



Karelia-ammattikorkeakoulu  
Insinööri (AMK)

# Vääntönokan geometrinen muotoilu määritetyllä kulma- alueella

Tuotekehitysprojekti

Veikka Parviainen

Opinnäytetyö, toukokuu 2023

[www.karelia.fi](http://www.karelia.fi)



**OPINNÄYTETYÖ**  
**Huhtikuu 2023**  
**Konetekniikan koulutus**

Tikkarinne 9  
80200 JOENSUU  
+358 13 260 600 (vaihde)

Tekijä  
Veikka Parviainen

Nimeke  
Vääntönokan geometrinen muotoilu määritetyllä kulma-alueella

Toimeksiantaja  
Abloy Oy

**Tiivistelmä**

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tietokoneavusteisesti laskea sekä myös mallintaa uusi vääntönokan geometria jo olemassa olevaan ovensulkimeen. Suunnitelluista vääntönokista tullaan valmistamaan fyysisiä prototyyppejä toimeksiantajayrityksen tuotekehitykseen.

Opinnäytetyön tuotekehitysprojektin toimeksiantaja toimii Abloy Oy. Abloy Oy on edelläkävijäyritys kulunhallinta- sekä lukitusjärjestelmien saralla ja toimittaa tuotteita ympäri maailman.

Nokka-akselien vääntönokkien geometrioiden laskennassa käytettiin apuna Excel pohjaista laskentaohjelmaa, jonka tuottamien tulosten pohjalta 3D-mallinnettiin nokka-akseleita. 3D-mallinnus toteutettiin SolidWorks 3D -mallintamisohjelmalla.

Opinnäytetyön tuloksena saatiin useita erilaisia nokkageometrioita sekä nokka-akseleiden 3D-malleja. Työn tuloksena syntyneistä nokka-akseleista valittiin kaksi parhaaksi arvioitua nokkaa, joiden fyysiset prototyypit tilattiin valmistettavaksi. Kyseiset nokat tullaan testaamaan tulevaisuudessa toimeksiantajayrityksen toimesta, standardin SFS EN-1154 mukaisesti.

Kieli  
suomi

Sivuja 39  
Liitteet 0  
Liitesivumäärä 0

Asiasanat  
tuotekehitys, vääntönokka, 3D-suunnittelu



**THESIS**  
**April 2023**  
**Degree Programme in Mechanical Engineering**

Tikkarinne 9  
80200 JOENSUU  
FINLAND  
+ 358 13 260 600 (switchboard)

Author  
Veikka Parviainen

Title  
Geometric Design of a Torque-controlled Cam in a Specified Angular Range

Commissioned by  
Abloy Oy

#### Abstract

The purpose of this thesis was to calculate and design a new cam geometry for a pre-existing door closer product. The designed camshafts will be produced into physical prototypes to be used in product development in the client company.

The thesis was commissioned by Abloy Oy. Abloy Oy is a forerunner company in the field of access control and locking systems and delivers products worldwide.

An Excel based calculating program was used in the calculating of the cam geometries. 3D-models of the camshafts were produced, based on the results produced by the calculating program. 3D-modelling was performed with the use of SolidWorks 3D-modeling program.

Several different cam geometries and 3D-models were produced as the result of this thesis. From the resulting camshafts, the two cams rated as the best were selected, and the physical prototypes have been ordered for production. These camshafts will be tested in the future, by the client company in accordance with the standard SFS-EN 1154.

Language  
Finnish

Pages 39  
Appendices 0  
Pages of Appendices 0

Keywords  
product development, torque-controlled cam, 3D-design

# Sisältö

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 1   | Johdanto .....                                    | 5  |
| 2   | Taustatietoa .....                                | 6  |
| 2.1 | Abloy Oy .....                                    | 6  |
| 2.2 | Ovensuljin .....                                  | 6  |
| 2.3 | Ovensulkimen toiminta ja rakenne .....            | 7  |
| 2.4 | Nokka-akselin toiminta .....                      | 9  |
| 2.5 | Hydraulijärjestelmät .....                        | 10 |
| 2.6 | Hydrodynamiikka .....                             | 12 |
| 2.7 | Standardi SFS EN-1154 .....                       | 15 |
| 3   | Tuotekehitys .....                                | 17 |
| 3.1 | Ulrich & Eppinger .....                           | 18 |
| 3.2 | Tuoteohjelman suunnittelu .....                   | 19 |
| 3.3 | Konseptisuunnittelu .....                         | 20 |
| 3.4 | Systeemisuunnittelu .....                         | 23 |
| 3.5 | Detaljisuunnittelu .....                          | 24 |
| 3.6 | Testaus .....                                     | 24 |
| 3.7 | Tuotteen lanseeraus ja tuotannon käynnistys ..... | 25 |
| 4   | Nokka-akselin kehitysprosessi .....               | 26 |
| 4.1 | Lähtötilanne .....                                | 26 |
| 4.2 | Tavoitteet .....                                  | 26 |
| 4.3 | Laskentaohjelma .....                             | 27 |
| 4.4 | CAD-mallien luominen .....                        | 31 |
| 5   | Tulokset .....                                    | 34 |
| 6   | Pohdinta .....                                    | 37 |
|     | Lähteet .....                                     | 39 |

## 1 Johdanto

Tässä opinnäytetyössä perehdytään ja syvennytään ovensulkimen toimintaperiaatteeseen ja tarkemmin siihen, miten ovensulkimissa käytetyn nokka-akselin muoto vaikuttaa ovensulkimen toimintaan. Tämän opinnäytetyön tavoitteena on tietokoneavusteisesti mitoitaa olemassa olevaan ovensulkimeen geometrialtaan uusi vääntönokka, jonka avulla saataisiin parannettua ovensulkimen toimintaa. Tässä tuotekehitysprosessissa keskitytään ennalta määritettyyn kulma-alueeseen  $88^{\circ}$ -  $92^{\circ}$  ja vääntönokan geometriseen uudelleenmuotoiluun siten, että ovea sulkevan vääntömomentin pienintä arvoa kyseisellä kulma-alueella saataisiin korotettua.

Tavoitteellisen vääntönokan geometrian toiminnan tulee myös täyttää kaikki ovensulkimissa käytetyn standardin SFS-EN 1154 voimaluokituksen 6 asettamat parametrit, jotka jo olemassa olevan vääntönokan toiminta mahdollistaa. Parhaaksi osoittautuneet tietokoneavusteisesti lasketut vääntönokat tullaan valmistamaan fyysiseksi prototyypiksi. Fyysisien prototyyppien valmistus ja testaus eivät kumminkaan sisälly tähän opinnäytetyöhön.

Työn tulosta tarvitsee toimeksiantajana toimiva yritys Abloy Oy. Valmiin opinnäytetyön tuloksia tullaan hyödyntämään ovensuljintehtaan tuotekehityksessä. Työn aikana syntyvien tulosten avulla tullaan suunnittelemaan uudistettu vääntönokka ovensulkimeen, joka tulee mahdollistamaan ovensulkimen tehokkaamman toiminnan, niin teoreettisessa merkityksessä kuin myös käytännössä.

