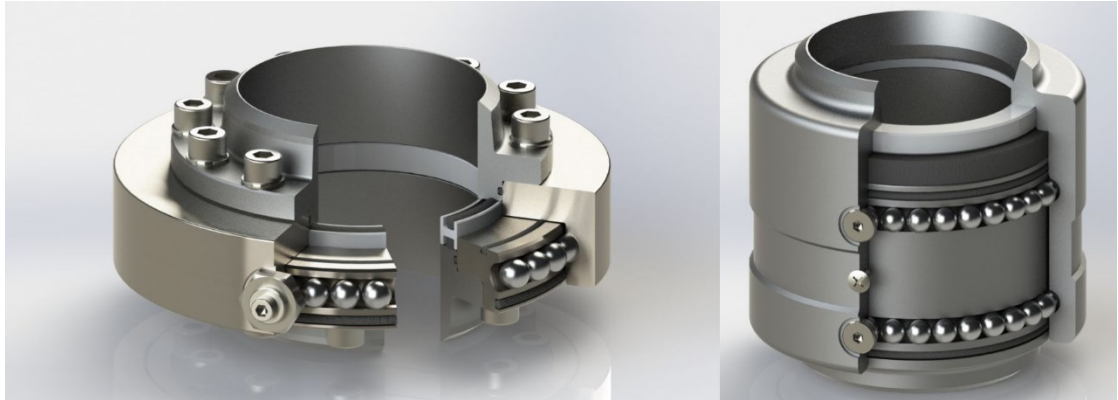


Kuva 4. Silean API-liitin.

## 2.4 Nivelet

Lastausvarsiin soveltuvien laakeroitujen putkinivelten kirjo on laaja ja valmistajia on useita, esimerkkeinä OPW Engineered Systems, FMC Technologies, Excel, Silea sekä ATN. Kuvassa 5 nähtävissä kaksi Silean valmistamaa laakeroitua niveltä.

Nivelosat antavat lastausvarsille niiden liikeradat. Aiemmissa Enmacin projekteissa on käytetty projektista ja tarpeesta riippuen joko yksi- tai kaksirivisiä laakeroitua niveliä putkikoossa DN80 ja DN100, riippuen lastausvarren ominaisuuksista. Valinta yksirivisen ja kaksirivisen nivelen välillä perustuu lastausvarren pituuteen ja niveleen kohdistuvaan rasitukseen. Niissä varren osissa, missä pysty akselin ympäri pyörivä nivel kantaa sen jatkeeksi asennetun pitkän vaakatasoisen linjan painon, voidaan käyttää kaksilaakeririvistä niveltä jakamaan niveleen kohdistuva rasitus.



Kuva 5. Silean yksi- ja kaksilaakeririviset nivelet.

Aiemmin toteutetuissa kemikaalien lastausvarsissa on käytetty niveliä muutamiltakin eri valmistajilta. Valittaessa niveliä eri valmistajien välillä, kustannuserot eivät näyttele merkittävää osaa yksilaakeririvisten nivelten kohdalla, kun taas kaksilaakeririvisten nivelten tapauksessa kustannuserot ovat suuremmat. Nivelet komponenttikirjastoon valikoituivat aikaisemmin käytetyltä valmistajalta.

Ero eri mallien välillä ei jää pelkkään laakeririvien määrään, vaan näkyy merkittävästi nivelen rakenteessa. Esimerkiksi kuvassa 5 esitetyillä Silean valmistamilla laakeroiduilla putkinivelillä on vastaaville tuotteille tyypillinen rakenne: oikealla esitetty Silean kaksiosainen, kaksilaakeririvinen nivel ja vasemmalla kolmiosainen, yksilaakeririvinen nivel. Kaksiosainen nivel koostuu uros- ja naarasosasta, jotka liitetään hitsaamalla eri moduuleihin ja yhdistetään toisiinsa asentamalla laakerikuulat moduuleita yhdistettäessä. Kolmiosainen nivel koostuu kahdesta laippaosasta, joista laipat hitsataan yhdistettäviin moduuleihin, sekä keskiosasta, joka liitetään ruuvein laippaosiin moduuleita yhdistettäessä. Nivelten keskenään poikkeavien rakenteiden vuoksi myös lastausvarsien keventimien momenttitukien kiinnityksiä on kahdenlaisia. Helpoin tapa on kiinnittää momenttituet yksirivisten nivelten nivellaippojen ruuveille, kun taas kaksirivisten nivelten tapauksessa momenttituet pitää asentaa hitsaamalla momenttituki putkeen nivelen molemmin puolin.

Kummallakin nivelen rakennetyypillä on omat ongelmansa asennuksen suhteen. Vaikka ensisilmäyksellä yksilaakeririvisen nivelen laipat ovat identtiset, eikä niiden ruuvijaolla pitäisi olla merkitystä, koska nivellaippojen välissä on

pyörivä laakeriosa, täytyy pitää mielessä paitsi lopputuloksen yhdenmukaisuus, myös se, että yksilaakeririvistä niveltä käytävälle lastausvarrelle asennettava momenttituki asennetaan nivellaipan ruuveille. Tämän takia modulaarisen rakenteen nivellaipat pitää mallintaa aina oikeaan asentoon mahdollista momenttitukea varten.

Kaksilaakeririviset nivelet koostuvat uros- ja naarasosasta, jotka yhdistetään toisiinsa asentamalla laakerikuulat urilleen. Huomattavaa on, että kokoonpanussa nivelessä urososan puolelle jää nivelen runkoon rako, josta näkyy tiiviste. Rakoa ja tiivistettä ei ole ilmoitettu rakenteelliseksi heikkoudeksi, mutta kokoonpanot suunnitellaan suojaamaan näkyvää tiivistettä roskalta ja mahdollisilta osumilta niin, että tiiviste jää malleissa alapuolelle. Pieni, mutta sitäkin merkittävämpi riskin paikka moduulia suunniteltaessa syntyy siitä, että mallin kokoonpanokuvassa näkyy nivelestä vain toinen puoli, joten on olemassa mahdollisuus siihen, että kaksi toisistaan erillään valmistettua moduulia varustetaan saman puolilla nivelosilla, jolloin niitä ei voi yhdistää. Mahdollisuus on pieni, sillä kaikki moduulit kootaan lastausvarreksi SolidWorksissä ennen kuvien menoa valmistukseen. Vahingon todennäköisyyttä vähennetään entisestään käyttämällä moduulien muodostuksessa logiikkaa, jossa jokainen kaksilaakeririvistä niveltä käytävä kokoonpano suunnitellaan niin, että naarasosa asennetaan yläpuolelle jäävään moduuliin. Näin toimien mallit noudattavat yhtä poikkeusta lukuun ottamatta kaavaa, jossa jokainen kaksilaakeririvisiä niveliä käytävä moduuli alkaa uroksella ja päättyy naaraaseen. Ainoa poikkeus on alapuolinen kiinnitysosa, jossa osa alkaa laipalla ja päättyy urokseen, sillä seurauksella että ensimmäinen moduuli sekä alkaa, että päättyy naaraaseen.

## 2.5 Keventimet

Kaikki opinnäytetyötä varten analysoidut lastausvarret ovat sisältäneet 3 tai 4 niveltä, jotka helpottavat varren asemointia ja kasvattavat varren toimintasädettä, mutta joutuvat samalla rasituksen alle lastausvarren oman painon, sekä lastattavan aineen taholta. Erityisen suuren kuorman kantavat pystyakselille asennetut nivelet, jotka kiinnittyvät alapuolelta vaakatasoiseen putkeen. Suurin vääntö kohdistuu nivelen laakereille, joten rasitusta kompensoidaan kaksilaakeririvisillä nivelillä. Vaakatasoisen akselin ympäri vartta liikuttavat nivelet eivät kanna varren painoa, vaan jättävät kuormituksen varren käyttäjän

taakaksi. Tämän takia useisiin lastausvarsiin on asennettu kevennin, eli käyttöä helpottava paineilmasyylinteri, kaasu- tai tasapainojousi. Kevennin asennetaan vartta vaakatasoisen akselin ympäri liikuttavan nivelen yli, saaden varren pysymään lepoasennossa vaakatasossa ja keventäen varren käyttöä. Muutamassa lähdemateriaalin mallissa esiintyi myös lastausvarren asennon lukitus, jolla lastausvarren pystysuunnassa liikkuva osa voidaan lukita haluttuun asentoon käytön ajaksi. Tasapainojouset sekä asentolukitukset ovat kuitenkin niin harvinainen lisä lastausvarsissa, että moduulit on päätetty toteuttaa pelkillä paineilma- tai kaasujousitoimisilla kevennyksillä (Kanerva 2023a). Päätöstä valituista keventäjistä puoltaa myös Enmacin aiempiin projekteihin kehittämät momenttituet, jotka sopivat sekä kaasujousiin että paineilmasyylintereihin, ja ovat käytettävissä moduulikirjastoa varten.