## 2 Taustatietoa

### 2.1 Abloy Oy

Toimeksiantajayrityksen Abloy Oy:n toiminnan kulmakiviä ovat innovaatio, kestävä kehitys ja laatu. Abloy Oy on suunnannäyttäjäyritys ympäri maailman, kulunhallinta- sekä lukitusjärjestelmien saralla. Abloy Oy työllistää yhteensä noin 1000 työntekijää, joista 750 toimii Suomessa ja loput eripuolilla maailmaa. Abloyn kattava jakeluverkosto toimii maailmanlaajuisesti 90:ssä eri maassa, sekä Suomessa asiakkaita palvelee Abloyn valtuuttamia lukkoliikkeitä jo 150. Lisäksi yrityksenä Abloy Oy tarjoaa laajasti erilaisia uramahdollisuuksia, aina teknisestä suunnittelusta ohjelmistojenkehitykseen. (Abloy Oy 2023a)

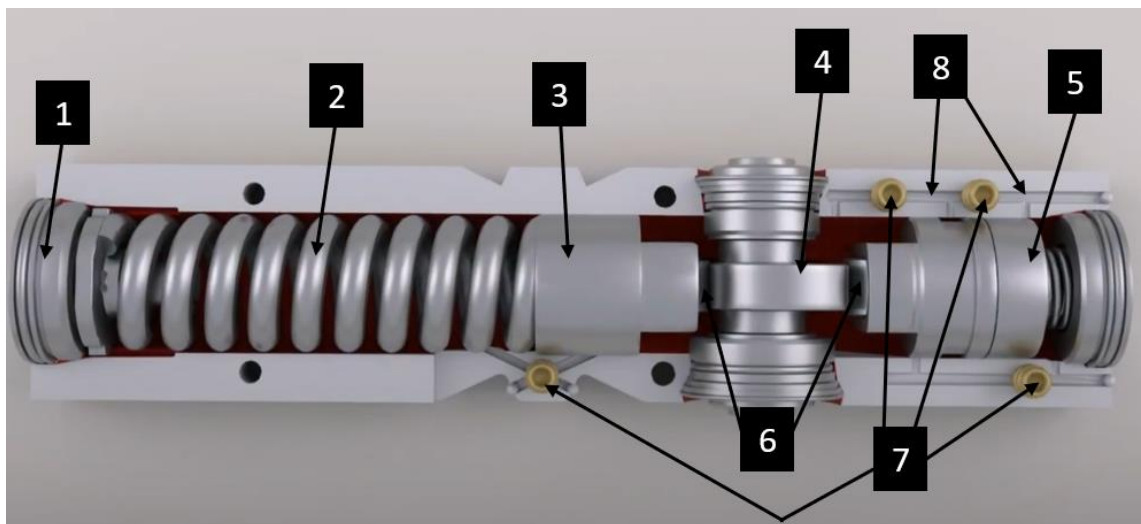
Abloy Oy:n päätoimipaikkana toimii Joensuu, jossa myös sijaitsee yrityksen vuonna 1968 valmistunut nykyaikainen tehdas, jonka toimintaa pyritään edistämään jatkuvasti. Tehtaan optimoidun toiminnan mahdollistavat muun muassa moderni pintakäsittely-yksikkö ja automatisoitu varastointijärjestelmä. Joensuussa sijaitsevan tehtaan yhteispinta-ala on yli 21 000 neliometriä ja tehdas toimittaa vuosittain yli 3 miljoonaa tuotetta. Tuotevalikoimaan kuuluu esimerkiksi avaimia, ovipumppuja, lukkorunkoja ja automaattisia järjestelmiä. (Abloy Oy 2023c)

### 2.2 Ovensuljin

Ovensuljin, toiselta nimeltään ovipumppu, on laite, jolla varmistetaan oven hallittu sulkeutumis- ja avausliike. Ovensuljin ei vaadi erillistä virtalähdettä, vaan sen koko toiminta on täysin mekaanista. (Abloy Oy 2023c) Ovensulkimilla on iso rooli rakennusten turvallisuuden varmistamisessa. Sillä on iso merkitys turvallisuuden kannalta, että ovi sulkeutuu kiinni asti, esimerkiksi tulipalotilanteessa, savun ja tulen leviämisen estämiseksi. Erimallisia ovensulkimia löytyy moneen erilaiseen applikaatioon, sekä sisä- että ulkokäyttöön, oven materiaalista ja painosta riippuen. (Assa Abloy 2023)

### 2.3 Ovensulkimen toiminta ja rakenne

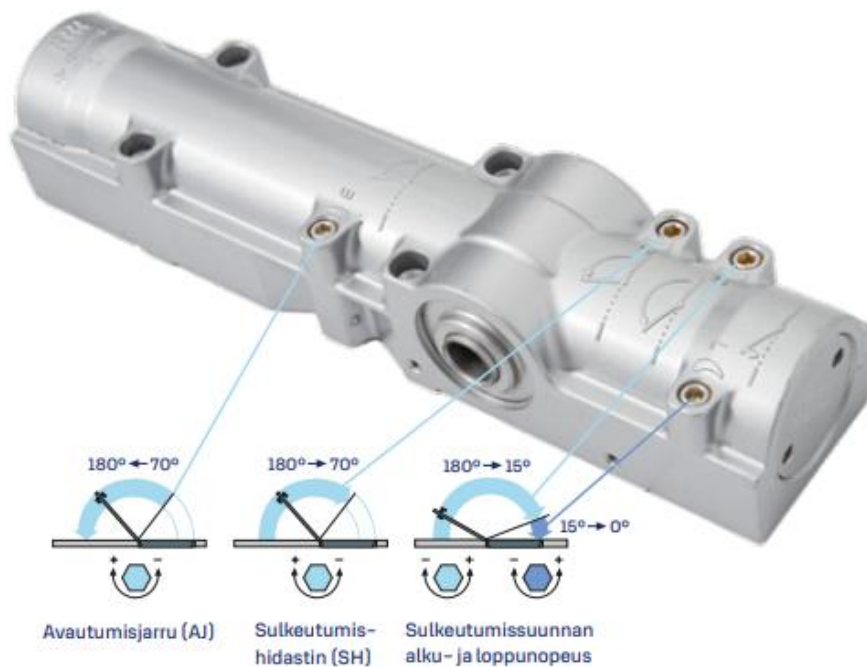
Toimeksiantajayritys Abloy Oy valmistaa kahta erityyppistä ovensuljinta, nokka-akselitoimisia ja hammasakselitoimisia, joiden toiminnassa on eroja. Nykyään suurin osa ovensulkimista on kuitenkin nokka-akselitoimisia, johon myös tässä työssä perehdytään. (Abloy Oy 2021) Nokka-akselitoimisen ovensulkimen tärkeimmät osat on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1. Nokka-akselitoimisen ovensulkimen oleelliset osat: 1. voimansäädin, 2. jousi, 3. takamäntä, 4. nokka-akseli, 5. etumäntä, 6. seuraimet, 7. säätöruuvit ja 8. öljykanavisto. (Assa Abloy 2021)