### 3 MODULAARISEN RAKENTEEN KEHITYS

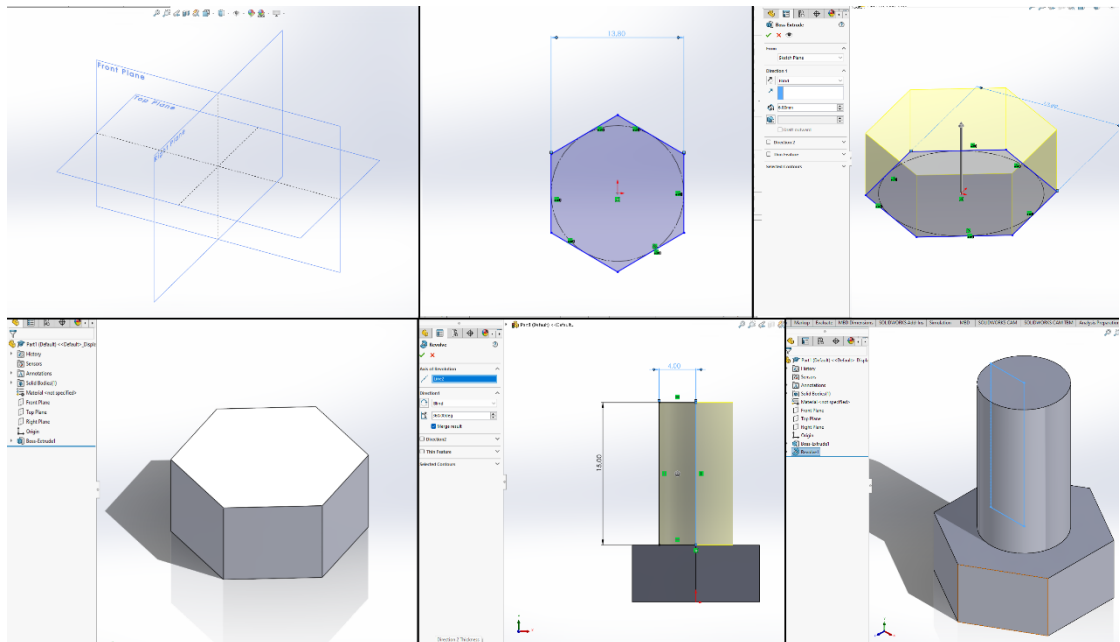
#### 3.1 Mallintaminen

Kaikkien valmistettävien ja ostettavien osien mallinnus, kokoonpanojen muodostaminen ja valmistuskuvien piirtäminen tapahtuu SolidWorks CAD-ohjelmalla. Lyhenne CAD tulee englannin kielen sanoista Computer Aided Design, joka suomennetaan tietokoneavusteiseksi suunnitteluksi.

Tietokoneavusteinen suunnittelu voidaan tiivistää yksinkertaistetusti ohjelmistossa piirrettävien 2-ulotteisten muotojen, "Sketchien", eli piirteiden, muuttamiseksi kolmiulotteisiksi malleiksi. Tyypillisimpiä toimintoja ovat Extruded Boss/Base, tai "pursotus", jolla kaksiulotteisesta perusmuodosta voidaan muodostaa kolmiulotteinen kappale. Esimerkiksi ympyrästä voidaan pursottaa lieriö. Toinen esimerkkitoiminto on Revolved Boss/Base, tai "pyöräyttäminen", jossa kaksiulotteinen perusmuoto pyöräytetään erikseen määritettävän akselin ympäri. Esimerkiksi puoliympyrästä voidaan muodostaa pallo pyöräyttämällä kaari suoran sivunsa ympäri. Samalla toiminnolla voidaan muodostaa ympyrästä donitsi pyöräyttämällä se ympyrän vieressä sijaitsevan akselin ympäri. Kolmantena esimerkkinä mainitsen varsinkin putkistoissa ja teräsrakenteissa käytettävät Swept Boss/Base, tai "pyyhkäisy", sekä Weldment-toiminnon. Swept Boss/Base toiminnolla kaksiulotteinen muoto, esimerkiksi ympyrä, pursotetaan erikseen piirretyn viivan tai käyrän määrittämän radan mukaisesti, muodostaen lieriön, jonka muoto noudattaa piirrettyä viivaa tai käyrää. Weldment-toiminnolla yksinkertaiseen rautalankamalliin voidaan liittää ohjelmaan tallennettu profiili, esimerkiksi neliö. Samoja perusmuotoja voi käyttää myös aineen poistamiseen olemassa olevasta muodosta.

Edellä mainituilla toiminnoilla esimerkiksi akselimaisen kappaleen voi muodostaa ainakin kolmella eri tekniikalla: Piirtämällä akselin profiilin ja pyöräyttämällä sen keskiakselinsa ympäri, muodostamalla akselin osat yksi kerrallaan toistensa päälle, tai mallintamalla paksumman akselin ja poistamalla siitä akselin mittoja vastaavat osat, tämä muistuttaa työmenetelmänä sorvausta (Myllymäki 2011, 7).

Havainnollistavana esimerkkinä kuvassa 6, on mallinnettu kuusiokantaruuvi. Ensimmäisenä ylävasemmalla tyhjä piirustusalue, jossa esitettyinä kolme ulottuvuutta, "Planea", eli tasoa, joihin muodon voi piirtää. Toisessa ruudussa on valittu "top"-taso ja piirretty kuusikulmio, jolle on määritetty mitta. Kolmannessa ruudussa käytetään pursotustoimintoa, jolla muutetaan kaksiulotteisesta muodosta neljännessä ruudussa näkyvä kolmiulotteinen kappale, tässä tapauksessa ruuvin kanta. Viidennessä ruudussa käytetään "Front"-tasoa, johon mallinnetaan suorakulmio, joka rajataan aiemmin muodostetun kuusikulmion pintaan. Viimeisessä ruudussa havainnollistetaan aiemmassa kappaleessa mainittua pyöräytystoimintoa ja muodostetaan suorakulmiosta lieriö, jolla viimeistellään yksinkertaistettu kuusiokantaruuvi.



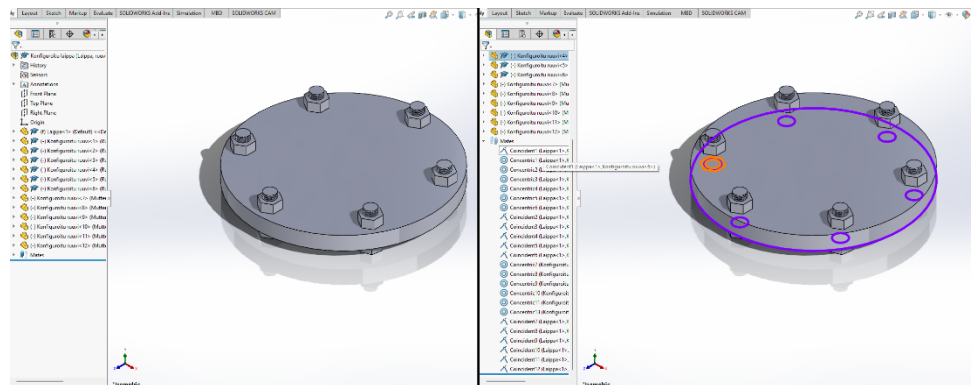
Kuva 6. Mallinnus SolidWorksissa

Kolmiulotteiset mallit ovat yleensä yksinkertaisia kappaleita, joita voidaan kuvata muutamalla perusmuodolla. Tämä sen vuoksi, että mallinnettavat muodot muodostetaan usein toistensa päälle ja sidotaan toistensa piirteisiin. Tästä seuraa, että rakennetta voi olla vaikea muuttaa jälkikäteen. Mikäli halutaan mallintaa suurempia kokonaisuuksia, kannattaa hyödyntää kokoonpanoja, jotka ovat yhdistelmiä useista erillisistä osista. Tällöin osien kiinnitystä ja suhteita toisiinsa on helpompi hallita.



## Kokoonpanot

Suunniteltaessa rakenteita on usein tarve mallintaa erikseen valmistettavia osia, joista muodostetaan suurempia kokonaisuuksia, kuten useista pienemmistä levyosista ja ruuveista voidaan muodostaa kaapisto, tai useista teräsosista, kuten ristikkorakenteesta, kaiteista ja portaikosta muodostetaan kulutaso. Alla, kuvassa 7 on esitetty yksinkertainen kokoonpano, jossa vasemalla näkyy laippa, johon on liitetty ruuvit ja ruuveihin mutterit. Vasemmassa reunassa on nähtävissä kokoonpanon osaluettelo. Kokoonpanot muodostetaan tuomalla osat samaan kokoonpanotiedostoon ja sitomalla osien piirteet toisiinsa sidoksilla, eli ”mateilla”. Kuvassa oikealla on nähtävissä näkymä, jossa on korostettu sidos ruuvin kuusiokannan pinnan ja laipan pinnan välillä. Sidoksissa oleellista on se, että osat sidotaan kaikissa kolmessa ulottuvuudessa.



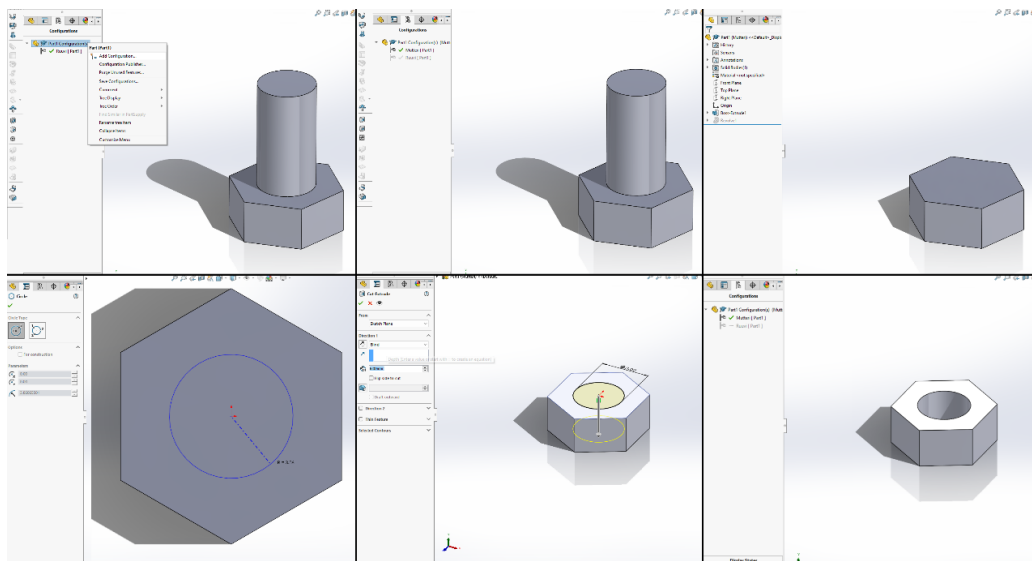
Kuva 7. Kokoonpanot

Kokoonpanoja voi luoda myös tuomalla osien lisäksi yhden tai useampia kokoonpanoja yhteen kokoonpanotiedostoon. Tällä tavalla luotua kokoonpanoa kutsutaan pääkokoonpanoksi, ja sen alle tuodut kokoonpanot ovat alikokoonpanoja (Impola 2021, 16).