Ovea avatessa syntyvä voima vääntää ovensulkimessa olevaa nokka-akselia (4.), joka muuntaa ovenavaus liikkeen lineaarisesti liikkeeksi pyörimisliikettä käyttäen yhdessä seuraimen (6.) kanssa sekä takamännän (3.) avulla ja painaa jouta (2.) kasaan. Jousen esijännitystä voidaan säätää ovensulkimessa voimansäätimen (1.) avulla. Nokka on muotoiltu siten, että oven avaukseen tarvittava momentti vähenee, mitä enemmän ovea avataan. Kun ovea avataan, siirtyy sulkimen sisällä oleva öljy etumännän (5.) sisällä sijaitsevan yksisuuntaisen venttiilin kautta etumännän tilaan. Oven sulkeutuessa, jouseen varastoitunut energia alkaa pyörittämään nokka-akselia vastakkaiseen suuntaan, jolloin seuraimen avulla nokkaan kosketuksissa oleva etumäntä alkaa

liikkumaan kuvassa oikealle. Etumännän liikkessa oikealle, puskee se öljyä öljykanaviston (8.) läpi pois etumännän tilasta. Öljyn virtausta ja siten myös ovensulkeutumis- sekä avautumisnopeutta eri ovenavauskulmilla voidaan säädellä säätöruuvien (7.) avulla. Koko ovensuljin systeemin tiiveys on erittäin tärkeää sen toiminnan kannalta, sillä öljyn ohivuodot huonontavat tuotteen hyötysuhdetta ja säädettävyyttä. (Assa Abloy 2021) Ovensulkimen säätöruuvit ja niiden merkitykset on esitetty kuvassa 2.

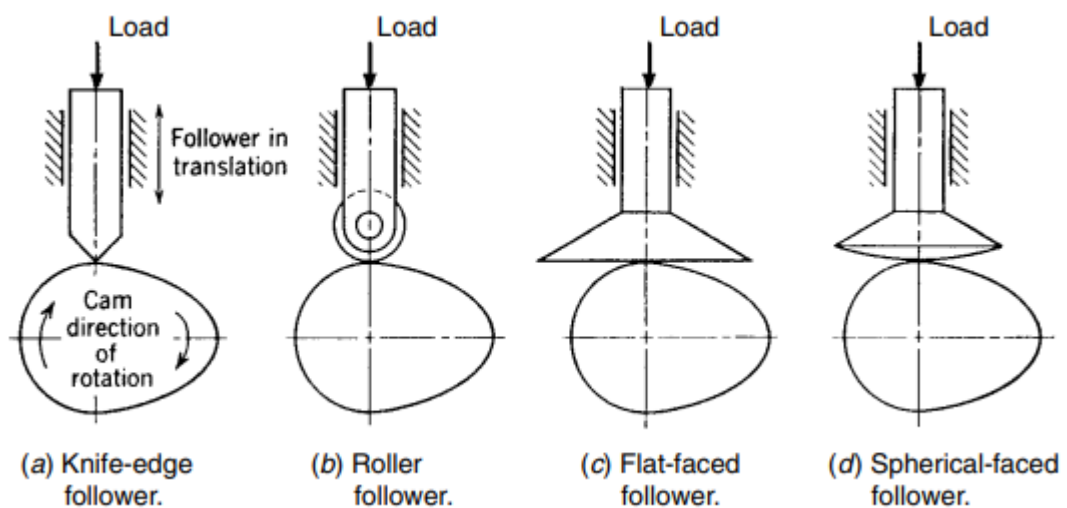


Kuva 2. Ovensulkimen säätöruuvit. (Abloy Oy 2021)

Oven sulkeutumis- sekä avausliikettä voidaan säätää säätöruuvien avulla, oven eri avauskulmilla. Avautumisjarrulla (AJ) voidaan säätää oven avautumista avauskulmilla 180° - 70°. Avautumisjarrun avulla voidaan estää oven pauskautuminen auki kovalla voimalla, esimerkiksi erittäin tuulisella säällä. Sulkeutumishidastin (SH) puolestaan säätää oven sulkeutumisnopeutta 70° avauskulmaan asti mahdollistaen sen, että ovesta kerkeää siirtyä sisään rakennukseen, ennen kuin ovi alkaa sulkeutumaan nopeammalla vauhdilla. Oven sulkeutumis kokonaan kiinni asti voidaan myös säätää oven avauskulman 15° jälkeen. Avautumisjarrun, sekä sulkeutumishidastimen vaikutusten aloituskohtia voidaan muuttaa riippuen ovensulkimen asennuskohdan paikasta. (Abloy Oy 2021)

## 2.4 Nokka-akselin toiminta

Nokka-akseli on mekaaninen osa, joka yhdessä nokan seuraimen kanssa, pystyy muuttamaan pyörivää liikettä lineaariseksi sekä myös lineaarista liikettä pyöriväksi liikkeeksi. Nokka-akselin nokan muotoa muuttamalla ja seuraimen tyyppin valinnalla, pystytään vaikuttamaan mekanismin toimintaan. (Rothbart 2004, 2) Erilaisia nokan muotoja on paljon, ja niitä käytetään erilaisiin käyttötarkoituksiin. On olemassa esimerkiksi, kiilamaisia, pallomaisia, kartionmallisia sekä kolmiulotteisia nokkia. (Rothbart 2004, 5) Erityyppisiä nokka-akselin seuraimia esitetään kuvassa 3.



Kuva 3. Erityyppisiä seuraimia (Rothbart 2004)

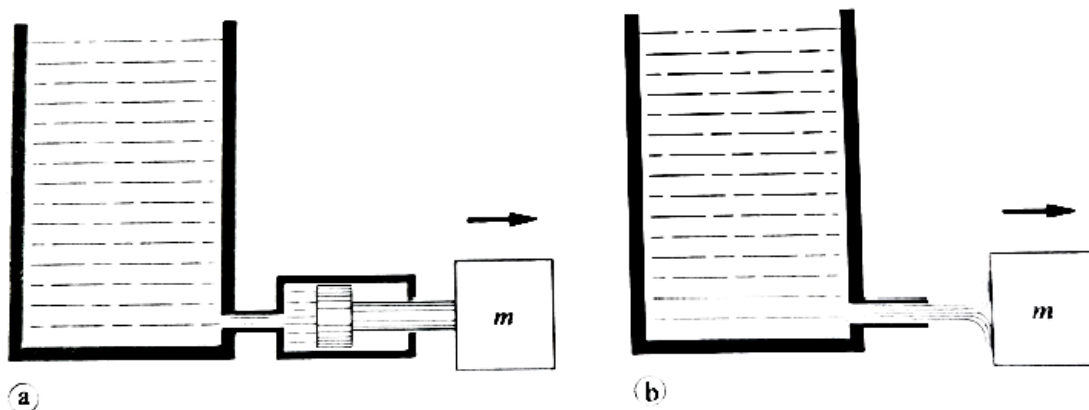
Nokka-akseli mekanismiin kuuluu aina nokan lisäksi myös seurain, joka on fyysisesti kosketuksessa nokan kanssa. Nokan seuraimia on neljää erilaista mallia. Knife-edge seurain, toiselta nimeltään myös veitsenterä seurain tai pisteseurain, ovat seuraimia, jossa nokan kanssa kontaktissa oleva on terävä reuna. Pisteseurain ei ole kovin käytännöllinen, sillä se aiheuttaa paljon kulumista. Yleisimmin käytetty seurainmalli on roller follower, eli rullaseurain, jonka nokkaan kontaktissa oleva osa on laakeroitu rulla. Rullaseuraimen etuna, on sen matala kitkakerroin, joka mahdollistaa pitkän käyttöiän. On myös olemassa tasapäisiä ja suuremman säteen omaavia niin sanottuja sieni-

seuraimia (eng. Mushroom follower), joiden etuna on niiden kyky antaa anteeksi nokan valmistuksessa syntyneitä muotovirheitä ja nokan kulumisesta aiheutunutta heittoa. (Rothbart 2004, 4–5)

Nokka-akseli ja seurain parin suunnittelussa on hyvä ottaa huomioon, että nokan muodon pitäisi olla mahdollisimman sulava ja jatkuva, sillä terävät kulmat ovat suorassa yhteydessä seuraimen toimintaan. Koko systeemin liikkuvien osien koot sekä massa on hyvä olla myös mahdollisimman pieni, inertian ja kulumisen minimoimiseksi. Taatakseen nokan halutun ja suunnitellun toiminnan on erittäin tärkeää, että nokat on valmistettu tarkkoilla mitoilla ja että nokkien valmistusta seurataan ja testataan. Pienetkin valmistusvirheet sekä pinnan epätasaisuudet voivat aiheuttaa systeemissä tärinää ja ennen aikaista kulumista. (Rothbart 2004, 21)

## **2.5 Hydraulijärjestelmät**

Hydraulijärjestelmien perustoimintaperiaate perustuu siihen, että hydraulijärjestelmään tuleva mekaaninen teho varastoituu järjestelmään hydraulisena tehona, eli hydraulinesteen paineena ja tilavuusvirtana. Hydraulijärjestelmä muuttaa hydraulisen tehon takaisin mekaaniseksi tehoksi kyseessä olevan applikaation käyttöön. Kyseinen tehon siirto voi tapahtua hydrostaattisesti, eli nesteen paineena tai hydrodynaamisesti, eli nesteen virtauksena, joka havainnollistetaan kuvassa 4. (Kajaste, Kauranne & Vilenius 2013, 1)



Kuva 4. Tehon siirto: a) Hydrostaattisesti ja b) Hydrodynaamisesti. (Kajaste ym. 2013)

Hydrauliikkaa voidaan soveltaa hyvin monenlaisiin erikäyttötarkoituksiin, sekä käyttökohteisiin. Yleisimpiä hydrauliikan sovelluksia ovat esimerkiksi maatalous- sekä työkonet, teollisuuden eri sovellukset, kuten hydrauliset puristimet ja hallintalaitteet, sekä huvipuistolaitteet. Hydraulijärjestelmien paineet, sekä muut suureet vaihtelevat huomattavasti, käyttötarkoituksen mukaan. (Kajaste ym. 2013, 2)

Hydraulijärjestelmiä voidaan pitää kilpailukykyisinä monissa eri sovelluksissa verrattuna sähköisiin ja mekaanisiin tehonsiirtojärjestelmiin.

Hydraulijärjestelmille ominaista on erinomainen tehopainosuhde, jonka paineen nostaminen mahdollistaa pienilläkin komponenteilla. Hydraulijärjestelmien etuna on myös portaaton voiman, liikenopeuksien, sekä momenttien säätö.

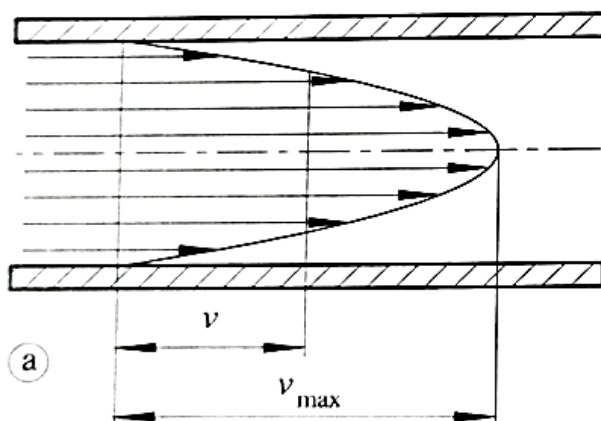
Hydraulijärjestelmien valinnassa on kuitenkin otettava huomioon myös väliaineiden ominaisuuksien muutos eri lämpötiloissa ja niiden likaavuus.

Kohtalainen hyötysuhde hydraulijärjestelmissä vaikuttaa myös niiden käyttöön ja siksi niitä ei suositella käytettäväksi kohteissa, jossa tehoa pitää siirtää pitkiä matkoja. (Kajaste ym. 2013, 3)

## 2.6 Hydrodynamiikka

Hydrodynamiikalla tarkoitetaan mekaniikan alaa, jossa tarkastellaan liikkeessä olevien nesteiden eri ominaisuuksia, kuten kitkaa, massaa, sekä kokoonpuristuvuutta. Juuri edellä mainitut tekijät vaikuttavat hydraulijärjestelmien hyötysuhteeseen negatiivisella tavalla. (Kajaste ym. 2013, 23)

Nesteen viskositeetti, eli muodonmuutosvastus, arkikielessä myös nesteen ominainen sitkeys, tarkoittaa nesteen sisäistä kitkaa, joka syntyy nestepartikkeleiden välissä ilmenevästä keskinäisistä kitkoista. Nesteen virratessa kiinteän kappaleen ohi, esiintyy kiinteän kappaleen ja virtaavan aineen rajapinnassa ulkoista kitkaa. Kyseinen kitka aiheuttaa sen, että seinämää lähimpänä olevan nestekerroksen nopeus on sama kuin seinämän nopeus. Hidastuvan nestekerroksen takia nesteessä esiintyy sisäistä kitkaa, joka aiheuttaa nesteeseen nopeuseroja (kuva 5.), nopeuden ollessa suurimmillaan kohdassa, missä sen etäisyys kiinteisiin pintoihin on suurin. (Kajaste ym. 2013, 23)



Kuva 5. Havainnollistava kuva eri nestekerrosten nopeuksista. (Kajaste ym. 2013)

Nesteen viskositeetilla on suuri vaikutus hydraulijärjestelmien toimivuuteen ja sitä kautta myös hyötysuhteeseen. Jos neste on niin sanotusti jäykkää eli heikosti juoksevaa, viskositeetin arvo on suuri, josta seuraa korkea virtausvastus, joka aiheuttaa nesteen siirtohäviöitä. Nesteen liian suuri

viskositeetti vaikuttaa myös systeemin voiteluun negatiivisella tavalla, sillä neste ei pääse tunkeutumaan voiteluvälisiin halutulla tavalla. Toisaalta nesteen ollessa juoksevampaa, eli viskositeetin arvoltaan pienempää, lisää se vuotojen riskiä järjestelmässä. Hydraulinesteen vuoto hydraulijärjestelmästä eli vuotohäviöt laskevat entisestään sen hyötysuhdetta. Liian juoksevalla nesteellä on myös ongelmia voitelun suhteen siten, ettei se kykene muodostamaan tarpeeksi paksua voitelukalvoa liikkuvien osien välille, mistä syystä komponenttien kuluminen nopeutuu. (Kajaste ym. 2013, 27)

Kinemaattinen viskositeetti lasketaan kaavalla 1.