## Konfiguraatiot

Konfiguraatiot ovat SolidWorksin mallien ja kokoonpanojen sisäinen ominaisuus, joka mahdollistaa useamman version mallintamisen samasta kappaleesta tai kokoonpanosta samaan tiedostoon.

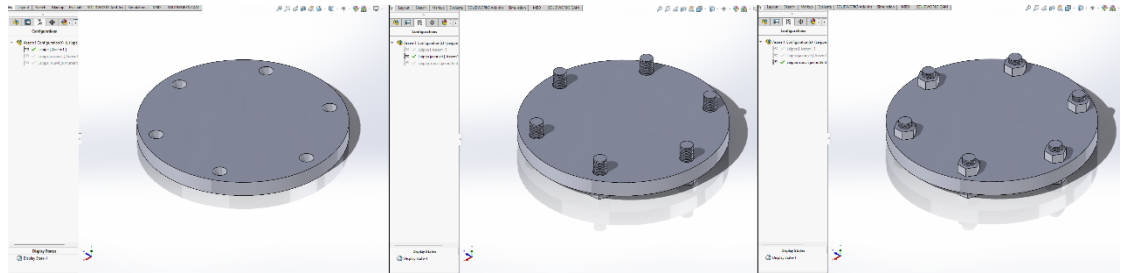
Osien konfiguraatiot ovat helppo tapa muodostaa useita osia, joissa käytetään samoja peruspiirteitä. Alla, kuvassa 8 aiemmassa esimerkissä mallinnettu kuusiokantaruuvi. Kuvassa ensimmäisessä ruudussa on auki konfiguraatiotvälilehti, johon on toisessa ruudussa lisätty konfiguraatio ”mutteri”. Kolmannessa ruudussa piilotetaan ruuvin lieriö-osa tästä konfiguraatiosta ja neljännessä ikkunassa piirretään konfiguraatioon haluttu piirre, joka seuraavassa ruudussa poistetaan ruuvin kannasta, näin muodostaen kuudennessa ikkunassa nähtävän mutterin. Nyt sekä ruuvi, että mutteri sisältyvät samaan tiedostoon.



Kuva 8. Konfiguraatiot

Kokoonpanojen konfigurointi poikkeaa osien konfiguroinnista oleellisesti, sillä ne muodostetaan olemassa olevista osista, eikä niihin voi enää luoda uusia muotoja. Kokoonpanoissakin käytössä on kuitenkin rajatut SolidWorksin materiaalin poistotyökalut. Kokoonpanojen konfigurointi perustuu niiden sisältämien osien manipulointiin. Sidosten konfigurointi on haastavaa, sillä edes yhtä sidosta muutettaessa osan asento saattaa muuttua oleellisesti. Sen vuoksi turvallisin tapa konfiguroida kokoonpanoja on tuoda esiin tai piilottaa osia eri konfiguraatioissa. Alla, kuvassa 9 esitetään yksinkertainen kokoonpanon konfigurointi, jossa vasemmanpuoleisessa kuvassa näytetään konfiguraatio, josta on piilotettu kaikki muut osat, paitsi kokoonpanon perusosa, laippa. Keskimäisessä kuvassa näytetään konfiguraatio, johon on tuotu esiin ruuvit, joilla laippa kiinnitetään, ja kolmannessa kuvassa ruuveissa on mutterit. Ensimmäisessä ruudussa esitetty kuva olisi käyttökelpoinen konfiguraatio laipan valmis-

tuskuvaa varten ja keskimäinen konfiguraatio voisi olla käytössä suurem-  
massa kokoonpanossa, johon ei tarvitsisi lisätä erikseen ruuveja. Esitetystä  
muodossa kolmannella konfiguraatiolla tuskin on käyttöarvoa, mutta jos mutte-  
rien sidos laippaan muutetaan laipan paksuutta vastaavaksi etäisyydeksi, voisi  
konfiguraatiolla esittää laippaliitoksen.

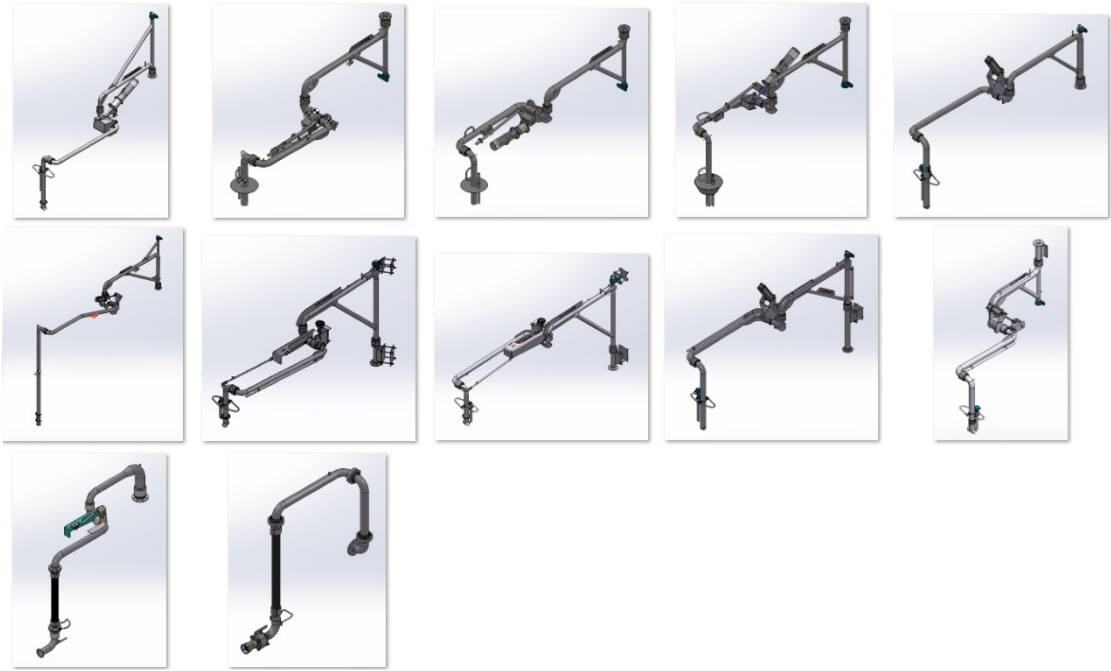


Kuva 9. Kokoonpanojen konfigurointi

Tuomalla konfiguroituja kokoonpanoja toisiin kokoonpanoihin voidaan mahdol-  
listaa monitasoinen konfigurointi, jossa suunnittelija voi tuoda tai piilottaa ali-  
kokoonpanoja pääkokoonpanossa, ja muuttaa alikokoonpanojen konfiguroituja  
asetuksia pääkokoonpanon alla. Esimerkiksi tuomalla kuvassa 9 konfigu-  
roidun laipan uuteen kokoonpanoon, käyttäjä voi piilottaa laipan yhdessä kon-  
figuraatiossa, ja tuoda esiin toisessa konfiguraatiossa, ja hallita erillisesti konfi-  
guroidussa laipassa näkyviä ruuveja ja muttereita.

### 3.2 Moduulit

Opinnäytetyön lähdemateriaalina on käytetty kahdeksaa eri lastausvarsipro-  
jektia ja niistä kerättyä kahtatoista eri lastausvartta, jotka on kuvattu seuraav-  
assa kuvassa 10. Kuvassa viimeisenä alarivillä näkyvää, merkittävästi eri-  
laista ja lyhyempää lastausvartta huomioimatta, lastausvarsien rakenne on  
päällisin puolin hyvin samankaltainen: jokaisessa on sama määrä niveliä sekä  
varsia. Erot muodostuvat nivelien osien tyypeistä ja varsien putkikäyrien käyt-  
tökuiluista.



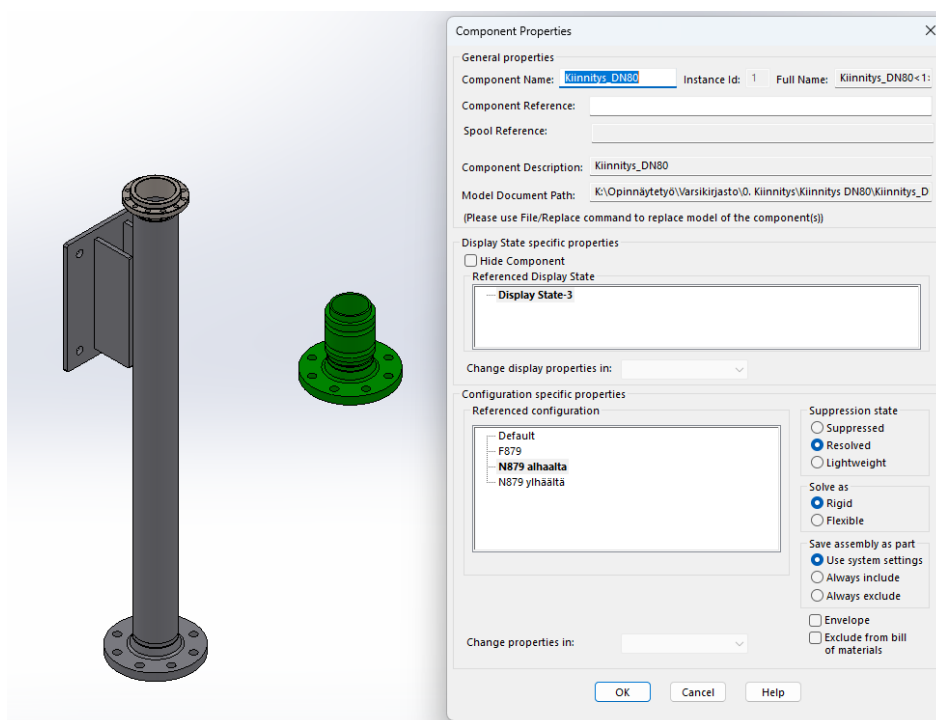
Kuva 10. Lähdemateriaalin varret

Yksi moduulikirjaston tavoitteista on muodostaa mahdollisimman pieni määrä mahdollisimman monikäyttöisiä, konfiguroituja kokoonpanoja. Tämän tavoitteen mukaisesti pienimmän määrän konfiguraatioita tavoittaisi mallilla, jossa moduulit jaetaan osiin putkikäyrien mukaan. Tämä mahdollistaisi sen, että sen sijaan että jokaisesta käyrän asennosta tehtäisiin oma konfiguraationsa, voisi saman konfiguraation asentaa seuraavaan moduuliin missä asennossa tahansa. Tämä idea ei ollut kuitenkaan toteuttamiskelpoinen, koska moduulien pitää sisältää kaikki valmistuskuvuihin tulevat hitsausliitokset (Kanerva 2023b). Tämän vuoksi ainoa toteuttamiskelpoinen tapa oli rajata moduulit nivelien mukaan, sillä nivelet yhdistetään mekaanisesti joko ruuviliitoksella, tai lisäämällä laakerikuulat. Moduulien rajaaminen nivelien mukaan mahdollistaa valmistuskuvien muodostamisen kokoonpanoista, mutta aiheuttaa sen, että jokainen putkikäyrän asento pitää konfiguroida erikseen.

Näin ollen mahdollisia moduuleita muodostui 5 kappaletta, joista ensimmäinen on vaihtoehtoinen, sillä “kiinnitysosa” ei tarvita, mikäli ensimmäinen varrenosa liitetään kemikaalilinjastoon suoraan laipalla. Tästä syystä aloitusosa nimettiin “nollamoduuliksi”.

## Kiinnitysmoduuli

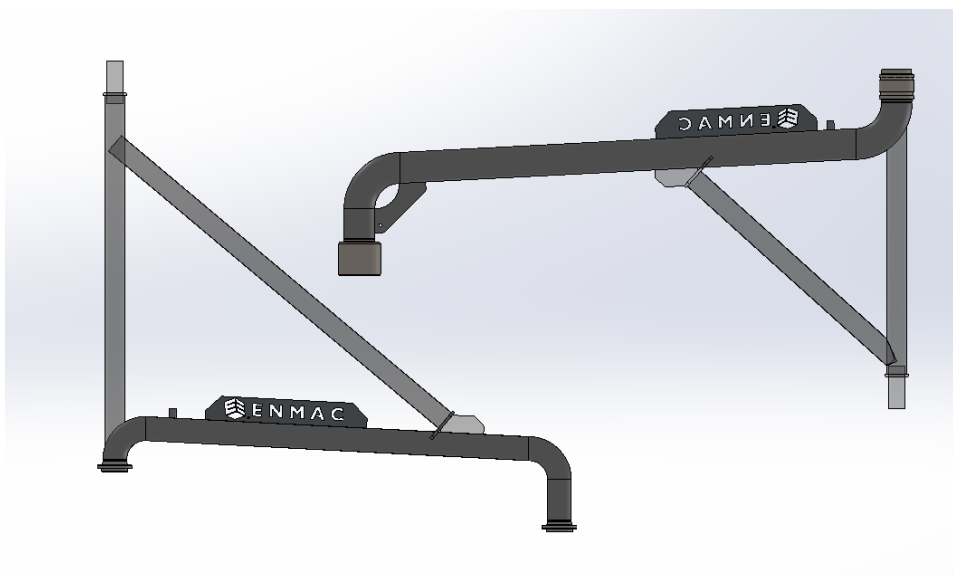
Ensimmäinen osa, tai “nollamoduuli” on lastausvarren kiinnitys kemikaaliputkistoon. Mikäli lastausvarren rakenne ei tarvitse lisätukea, liitäntä tapahtuu varren putkikoon kauluslaipalla, johon on hitsattu kaksilaakeririvisen nivelen urososa tai yksilaakeririvisen nivelen nivellaippa. Jos lastausvarsi tarvitsee tuentaa kiinteästä rakenteesta, tulee laipan ja nivelosan väliin mitta putkea, josta otetaan tuenta. Sillä, asennetaanko kiinnitysosa ylhäältä vai alhaalta aukeavaan putkistoon ei ole merkitystä yksilaakeririvisen nivelen kohdalla, jossa kiinnityslaipat ovat identtisiä. Kaksilaakeririviselle nivelelle pitää sen sijaan tehdä kaksi versiota sen mukaan, asennetaanko kiinnitysosa alhaalta ylöspäin vai ylhäältä alaspäin. Tueton vaihtoehto on nopea mallintaa kahdella eri kokoonpanolla, joissa yhdistetään kummatkin eri putkikoon laipat kolmessa eri konfiguraatiossa vuoroin kuhunkin nivelosaan: yksilaakeririvisen nivelen laippaan sekä vuoroin yksilaakeririvisen nivelen urososaan ja naarasosaan. Rakenteita on kaksi, mutta koska niiden osat ovat liki samat, tapahtuu mallinnus käytännössä kokoamalla osista kaksi erillistä kokoonpanoa, joista toisessa on tukirakenteet ja toisessa vain laippa ja nivel. Lopputuloksena on seuraavassa kuvassa 11 näkyvä kokonaisuus, jossa vasemmalla mallinnettuna ensin kiinnitysosa tuen kanssa, keskellä vihreällä korostettuna aloitusosa ilman tukirakenteita ja oikealla osan ominaisuusikkuna, jossa näkyy kootut konfiguraatiot.



Kuva 11. Moduuli 0

## Aloitusmoduuli

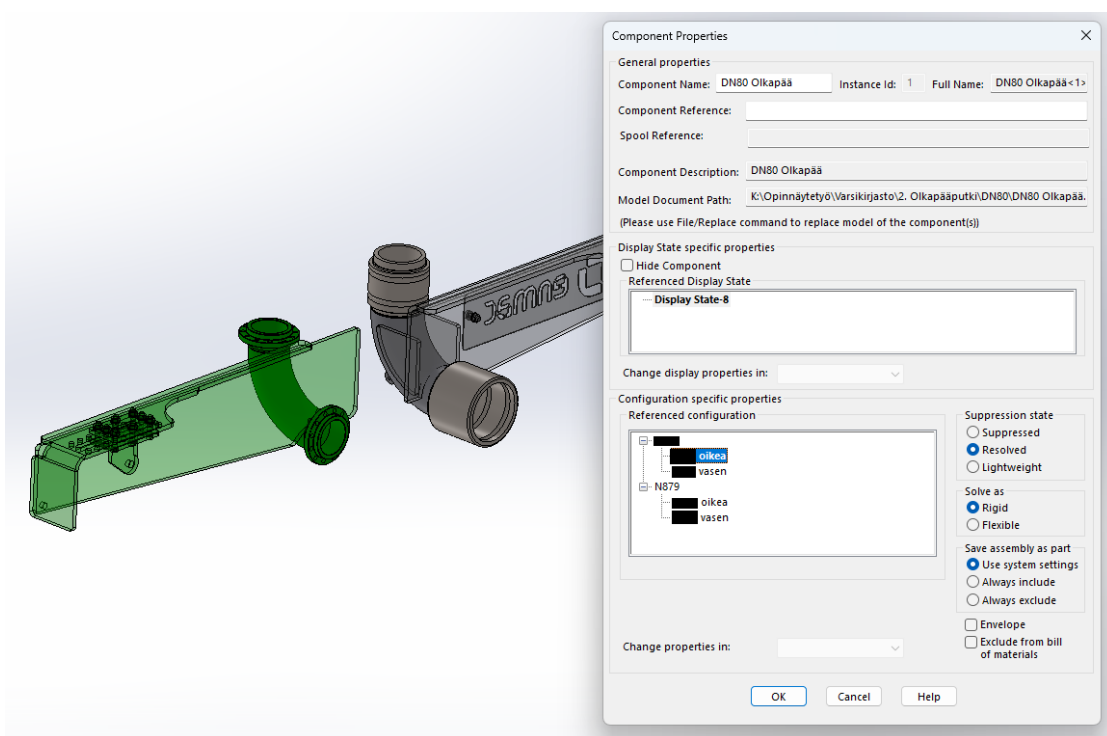
Seuraava, 1-moduuli, muodostuu yksinkertaisimmillaan kiinnitysosan nivelen parista, mihin hitsataan putkikäyrä kääntämään varsi vaakatasoon. Käyrää seuraa vaakatasoinen putki, joka päättyy putkikäyrään, jolla linja käännetään alaspäin. Putkikäyrään hitsataan seuraavan nivelen laippa tai naarasosa. Moduulia monimutkaistaa kuitenkin sekä aloituslaipan suunta, niin myös mahdollisten tukirakenteiden tarve, sillä ensimmäinen moduuli kantaa koko lastausvarren painon ja riippuen varren rakenteesta saattaa tarvita tukirakenteita. Rakenteet löytyvät valmiiksi mallinnettuina, mutta kokoonpanosta pitää tehdä kaksi konfiguroitua versiota, toinen tukirakenteilla ja toinen ilman. Sen lisäksi, vaikka ylhäältä ja alhaalta alkavien varsien tukirakenteet vaikuttavat samankaltaisilta, varren lievä kaato lastausvarren suuntaan tarkoittaa sitä, että tukirakenteissa ja niiden kiinnityksessä varren putkeen on eroja, eikä samaa rakennetta voi käyttää sekä ylhäältä, että alhaalta tuetuissa varsissa. Näin kummastakin varsimallista pitää tehdä omat versionsa, joihin kumpaankin tarvitsee konfiguroida kaikki nivelvaihtoehdot. Kuvassa 12, vasemmalla on alhaalta liitettävä aloitusmoduuli kolmiotuella ja yksilaakeririvisillä nivelosilla, ja oikealla ylhäältä liitettävä aloitusmoduuli kolmiotuella ja kaksilaakeririvisen nivelen nivelosilla.