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} \quad (1)$$

missä  $\nu$  = kinemaattinen viskositeetti  
 $\eta$  = dynaaminen viskositeetti  
 $\rho$  = nesteen tiheys

Myös nesteen virtaustyypeillä on iso merkitys hydrauliteeniikassa. Nesteen virtauksen tulisi olla mahdollisimman pyörteetöntä ja tasaista, jotta nesteen virtaushäviöt voitaisiin minimoida. Käytännössä tällainen tilanne on kuitenkin hyvinkin vaikeaa saavuttaa, teknillisten, sekä taloudellisten rajoitteiden takia. Nesteen virtaviivaista ja tasaista virtausta kutsutaan laminaariseksi virtaukseksi, jossa nesteen kaikki nestehiukkaset liikkuvat lineaarisesti. Nesteen virtausnopeuden kasvaessa, nesteeseen alkaa syntyä pyörteitä. Kun virtausnopeutta kasvatetaan entuudestaan, muuttuu nesteen virtaus lopulta täysin pyörteiseksi, eli turbulenttiseksi. Turbulenttisessa virtauksessa, yksittäiset nestehiukkaset liikkuvat vapaasti vailla yhteistä tarkkaa suuntaa, jopa kokonaisvirtauksen suuntaa vastaan, mutta siitä huolimatta, kokonaisvirran suunta pysyy silti aina tiettyyn suuntaan, myös turbulenttisessa virtauksessa. (Kajaste ym. 2013, 27–28)

Nesteen virtauksen tyyppi voidaan selvittää laskennallisesti käyttäen Reynoldsin lukua. Laskennasta saatuja arvoja vertaillaan kriittiseen arvoon, jonka ylittäneissä arvoissa, laminaarinen virtaus muuttuu turbulenttiseksi. Kriittinen Reynoldsin luvun arvo riippuu huomattavasti, siitä millainen

virtauskanava on kyseessä. (Kajaste ym. 2013, 28) Kriittisen Reynoldsin luvun ohjeellisia arvoja on esitetty kuvassa 6.

Reynoldsin luku lasketaan kaavalla 2.

$$Re = \frac{x \times D_H}{\nu} \quad (2)$$

missä       $Re$  = Reynoldsin luku  
                $x$  = virtausnopeus  
                $D_H$  = putken sisähalkaisija  
                $\nu$  = kinemaattinen viskositeetti

| <b>Virtauskanava</b>              | <b><math>Re_{kr}</math></b> |
|-----------------------------------|-----------------------------|
| Pyöreät sileäpintaiset putket     | 2000–2300                   |
| Keskiset sileäpintaiset raot      | 1100–1200                   |
| Epäkeskiset sileäpintaiset raot   | 1000–1050                   |
| Keskiset uurteitetut raot         | 700                         |
| Epäkeskiset uurteitetut raot      | 400                         |
| Karaventtiilien ohjausurat        | 250–275                     |
| Läppä- ja kartioistukkaventtiilit | 25–100                      |

Kuva 6. Kriittisen Reynoldsin luvun ohjearvoja. (Kajaste ym. 2013)

Vaikka hydraulinesteen päätehtävä onkin energian siirtäminen, on hydraulineesteellä monta muutakin eri tehtävää hydraulijärjestelmässä. Hydraulineeste voitelee järjestelmää ja täten minimoi kitkaa ja komponenttien kulumista. Hydraulineeste ehkäisee myös ruostumista, sekä syöpymistä järjestelmässä, samalla tasoittaen järjestelmän lämpötilaa. Käytössä olevat hydraulineesteet voidaan luokitella karkeasti neljään eri ryhmään, niiden kemiallisten koostumuksen avulla: mineraaliöljyt, palamattomat nesteet, synteettiset hydraulineesteet ja kasvisöljyperäiset hydraulineesteet. (Fonselius, Rinkinen & Vilenius 1995, 109)

## 2.7 Standardi SFS EN-1154

SFS EN-1154 on standardi, joka käsittelee ovensuljinlaitteita, määrittelee niille tiettyjä vaatimuksia niiden toiminnalle, sekä testaukselle. Standardi käsittää mekaaniset ovensulkimet, joiden sulkeutumisperiaatteena on se, että ne sulkeutuvat itsekseen, ovea avatessa syntynyttä energiaa hyväksikäyttäen. Kyseinen standardi ei käsitä sähköisiä ovensulkimia, palosulkujärjestelmiä, eikä myöskään jousisaranoita. Standardin SFS EN-1154 mukaisesti valmistettuja ovensulkimia suositellaan käytettäväksi käyttökohteissa, joissa vaatimuksena on oven luotettava ja kontrolloitu sulkeutuminen. (SFS EN-1154, 1997, 4)

Standardi SFS EN-1154 luokittelee mekaanisia ovensulkimia niiden eri aspektien mukaan. Ovensulkimien luokitteluun käytetään koodisysteemiä, joka sisältää kuusi numeroa. (SFS EN-1154, 1997, 7) Ovensulkimissa käytetty CE-tarra sekä siinä esiintyvä kuusinumeroinen luokittelukoodi esitetään kuvassa 7.

|                            |   |  |    |   |        |   |   |   |
|----------------------------|---|--|----|---|--------|---|---|---|
| CE                         | Abloy Oy, PO Box 108<br>80101 Joensuu, Finland<br>www.abloy.com/dop |  | 04 |   |        |   |   |   |
|                            | DC250   | EN1154:1996/A1:2002/AC:2006<br>0432-CPD-0047 | 3  | 8 | 6<br>1 | 1 | 1 | 3 |
| Dangerous substances: None |   |  |    |   |        |   |   |   |

Kuva 7. Ovensulkimen CE-tarra (Abloy Oy 2019)

Numerosarjan ensimmäinen numero kuvastaa ovensulkimen käyttökategoriaan, ovensulkeutumiskulman mukaan. Numerosarjan ensimmäinen numero voi saada kaksi eri arvoa, luokan 3 tai 4. Ovensulkimet, jotka sulkevat oven ollessa vähintään 105 astetta auki, kuuluvat luokkaan 3. Ovensulkimet, jotka sulkevat oven ollessa 180 astetta auki, sijoittuvat luokkaan 4, sillä lisähuomautuksella, että oletetaan niiden olevan asennettuna valmistajan asennusohjeiden mukaisesti. (SFS EN-1154, 1997, 7)