Kuva 12. Moduuli 1

## Olkapäämoduuli

2-moduuli, eli “olkapää”, on perusrakenteeltaan yksinkertainen: putkikäyrä, jonka kumpaankin päähän täytyy versioida kummatkin nivelosat. Lisähaasteen moduuliin tuo kaksilaakeririvisen nivelen momenttituet, jotka pitää mallintaa alemman nivelen taakse molempikäteisesti. Olkapäästä pitää olla kummassakin putkikoossa versio kummallakin niveltyyppillä, sekä momenttituen kanssa tai ilman. Lopputuloksena saimme mallinnettua kuvassa 13 esitetyn ratkaisun, jossa kummankin putkikoon käyrästä konfiguroitiin ensin kaksi mallia: yksi kummallakin niveltyyppillä, ilman momenttitukea. Sen jälkeen molemmista niveltyyppistä mallinnettiin kaksi alikonfiguraatiota: yhden vasenkätisellä momenttituella, sekä toisen oikeakätisellä momenttituella. Näin muodostetusta modulaarisesta kokoonpanosta voi käyttää yhteensä kuutta eri versiota.

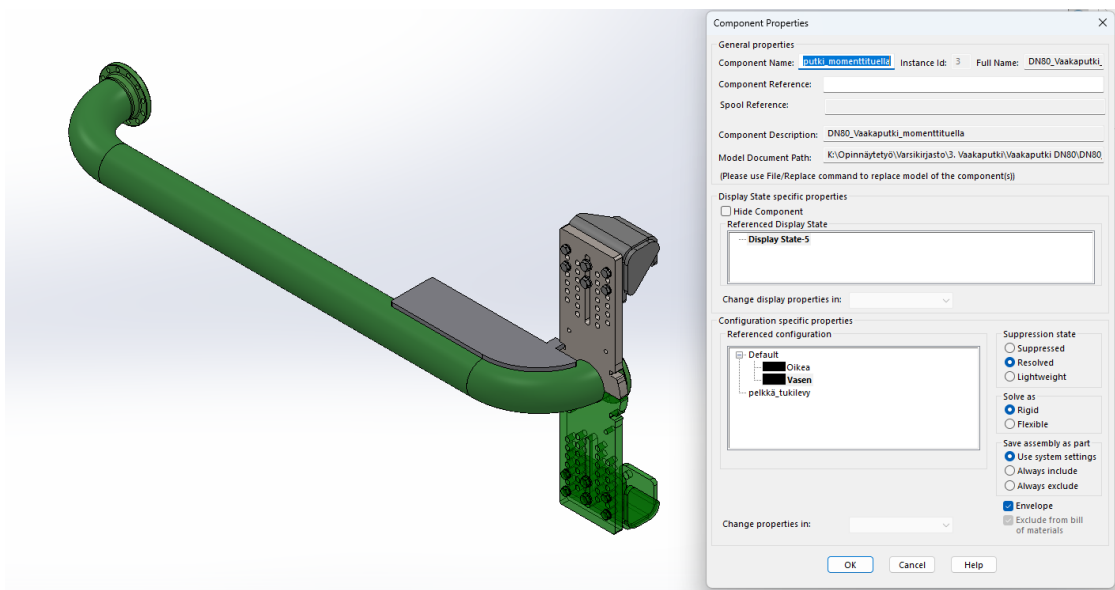


Kuva 13. Moduuli 2

## Vaakaputki-moduuli

3-moduuli, tai “vaakaputki” on suora putkiosa, jonka kummassakin päässä on käyrä, johon pitää konfiguroida paitsi kaikki nivelosat, myös laippaliitos mahdollista alalastausvarren letkuliitosta varten sekä putkikäyrät kaikissa mahdollisissa asennoissa. Muutaman epäonnistuneen yrityksen jälkeen päädyimme

muodostamaan kokoonpanon putkikäyrästä, johon versioitiin kummatkin nivelosat sekä kauluslaippa. Sen jälkeen muodostimme toisen kokoonpanon, joka muodostuu suorasta putkiosasta, jonka kummassakin päässä on aiemman kokoonpanon putkikäyrä. Putki konfiguroitiin niin, että siitä on versio käyrien jokaisesta asennosta. Sen lisäksi versioimme putken toiseen päähän kaksiläakerivisen nivelen momenttituen sekä ylä- että alapuolelle. Näin saatiin aikaiseksi suora putkiosa, jossa on täysin modulaariset päät ja sisäänrakennetut lisätyt momenttituet ja saimme kaikki ominaisuudet yhdellä kokoonpanolla kummallekin erilliselle putkikoolle. Kuvassa 14 valmis "vaakaputki"-moduuli.



Kuva 14. Moduuli 3

## Pystyputki-moduuli

4-moduuli, eli pystyputki, pitää sisällään erillisen moduulin sekä alalastausvarsilille, että ylälastausvarsilille. Alalastausvarren pystyputki koostuu kahdesta osasta, joista ensimmäinen muodostuu putkilaipasta ja sen alapäähän kiinnityvästä letkuosasta, jonka päähän konfiguroidaan eri nivelosat. Toinen osa koostuu konfiguroitavasta nivelosasta, johon yhdistyy putkikäyrä. Putkikäyrän jälkeen on lyhyt vaakatasoinen putkiosa, joka päättyy AISI-standardoituun laippaan, joka on API-liitin yhteensopiva. Ylälastausvarren pystyputki muodostetaan vaaka-akselille sijoitettavasta konfiguroitavasta nivelosasta, jonka jälkeen on pystysuuntainen putkiosa, joka päättyy urospuoliseen nokkavipuliitti-



meen. Putkiosassa on valikoima erilaisia lisävarusteita, kuten kahva, roiskelevy, sekä paikka pinta-anturille, jotka voidaan jättää malliin tai piilottaa projektin tarpeiden mukaan.

## **4 KIRJASTON KOKOAMINEN**

### **4.1 Kirjaston rakenne**

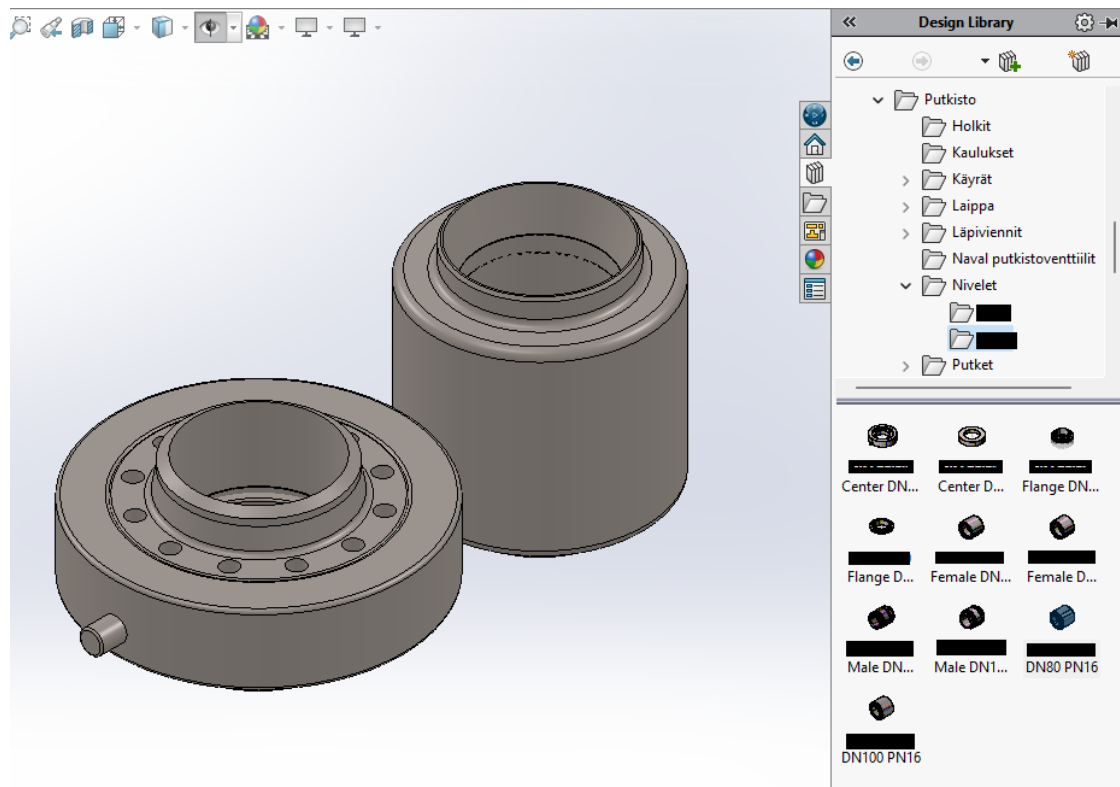
Komponenteilla tarkoitetaan kaikkia ostettavia vakio-osia, joita ei tarvitse erikseen valmistaa ja joita lastausvarsikokoonpanoissa käytetään, kuten ruuvit, aluslevyt, mutterit, nivelet ja liittimet. Komponenttikirjasto toteutetaan SolidWorksin sisäisenä kirjastona, johon mallinnetaan "vain luku" -muotoon kaikki niin sanotut "ostokomponentit". "Vain luku" -muotoon tallennus tarkoittaa sitä, ettei osia käyttävät tahot voi tehdä kirjaston osiin muutoksia, vaan vakio-osat säilyvät kirjastossa muuttumattomina. Näin osien tuotetiedot voidaan syöttää suoraan komponentin tietoihin, joista ne päivittyvät automaattisesti kaikkien komponenttia käyttävien valmistuskuvien osaluetteloihin.

Komponenttien mallit voidaan joissain tapauksissa saada suoraan valmistajilta, mutta niissä tapauksissa missä niitä ei ole saatavilla, mallinnetaan standardoidut osat, kuten laipat, standardissa annettujen mittojen mukaisesti, tai nivelien kohdalla valmistajalta saatujen piirustusten mukaisesti. Nivelet mallinnetaan valmistajan piirustusten mukaisesti sekä purettuina, että kokoonpanotuna. Nivelet toteutetaan näin, jotta ne toimivat oikein kokoonpanomallinnuksissa, ja siksi että tällä tavalla moduulit rajautuvat nivelten osien mukaan eikä koko lastausvarren kokoonpanokuvaan jää yhtään mitoitettavia hitsausliitoksia, vaan pelkästään mekaanisia liitoksia.

Niveliä mallinnettaessa kaksilaakeririvinen nivel, putkikoossa DN100, saatiin lähdeaineiston projektista, johon se oli aiemmin valmistajan piirustuksista mallinnettu. Samoin yksilaakeririvinen DN80-koon nivel löytyi aiemmasta projektista, josta saatiin malli käytettäväksi. Kahta muuta nivelkokoa ei ollut käytetty aineiston projekteissa, mutta pyysimme valmistajalta piirustukset, joiden pohjalta kaksilaakeririvinen nivel saatiin mallinnettua puuttuvassa koossa. Yksilaakeririvisen nivelen kohdalla kohtasimme esteen, sillä valmistaja ei toimittanut kuvia, joiden perusteella nivel voitaisiin tarkasti mallintaa. Suurimman ongelman tuottaa nivellaipan ruuvijako, sillä laippaan asennettavan momenttituen

ruuvijaon pitää olla identtinen laipan ruuvijaon kanssa. Koska kuvia ei ollut saatavilla, päädyimme skaalaamaan pienemmän nivelen laippoineen suuremmalle putkikoolle moduulien aikaansaamiseksi, ja tarkentamaan ruuvijaon mitat, kun piirustukset tai fyysinen kappale on saatavilla. Kun kaikki osat oli mallinnettu, niihin lisättiin tuotetiedot ja ne tallennettiin SolidWorksin kirjastoon.

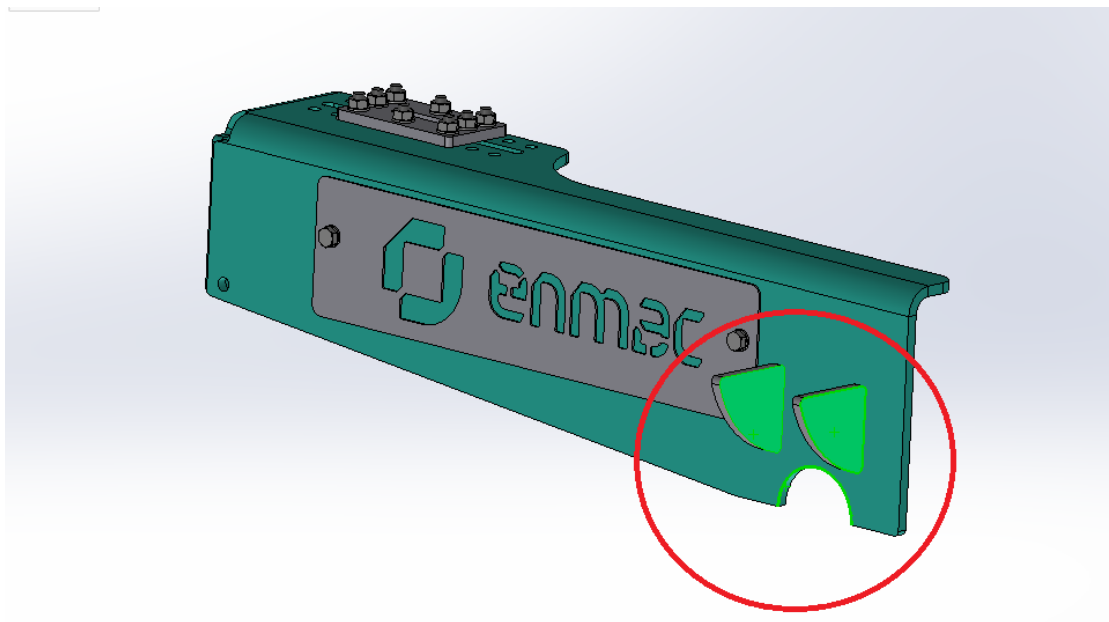
Alla, kuvassa 15, esillä valmistajan kuvista kirjastoon mallinnetut nivelet. Nivelekokonaisuudet on kokoonpantu irrallisina osina mallinnetuista nivelten osista. Kuvassa vasemmalla on yksilaakeririvinen nivel, keskellä kaksilaakeririvinen nivel, sekä oikeassa reunassa näkymä SolidWorksin kirjaston ”nivelet”-kansioon, jossa tallennettuina kaikki nivelten osat.



Kuva 15. Yksi- ja kaksilaakeririviset nivelet mallinnettuna.

Momenttitukia mallinnettaessa lähdemateriaalin aineistosta löytyi momenttituki molemmille niveltyypeille, kumpikin tosin vain yhdessä putkikoossa. Alla, kuvassa 16 esitetty kaksilaakeririviselle nivelelle tarkoitetun, putkeen hitsattavan momenttituen muokkaus toiselle putkikoolle. Muokkaus onnistui hyvin muuttamalla kuvassa vihreällä korostetun ja punaisella ympyröidyt putken läpiviennin halkaisija, sekä mitoittamalla putkeen hitsattavat tuet toisen putkikäyrän mitoille. Yksilaakeririvisen nivelen momenttituen muokkaaminen jäi ikävä kyllä

kesken, sillä tiesimme, ettei nivellaipan mitat ole tarkat, ja sen vuoksi momenttituen tarkka mallinnus on paitsi turhaa, voi virheellisen mallin tuottaminen pahimmassa tapauksessa johtaa vääränlaisen momenttituen valmistamiseen. Huolimatta mittojen epätarkkuudesta, momenttituki on käytettävissä esisuunnittelumateriaalina, johon ei tarvita tarkkoja kuvia. Koska momenttituki on ruuviiliitäntäinen, sen voi lisätä kokoonpanoihin pienellä vaivalla jälkikäteen.



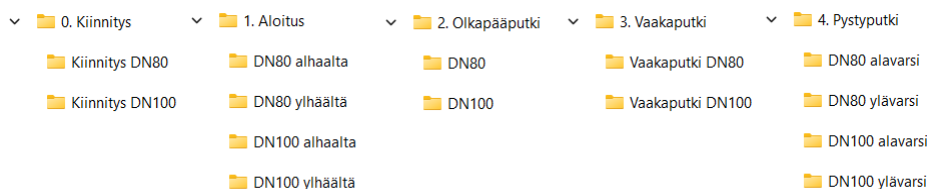
Kuva 16. Kaksilaakeririvisen nivelen momenttituen muokkaus.

## 4.2 Moduulikirjasto

Moduulikirjastoa ei voi toteuttaa SolidWorksin sisäisen kirjaston osina, sillä moduulit vaativat vähintäänkin putkiosien pituuden muokkausta jokaisessa projektissa ja SolidWorksin kirjaston osat ovat käytännössä toistensa kopioita, jotka tallennetaan ja avataan "vain luku" -muodossa, sillä kaikki niihin tehdyt muutokset muokkaavat jokaista kirjastokomponentista kopioitua osaa. Sen sijaan moduulit arkistoidaan tiedostopuuhun, josta voi kopioida tarvitsemansa moduulit uuteen projektikansioon ja muokata moduuleita ilman että muutokset vaikuttavat arkistoituu malliin ja aiheuttavat muutoksia kirjastoon.

Kirjaston kansiorakenne muodostuu moduulien määrän tarkentuessa. Lopulta kirjastoon muodostui alla näkyvän kuvan 17 osoittamat viisi päähaaraa, joissa jokaisessa on alakansiot vähintään putkikoon mukaan, mutta tarvittaessa myös rakenteellisten poikkeavuuksien mukaan, kuten esimerkiksi "1. Aloitus" -

moduulissa, jossa alakansiot on luotu jokaisen aloitusosan tyyppin mukaan. Kansiopuu pyrittiin pitämään mahdollisimman yksinkertaisena ja helppokäyttöisenä ja kaikki moduulit, joiden mallinnuksessa käytettiin samoja osia sijoitettiin samaan kansioon ja ainoastaan merkittävästi rakenteellisesti eroavat moduulit saivat oman kansionsa.



Kuva 17. Moduulikirjaston kansiorakenne

## Ostokomponentit

Ostokomponenteilla tarkoitetaan kaikkia valmiina ostettavia vakio- tai standardoituja osia, kuten putkiosia, niveliä, ruuveja, muttereita ja aluslevyjä. Ostokomponenttien mallit löytyvät usein aiempien projektien jäljiltä kirjastosta, tai ovat saatavissa valmistajalta tai jälleenmyyjältä. Mikäli mallia ei ole valmiina saatavilta, se mallinnetaan moduuleita varten olemassa olevien kuvien tai mittojen perusteella.