Numerosarjan toinen numero määrittää ovensulkimen testauksessa käytetyn toistomäärän. Kyseinen numero voi saada vain yhden lukuarvon, numeron 8,

jossa on käytetty 500 000 toistoa. (SFS EN-1154, 1997, 7) Ovensuljinta testauksessa, yhdeksi toistoksi lasketaan se, että ovi sulkeutuu kokonaan kiinni 90 asteen avauskulmasta. (SFS EN-1154, 1997, 9)

Numerosarjan kolmas numero määrittää ovensulkimen testauksessa käytettävän oven massan, suositellun leveyden, sekä ovensulkimen voimaluokan. Taulukko 1, antaa myös minimi ja maksimi arvoja oven sulkumomentille, oven eri avauskulmilla. (SFS EN-1154, 1997, 7)

| Door closer power size | Recommended door leaf width<br><br>mm max. | Test door mass<br><br>kg | Closing moment    |         |                     |                            | Opening moment between 0° and 60°<br><br>Nm max. | Door closer efficiency between 0° and 4°<br><br>% min. |
|------------------------|--|--------------------------|-------------------|---------|---------------------|----------------------------|--|--|
|                        |  |                          | between 0° und 4° |         | between 88° und 92° | any other angle of opening |  |  |
|                        |  |                          | Nm min.           | Nm max. | Nm min.             | Nm min.                    |  |  |
| 1                      | < 750                                      | 20                       | 9                 | < 13    | 3                   | 2                          | 26   | 50   |
| 2                      | 850  | 40                       | 13                | < 18    | 4                   | 3                          | 36   | 50   |
| 3                      | 950  | 60                       | 18                | < 26    | 6                   | 4                          | 47   | 55   |
| 4                      | 1100                                       | 80                       | 26                | < 37    | 9                   | 6                          | 62   | 60   |
| 5                      | 1250                                       | 100                      | 37                | < 54    | 12                  | 8                          | 83   | 65   |
| 6                      | 1400                                       | 120                      | 54                | < 87    | 18                  | 11                         | 134  | 65   |
| 7                      | 1600                                       | 160                      | 87                | < 140   | 29                  | 18                         | 215  | 65   |

NOTE 1 : Where the actual size and mass of door to which the door closer is to be fitted relates to two sizes of door closers, the larger power size of door closer should be used.

NOTE 2 : The door widths given are for standard installations. in the case of unusually high or heavy doors, windy or draughty conditions, or special installations, a larger power size of door closer should be used.

Taulukko 1. Ovensulkimen testauksessa käytettäviä arvoja. (SFS EN-1154 1997)

Tilanteissa missä ovensuljin kykenee toimimaan useissa eri voimaluokituksissa, sekä minimi, että maksimi luokitus merkitään ylös. (SFS EN-1154, 1997, 7) Kuvassa 8, voidaan nähdä esimerkki minimi sekä maksimi voimaluokituksen merkitsemisestä.

|   |   |        |   |   |   |
|---|---|--------|---|---|---|
| 3 | 8 | 5<br>2 | 0 | 1 | 0 |
|---|---|--------|---|---|---|

Kuva 8. Havainnollistava kuva numerosarjasta. (SFS EN-1154 1997)

Numerosarjan neljäs numero määrittää, sen sopiiko kyseinen ovensuljin käytettäväksi palo-ovissa. Arvo 0, tarkoittaa, ettei kyseinen ovensuljin ole soveltuva käytettäväksi palo-ovissa. Arvo 1, annetaan ovensulkimille, jotka täyttävät palo-ovissa tarvittavat kriteerit. Vaatimukset palo-ovissa käytettäville ovensulkimille on määritetty standardissa prEN 1634-1. (SFS EN-1154, 1997, 8)

Numerosarjan viides numero voi saada ainoastaan arvon 1. Numerosarjan viides numero määrittää sen, täyttääkö ovensuljin välttämättömät turvallisuusvaatimukset. Arvo 1 takaa sen, että kyseinen ovensuljin täyttää kaikki vaaditut välttämättömät turvallisuusvaatimukset. (SFS EN-1154, 1997, 8)

Numerosarjan kuudes ja viimeinen numero luokittelee ovensulkimen korroosionkestävyyden arvon. Kyseinen luokitus voi saada arvon välillä 0–4 standardin prEN 1670 mukaan, riippuen siitä, kuinka hyvin ovensuljin kestää korroosiota. (SFS EN-1154, 1997, 8)

Kaikki ovensulkimet, jotka ovat valmistettu standardin SFS EN-1154 mukaan, täytyy toimittaa selkeiden ohjeiden kera. Ohjeiden tulee sisältää ohjeistus ovensulkimen asennusta, sekä ylläpitoa varten. Myös oven avauskulman rajoituksista on erikseen mainittava, jos siihen on tarve. (SFS EN-1154, 1997, 9)

### **3 Tuotekehitys**

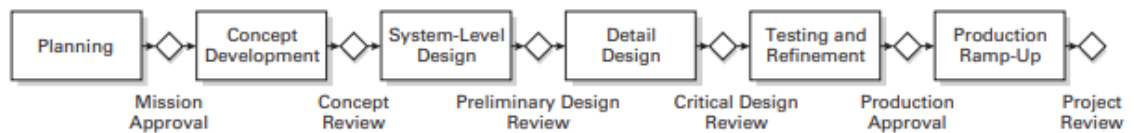
Yksi keskeisimpiä edellytyksiä yrityksen menestymisen kannalta on onnistunut tuotekehitys. Tuotekehityksellä tarkoitetaan monivaiheista prosessia, jonka päätavoitteena on pyrkiä kohti uuden tuotteen kehittämistä tai jo olemassa olevan tuotteen parantamista. Onnistuakseen täyttämään tuotekehityksessä asetetut tavoitteen mahdollisimman hyvin, tarvitaan niin hyvää luonnontieteiden tuntemusta, kuin myös luovan käytännön taitoja. (Jokinen 2001, 9)

Perusedellytys uudelle tuotekehitysprojektille on se, että on olemassa tarve ja

visio sen toteuttamismahdollisuuksista (Jokinen 2001, 17). Jotta saavutettu tulos olisi mahdollisimman hyvä, täytyy tavoitteet asettaa korkealle jo heti tuotekehitysprojektin alkuvaiheessa (Jokinen 2001, 27–28).

### 3.1 Ulrich & Eppinger

Ulrich & Eppinger-tuotekehitysmalli saa nimensä sen kehittäjien Karl T. Ulrichin ja Steven D. Eppingerin sukunimien mukaan. Eppinger ja Ulrich ovat molemmat yhdysvaltalaisia insinöörejä, joilla on paljon kokemusta tuotekehityksestä, projektinjohtamisesta, sekä työskentelystä eri sektoreilla, kuten esimerkiksi auto- ja lääketeollisuudessa. (Ulrich & Eppinger 2016, IV) Ulrich & Eppinger tuotekehitysprosessin malliin sisältyy kuusi eri päävaihetta, jotka esitetään kuvassa 9. (Ulrich & Eppinger 2016, 22).



Kuva 9. Tuotekehitysmallin vaiheet. (Ulrich & Eppinger 2016)

Jokaisen tuotekehitysprosessin päävaiheen jälkeen seuraa eräänlainen portti, jotka toimivat prosessinkulun tarkkailupisteinä. Eri päävaiheiden jälkeen käydään läpi sitä, mitä on saatu aikaan. Sen perusteella tehdään päätös siitä, voidaanko siirtyä eteenpäin seuraavaan vaiheeseen prosessissa vai onko kenties tarvetta palata taaksepäin ja miettiä uusia ratkaisuvaihtoehtoja. (Ulrich & Eppinger 2016, 23)

### 3.2 Tuoteohjelman suunnittelu

Mallin ensimmäisessä vaiheessa tehdään esiselvitys, jossa määritetään tuotekehitysprosessille selkeät tavoitteet ja reunaehdot (Hietikko 2021, 47). Tuotekehitysprojehti lähtee liikkeelle siitä, että selvitetään, millaista tuotetta lähdetään kehittämään. Ulrich & Eppinger -mallissa, käytetään niin sanottua Mission Statement -määrittelytapaa, joka on yleensä noin yhden A4-sivun laajuinen ja joka käsittää esimerkiksi tuotteen lyhyen kuvauksen, projektin keskeiset tavoitteet, ensi- sekä toissijaiset markkinat, oletukset, rajaukset ja sidosryhmät. Projektilla on tärkeää määrittää myös aikataulu, sekä siihen tarvittavat resurssit. (Hietikko 2021, 51, 53) Mission Statement -esimerkki nähdään taulukossa 2.

| <b>Mission Statement: Multifunctional Office Document Machine</b> |  |
|---|--|
| <b>Product Description</b>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Networkable, digital machine with copy, print, fax, and scan functions</li> </ul>   |
| <b>Benefit Proposition</b>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Multiple document processing functions in one machine</li> <li>• Connected to office computer network</li> </ul>  |
| <b>Key Business Goals</b>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Support Xerox strategy of leadership in digital office equipment</li> <li>• Serve as platform for all future B&amp;W digital products and solutions</li> <li>• Capture 50% of digital product sales in primary market</li> <li>• Environmentally friendly</li> <li>• First product introduction 4th Q 1997</li> </ul> |
| <b>Primary Market</b>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Office departments, mid-volume (40–65 ppm, above 42,000 avg. copies/mo.)</li> </ul>   |
| <b>Secondary Markets</b>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Quick-print market</li> <li>• Small "satellite" operations</li> </ul>   |
| <b>Assumptions and Constraints</b>                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• New product platform</li> <li>• Digital imaging technology</li> <li>• Compatible with CentreWare software</li> <li>• Input devices manufactured in Canada</li> <li>• Output devices manufactured in Brazil</li> <li>• Image processing engine manufactured in both the United States and Europe</li> </ul>            |
| <b>Stakeholders</b>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Purchasers and users</li> <li>• Manufacturing operations</li> <li>• Service operations</li> <li>• Distributors and resellers</li> </ul>   |

Taulukko 2. Mission Statement -esimerkki. (Ulrich & Eppinger 2016)

### 3.3 Konseptisuunnittelu

Toisessa vaiheessa saadaan selville tuotteelle tavoitellut arvot ja ominaisuudet arvioimalla kilpailijoita sekä selvittämällä asiakastarpeet. Mitattavien arvojen sekä haluttujen ominaisuuksien selvittämisen pohjalta aloitetaan luova konseptisuunnittelu, jonka tavoitteena on tuottaa yksi tai useampi idea tai luonnos jatkokehitystä varten. (Hietikko 2021, 48)

Vaikka asiakas ei kykenekään kertomaan suunnittelijoille suoraa informatiivista tietoa siitä, millainen tuotteen kuuluisi olla yksityiskohtaisella tasolla, on heidän mielipiteensä kuitenkin todella arvokas. Asiakkaiden tarpeiden selvittäminen on tärkeä prosessi koko tuotekehitysprojektin kannalta. Asiakkaat pystyvät kertomaan kokemusperäisesti mahdollisia parannusehdotuksia ja kertomaan ongelmista, joita he ovat mahdollisesti aikaisemmin kohdanneet. Asiakastarpeen selvittämiseksi käytetään usein kyselyitä, ryhmäkeskusteluja, sekä haastatteluja. Asiakkaiden vastauksien ja kokemusten perustella muodostetaan tarvelauseita, joiden pohjalta tuotteelle aletaan määrittämään tuotespesifikaatioita. (Hietikko 2021, 64–66) Taulukossa 3, nähdään esimerkkejä asiakkaiden antamista vastauksista ja niiden pohjalta muodostetuista tarvelauseista.

| <b>Customer Statement</b>   | <b>Needs Statement—<br/>Right</b>   |
|---|---|
| I would like my iPhone to adjust my thermostat.                                   | The thermostat can be controlled remotely without requiring a special device. |
| I have different heating and cooling systems.                                     | The thermostat can control separate heating and cooling systems.              |
| I get tired of standing in front of my thermostat to program it.                  | The thermostat can be programmed from a comfortable position.                 |
| I have to manually override the program if I'm home when I shouldn't be.          | The thermostat automatically responds to an occupant's presence.              |
| I'm worried about how secure my thermostat would be if it were accessible online. | The thermostat controls are secure from unauthorized access.                  |

Taulukko 3. Asiakkaiden lausunnoista muodostettuja tarvelauseita. (Ulrich & Eppinger 2016)

Spesifikaatiot eli tuotteen tekniset ominaisuudet tai tuotteen vaatimukset ovat mitattavissa olevia arvoja, jotka määrittelevät ne asiat, joita tuotteen pitää saavuttaa. Asiakkaan tarpeiden pohjalta muodostetut tarvelauseet kertovat, miten tuotteen tulisi toimia, kun taas spesifikaatiot määrittävät, mitä tuotteen tulisi tehdä. Esimerkiksi jos tuotteen tarvelauseeksi on määrittynyt ”tuotteen täytyy olla kevyt”, muodostuu tuotteen spesifikaatioksi mittasuure massa, jonka yksikkö on gramma. On kuitenkin olemassa myös tarpeita, joille ei ole olemassa mitään mitattavaa suuretta, kuten esimerkiksi se, että tuotteen tulee olla visuaalisesti hienonnäköinen. Kyseisissä tilanteissa tuotteen spesifikaatioksi määräytyy tarvelause, jonka yksikkö on subjektiivinen, lyhennettynä subj. (Hietikko 2021, 75–76) Esimerkkejä tuotespesifikaatioiden muodostamisesta esitetään taulukossa 4.

| Tarvelause                  | Spesifikaatio | Mittayksikkö |
|-----------------------------|---------------|--------------|
| Tuotteen täytyy olla kevyt. | Massa         | Gramma (g)   |
| Edullinen hinta             | Hinta         | Euro (€)     |
| Kestävä tuote               | Myötölujuus   | Pascal (P)   |
| Visuaalisesti miellyttävä   | Ulkonäkö      | Subj.        |