Valmiina ostettavien komponenttien käyttö on suositeltavaa, sillä valmisosien käyttö on kustannustehokkaampaa kuin itse valmistettavien osien käyttäminen (Pahl 1992, 320). Vaikka osaa käytettäisiin lastausvarren suunnittelussa ensimmäistä kertaa, eikä valmista mallia olisi saatavilla, kerran mallinnettu osa tallennetaan osakirjastoon ja on sieltä jatkossa käytettävissä.

## Valmistettavat osat

Valmistettavilla osilla tarkoitetaan kaikkia moduulikokoonpanoissa esiintyviä osia, joita ei voi ostaa asennusvalmiina tai joihin pitää tehdä muutoksia. Lastausvarsissa niitä ovat esimerkiksi maadoituskorvat, putkien tuennat sekä kevennysten momenttituet sekä putkiosat, jotka mitoitetaan alustavasti moduuleihin ja lopullisesti vasta asiakkaan toiveiden tai asennuskohteen ominaisuuksien mukaisesti.

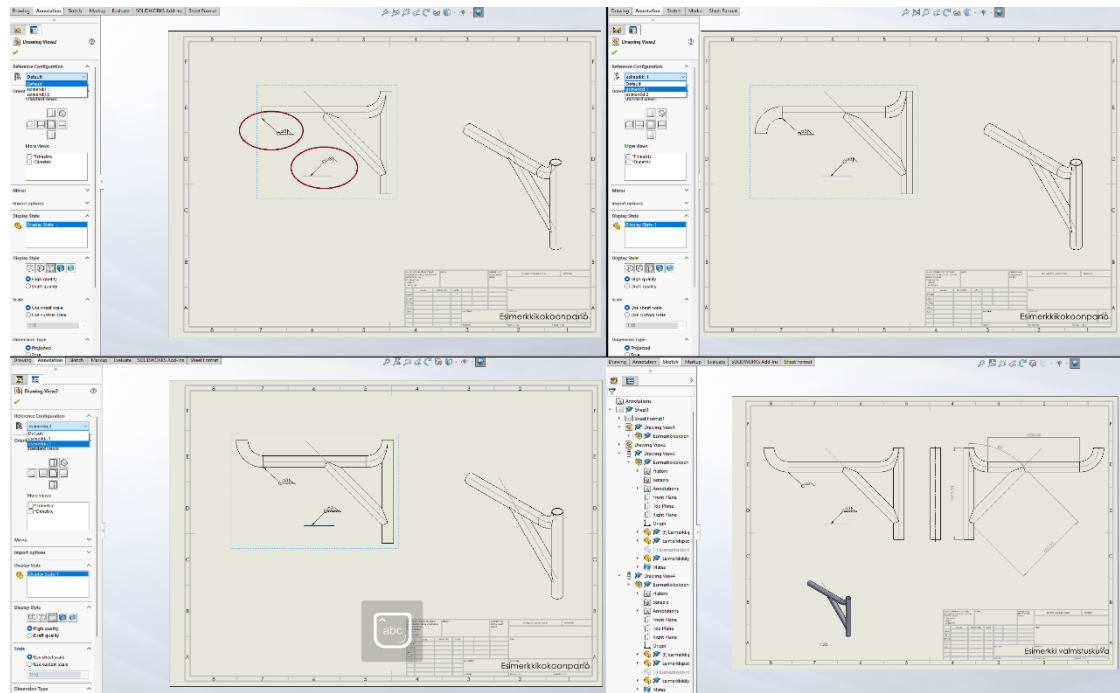
Nimensä mukaisesti kaikki valmistettavat osat pitää valmistaa enemmän tai vähemmän itse. Suunnittelijan osalta tämä tarkoittaa sitä, että jokaisesta osasta pitää olla malli, sekä valmistuskuva. Käytännössä valmistettavalla osalla ei aina tarkoiteta yksittäistä kappaletta, vaan kyseessä voi olla useasta kappaleesta koostuva osa, joka voidaan kuvata yksittäisellä mallilla ja yhdellä valmistuskuvalla.

Esimerkiksi putkiosa, joka koostuu useammasta suorasta putken osasta ja valmiiksi ostettavasta putkikäyrästä on silti yksittäinen valmistettava osa, mikäli kappale voidaan mallintaa yhtenä tiedostona ja sen valmistus voidaan tiivistää yhteen selkeälukuiseen valmistuskuvaan. Yleensä, mikäli osasta käytetään kokoonpanossa toista kappaletta, jota voidaan kuvata peilikuvaksi, ei tästä peilikuvasta tehdä omaa 3D mallia tai valmistuskuvaa, vaan samalla valmistuskuvalla voidaan teettää toinen kappale ”peilikuvana”.

### **4.3 Valmistus- ja kokoonpanokuvat**

Valmistuskuva on kuvan 18 esittämän yksinkertaistetun mallin kaltainen tekninen piirustus, jossa esitetään kaikki tuotteen valmistukseen tarvittavat osat ja komponentit, sekä niiden valmistustavat ja mitat. Se on ohje, jolla kuka tahansa ammattilainen pystyy yksiselitteisesti valmistamaan kuvassa esitetyn tuotteen. SolidWorksissä valmistus- ja kokoonpanokuvien muodostaminen tapahtuu luomalla kaksiulotteisia kuvantoja kolmiulotteisista malleista. Koska kuvannot muodostuvat suoraan kolmiulotteisista malleista, malleihin tehdyt muutokset muuttavat niiden kuvantoja automaattisesti. (Hietikko 2023, 25.)

Vaikka SolidWorksin kaltaiset tietokoneohjelmat säästävät paljon aikaa valmistuskuvien piirtämisessä, kuluu niihin silti merkittävä määrä työtunteja. Sen vuoksi moduulien uudelleenkäytettävät valmistuskuvat ovat merkittävä osa modulaarisen rakenteen hyötyjä, ja vähentävät lastausvarsiprojektien työtuntien määrää. Suhteessa suurimman hyödyn modulaarisesta kirjastosta saavat esisuunnittelumallit hyötyvät moduulien valmiista valmistuskuvista vähiten, sillä esisuunnittelukuvissa esiintyy koko lastausvarsikokoonpano, jota on käytännössä mahdotonta konfiguroida valmiiksi, vaan kuvat täytyy piirtää joka projektiin itse.



Kuva 18. Valmistuskuva esimerkki

Varsinaiset moduulien valmistuskuvat on rajattu opinnäytteestä pois, mutta voin avata kuvien valmistusta yleisemmällä tasolla ja työhön liittymättömällä mallilla, jonka kuvitteellinen valmistuskuva nähdään yllä kuvassa 18. Kuvassa esitetyn mallin kaltaisen kappaleen valmistuskuvassa esitetään yleensä kaksi tai kolme projektiota eli kuvantoa, jossa esitetään kaikki tarvittavat mitat sekä hitsausmerkinnät, millä kuka tahansa ammattilainen pystyy valmistamaan halutunlaisen kappaleen. Mitat ja merkinnät sidotaan kuvan muotoihin, suoriin, viivojen leikkauksiin tai pisteisiin.

Merkintöjen sitominen kuvannon piirteisiin aiheuttaa ongelman kun piirretään valmistuskuvaa, jonka konfiguraatiota saatetaan muuttaa, sillä samalla kuvannon piirteet muuttuvat. Kuvassa 18 esitetystä mallista olen ratkaissut ongelman kahdella tapaa: Koska osien tai niiden asentojen vaihtuminen aiheuttaa mittojen ja merkkien ”hajoamista”, on kokoonpanossa konfiguroitu ainoastaan mallin reunimmaisista osista, kuten esimerkikokoonpanossa putkikäyrä ja moduuleissa nivelosat, jolloin kaikki muut mitat ja merkit säilyvät ennallaan. Sen lisäksi kaikki konfiguroidut osat ovat ostokomponentteja, joita ei tarvitse erikseen mitoittaa. Näin kaikki tarvittavat mitat ja merkinnät, kuten kuvassa 18 punaisella ympyröity ylempi hitsausmerkintä, voidaan yleensä sitoa konfiguroitun osaan liitettävän muuttumattoman osan piirteisiin, jolloin konfiguraation

vaihtaminen ei vaikuta mittoihin ja merkkeihin. Niissä tapauksissa, missä konfiguroituun osaan pitää tehdä hitsausmerkintä, voidaan myös käyttää yleishitsimerkintää, esimerkkinä kuvan 18 alempi punaisella ympyröity merkintä. Kuten kuvan 18 toisessa ja kolmannessa ruudussa on nähtävissä, konfiguraation muuttumattomaan piirteeseen sidottu hitsausmerkintä ei katoa tai hukkaa siidostaan malliin konfiguraation muuttuessa, sillä piirre, johon se on sidottu, pysyy ennallaan. Tällä tekniikalla voidaan muodostaa valmistuskuvat mistä tahansa mallista, jonka konfiguroinneissa käytetään samaa hitsausmerkintää, ja joissa muutetaan ainoastaan mallin reunimmaisista kappaleista.

#### **4.4 Ohjeet**

Osana opinnäytetyötä muodostetaan lyhyet kirjalliset ohjeet moduulien ja komponenttikirjaston käyttöä varten. Käyttöohjeiden rooli projektin kannalta on pieni, mutta niiden laatiminen toimii mahdollisuutena katsoa moduuleita toisesta näkökulmasta ja miettiä niiden toimivuutta ja käyttöä.

Käyttöohjeet avataan lyhyellä kappaleella, jossa esitetään, kuinka kirjastoa käytetään sekä kuvaillaan moduulien käyttötarkoitus ja pääominaisuudet. Seuraavissa kappaleissa moduulit käsitellään yksi kerrallaan, käydään läpi kirjaston kansioiden järjestys, niiden sisältämien moduulien määrät ja nimeämissääntö, sekä selittäen ja kuvien havainnollistaen moduulien konfiguraatiot, ominaisuudet sekä käyttötarkoitus. Käyttöohjeiden lopussa on kappale, johon on koostettu yleisiä huomioita koskien kaikkien moduulien käyttöä, sekä mallien ja nivelosien yhdistämistä. Kappaleessa varoitetaan myös tiedetyistä kirjaston tai moduulien puutteista, kuten yksilaakeririvisen nivelen ruuvijaon viitteellisyydestä, ja sen alle koostetaan lista mahdollisesti malleista löytyvistä häiriöistä ja niiden korjauksesta.

## **5 JOHTOPÄÄTÖKSET**

Opinnäytetyön tarkoituksena oli luoda SolidWorks CAD-ohjelmalla aiempien kemikaalien lastausvarsiprojektien pohjalta lastausvarsille uusi, konfiguroitavista kokoonpanoista koostuva modulaarinen rakenne ja koostaa moduuleista kirjasto. Moduulikirjasto tulee sisältämään kaikki halutut, uudelleen käytettävät ominaisuudet lähdemateriaaliksi valikoiduista aiemmin toteutetuista, ja hyväksi todetuista, lastausvarsimalleista. Kirjasto tarjoaa nopean keinon muodostaa

uusi lastausvarsi ja projektin esisuunnittelukuva kunkin asiakkaan toiveiden mukaisesti ja tulee säästämään suunnittelussa merkittävän määrän työtunteja.

Projektin alussa, työnjohdon avustuksella, moduuleiden luomiseen käyttökel-poisten jo toteutettujen lastausvarsiprojektien ja lastausvarsien rakenteellisten erojen kartoittaminen kävi tehokkaasti. Valitut mallit toimivat hyvin kirjaston pohjana ja mallien ulkoasun yhtenäistäminen kävi nopeasti. Modulaarisen ra-kenteen suunnittelussa oli ensin pientä epävarmuutta, mutta moduulien rajat muodostuivat loppujen lopuksi nopeasti lastausvarsien rakenteen ehdoilla. Eri moduulit tarjosivat erilaisia haasteita konfiguroinnin suhteen, ja joissakin osissa suunnittelu takkuili alkuunsa. Jouduinkin hylkäämään muutaman jo aloitetun moduulin konfiguroinnin ja palaamaan alkuun etsiessäni sellaista lä-hestymistapaa, joka sallisi luoda mahdollisimman vähän toimivia moduuleita, joissa olisi mahdollisimman paljon konfiguraatioita. Loppujen lopuksi olen erit-täin tyytyväinen siihen määrään moduulikokoonpanoja, mitä mihinkin kansioon muodostui, ja koen että voin perustella jokaisen moduulikokoonpanon tai sen puutteen.

Projekti oli oppimiskokemus, jossa sain laajentaa osaamistani jo aiemmin tu-tuksi käyneessä SolidWorksissä. Varsinkin alikonfiguraatiot ja monikerroksi-sen kokoonpanojen konfiguroinnin hahmottaminen oli varsinainen elämys, sillä oivallusta edelsi useampi epäonnistuminen kokoonpanojen sidosten kon-figuroinnissa.

Myös havainnot konfiguroitujen kokoonpanojen valmistuskuvien piirtämisestä olivat uusia, sillä aiempien kokemusteni pohjalta olin päätenyt virheelliseen kä-sitykseen siitä, kuinka konfiguroitujen kokoonpanojen valmistuskuviin ei voi li-sätä mittoja tai muita piirteisiin lisättyjä merkintöjä, ilman että merkinnät ”hajo-aisivat” konfiguraation muuttuessa. Projektin myötä uskon vakaasti, että mikäli valmistuskuvat otetaan huomioon jo kokoonpanoja, ja konfigurointeja, muo-dostaessa, on hyvinkin mahdollista saada aikaiseksi toimivia konfiguroitujen kokoonpanojen valmistuskuvia. Moduulikirjaston mallit on nyt suunniteltu niin, että vaikka työn aikataulua nopeutettiin ja työtunteja karsittiin niin, ettei valmis-tuskuvia ehditty projektin puitteissa toteuttaa, on ne helppo ja nopea piirtää moduuleista jälkikäteen. Nykyiselläänkin, ilmankin valmistuskuvia, kirjasto tu-lee säästämään lastausvarsien suunnittelussa suuresti työtunteja.



Opinnäytetyöprosessi sai minut vakuuttuneeksi siitä, kuinka monipuolinen ohjelmisto SolidWorks on, ja kuinka suhteellisen pienellä suunnittelulla samankaltaiset projektit on mahdollista koostaa hyvin mallinnettuihin ja konfiguroituihin kokoonpanoihin. 3D-suunnittelun mahdollisuudet ovat liki rajattomat ja käyttämällä koulutettujen suunnittelijoiden taitoja ja ohjelmistojen ominaisuuksia oikein saadaan toistuvat mallinnusprojektit minimoitua ja työtunnit käytettyä tehokkaammin uusien haasteiden parissa.

## LÄHTEET

Hietikko, E. 2023. SolidWorks 2023: tietokoneavusteinen suunnittelu. Helsinki: BoD – Books on Demand.

Horto, D. 2020. Standardien vertailu putkistosuunnittelussa. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Bio- ja kemiantekniikka. Opinnäyte. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2020111823145> [27.11.2023].

Impola, H. 2021. Hoitotasojen ja portaiden parametrinen mallien kehittäminen. Kaakkois-Suomen Ammattikorkeakoulu. Energiatekniikan koulutusohjelma. Opinnäyte. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-202105199549> [21.11.2023].

Kanerva, T. 2023a. Design Manager. Haastattelu 28.9. Enmac Oy.

Kanerva, T. 2023b. Design Manager. Haastattelu 2.11. Enmac Oy.

Myllymäki, V. 2011. SolidWorks: opetuspaketti. Keski-Pohjanmaan Ammattikorkeakoulu. Tuotantotalouden koulutusohjelma. Opinnäyte. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201105127480> [7.12.2023].

Pahl, G. & Beitz, W. 1992. Koneensuunnitteluoppi. 2. painos. Helsinki: MET.

SFS-EN 1092-1. 2018. Laipat ja laippaliitokset. Pyöreät laipat putkille, venttiileille, yhteille ja varusteille, PN-mitoitetut. Osa 1: Teräslaipat.

SFS-EN 14420-7. 2022 Letkut ja letkukokoonpanot.

SFS-EN 13480. 2017. Metalliset teollisuusputkistot. Osa 1: Yleistä, Osa 2: Materiaalit.

Tieliikenteen tavarankuljetukset. 2023. Tilastokeskus. Sähköinen tietoaineisto. 18.4.2023. Saatavissa: [https://pxdata.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin\\_kttav/statfin\\_kttav\\_pxt\\_117j.px/table/tableViewLayout1/](https://pxdata.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin_kttav/statfin_kttav_pxt_117j.px/table/tableViewLayout1/) [14.12.2023].

## KUVALUETTELO

Kuva 1: Ylä- ja alalastausvarret. Valtonen, T. Kuvakaappaus SolidWorks-ohjelmasta.

Kuva 2: Lesjöfors Springs Oy:n kaasujousi. Kuva yrityksen sivuilta. Lesjöfors Springs Oy. 2023. Saatavissa: <https://www.lesjoforsab.com/fi/tuote/dynaaminen-kaasujousi/>

Kuva 3: Ala- ja ylälastausvarsien laipat ja liittimet. Valtonen, T. Kuvakaappaus SolidWorks-mallista.

Kuva 4: Silean API-liitin. Kuva yrityksen sivuilta. Silea Liquid Transfer Srl. 2023. Saatavissa: <https://www.silea.it/en/uploads/prodotti/05134101.jpg>

Kuva 5: Silean yksi- ja kaksilaakeririviset nivelet. Kuvat yrityksen sivuilta. Saatavissa: <https://www.silea.it/en/uploads/prodotti/F8790005-V.jpg> ja [https://www.silea.it/en/uploads/prodotti/N8790005-V\\_1.jpg](https://www.silea.it/en/uploads/prodotti/N8790005-V_1.jpg)

Kuva 6: Mallinnus SolidWorksissa. Valtonen, T. Kuvakaappaukset SolidWorks-ohjelmasta.

Kuva 7: Kokoonpanot. Valtonen, T. Kuvakaappaukset SolidWorks-ohjelmasta.

Kuva 8: Konfiguraatiot. Valtonen, T. Kuvakaappaukset SolidWorks-ohjelmasta.

Kuva 9: Kokoonpanojen konfigurointi. Valtonen, T. Kuvakaappaukset SolidWorks-ohjelmasta.

Kuva 10: Lähdemateriaalin varret. Valtonen, T. Kuvakaappaukset SolidWorks-ohjelmasta.

Kuva 11: Moduuli 0. Valtonen, T. Kuvakaappaus SolidWorks-ohjelmasta.

Kuva 12: Moduuli 1. Valtonen, T. Kuvakaappaus SolidWorks-ohjelmasta.

Kuva 13: Moduuli 2. Valtonen, T. Kuvakaappaus SolidWorks-ohjelmasta.

Kuva 14: Moduuli 3. Valtonen, T. Kuvakaappaus SolidWorks-ohjelmasta.

Kuva 15: Yksi- ja kaksilaakeririviset nivelet mallinnettuna. Valtonen, T. Kuvakaappaus SolidWorks-ohjelmasta.

Kuva 16: Kaksilaakeririvisen nivelen momenttituen muokkaus. Valtonen, T. Kuvakaappaus SolidWorks-ohjelmasta.

Kuva 17: Moduulikirjaston kansiorakenne. Valtonen, T. Kuvakaappaus SolidWorks-ohjelmasta.

Kuva 18: Valmistuskuva esimerkki. Valtonen, T. Kuvakaappaus SolidWorks-ohjelmasta.