Taulukko 4. Tuotespesifikaatioita. (Veikka Parviainen 2023)

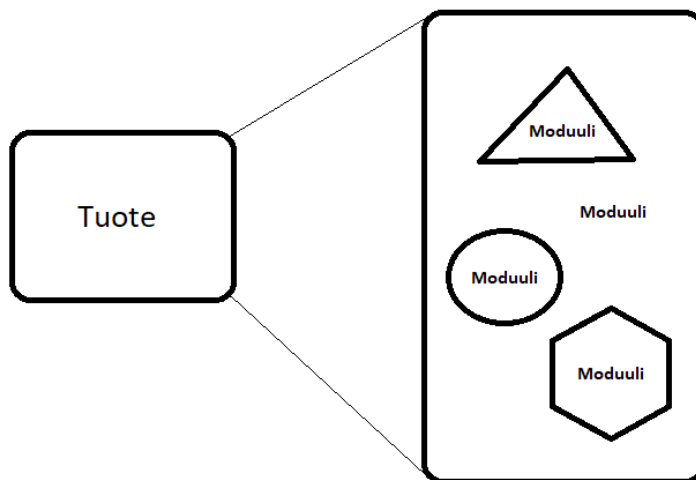
Jos tiedetään että markkinoilla on olemassa vastaavia tai vastaavanlaisia tuotteita, on niitä viisasta tutkia tarkemmin läpi ja etsiä niistä tietoa. Kyseistä toimintaa kutsutaan benchmarkkaukseksi (engl. Benchmarking), jonka avulla voidaan selvittää tavoitteellisia suurearvoja oman tuotteen spesifikaatioita varten. Vertailemalla omaa tuotetta kilpaileviin tuotteisiin, voidaan myös saada uusia ideoita tai ratkaisuvaihtoehtoja oman tuotteen suunnittelun tueksi. Arviointeja tehdessä saadaan myös selville se, että mihin asiakastarpeisiin kannattaa kiinnittää erityisen tarkkaa huomiota. (Hietikko 2021, 76)

Asiakastarpeiden, tuotespesifikaatioiden määrittämisen, sekä mahdollisen benchmarkkauksen suorittamisen jälkeen voidaan siirtyä konseptisuunnittelun viimeiseen vaiheeseen, luovaan vaiheeseen. Luonnosteluprosessin tarkoituksena on rakentaa suunniteltavasta tuotteesta ensisijainen malli. Luonnosteluvaiheessa, yhteen kootut ideat sekä ratkaisumahdollisuudet yhdistyvät visuaaliseen muotoonsa, joka voi olla ensin aivan käsin piirretty malli, joka sisältää sanallisia kuvauksia ja hahmottelua tuotteesta. Myöhemmin näiden ideoiden pohjalta voidaan myös tehdä kolmiulotteisiatietokoneille. (Hietikko 2021, 103) Luovaa työtä tehdessä syntyy usein monia erilaisia malleja ja ratkaisuideoita, joista täytyy rajata jatkokehitystä varten yksi tai kaksi parasta vaihtoehtoa eteenpäin jatkokehitykseen. Kyseinen karsiminen täytyy tehdä todella huolellisesti, käyttäen apuna esimerkiksi pisteytyssysteemiä, tuotteen asiakastarpeiden ja spesifikaatioihin perustuen. Jatkokehitykseen valittavien

tuotteiden valinta on tärkeää tehdä aikataulujen ylläpitämiseksi sekä kustannusten minimoimiseksi. (Hietikko 2021, 109)

### 3.4 Systeemis suunnittelu

Systeemis suunnittelun vaiheessa kartoitetaan tuotteen rakenteellista aspektia ja määritetään, millaisista osista, osakokonaisuuksista ja kokoonpanoista tuote muodostuu (Hietikko 2021, 48). Systeemis suunnittelu on tärkeä osa tuotekehitysprosessin loppuun viientä. Systeemis suunnittelun tavoitteena on hahmottaa tuotteelle toimiva moduloitu tuoterakenne, jonka perustana toimii luovansuunnittelun vaihe. Moduloinnilla tarkoitetaan tuotteen jakamista erillisiin toiminnallisiin osiin, jotka toteuttavat omia toimintojaan. Moduloinnissa on tärkeää ottaa huomioon toiminnallisuuden lisäksi myös valmistettavuus ja se että, valmistetaanko osa itse vai käytetäänkö osto-osia. (Hietikko 2021, 123–125) Havainnollistava esimerkki moduloinnista kuviossa 1.



Kuvio 1. Tuotteen jako moduuleihin. (Veikka Parviainen 2023)

Suunnitellessa tuotteen modulointia, voidaan käyttää hyväksi esimerkiksi Modular Function Deployment (MFD) menetelmää, jonka avulla voidaan muodostaa systemaattisia moduloituja tuoteperheitä. Vaihtelevan

tuotevalikoiman tehokkaan hallinnan apuna yritykset käyttävät tuoteperheajattelumallia tuotteiden suunnittelussa sekä valmistuksessa. Ajattelumallin pääperiaatteena on tuoteperheelle ominainen yhteinen alusta, eli tietty moduuli, jonka pohjalta on tehty useita eri tuotteita, asiakastarpeiden määrittämien ominaisuuksien mukaisesti. (Hietikko 2021, 124–125)

### **3.5 Detaljisuunnittelu**

Tässä vaiheessa suunnitteluprosessia tuotteen eri osat ja kokoonpanot hahmottuvat lopulliseen muotoonsa. Osille määritetään tarkoituksenmukaiset materiaalit, niiden valmistusvaiheet, sekä tarvittavat valmistusprosessit. (Hietikko 2021, 48) Tuotekehitysprosessimallin kolmanneksi viimeisessä kohdassa pureudutaan tuotteen valmistuksessa tarvittaviin yksityiskohtiin, kuten osien mittoihin, materiaaleihin, toleransseihin sekä pinnanlaatuun. Samalla määritetään tuotteelle myös valmistus- sekä kokoonpanomenetelmät. (Hietikko 2021, 135)

Tietokoneavusteinen suunnittelu Computer Aided Design (CAD) toimii tietokoneen graafista, sekä matemaattista kykyä hyödyntäen, suunnittelijan työkaluna tuotekehitysprosessissa. Tietokoneavusteisesta suunnittelutyöstä, sekä 3D-malleista on tullut iso osa nykyaikaista tuotekehitysprosessia. CAD-järjestelmät avustavat yrityksiä myös tuotetietojen hallinnassa, hyödyntäen suunnittelun pohjalta syntyviä erilaisia dokumentaatioita. (Hietikko 2021, 141)

### **3.6 Testaus**

Testausvaiheessa tuotteesta on olemassa prototyyppi, joka voi olla joko samanlainen kuin lopullinen tuote tai myös pienoismalli taikka tietokoneella laskelmoitu prototyyppi. Testausvaiheen tärkein tavoite on varmistaa, että tuote

toimii ennalta määritetyllä halutulla tavalla. (Hietikko 2021, 48) Tuotteen testausta voidaan suorittaa tietokoneavusteisesti tekemällä virtuaalisia simuloitteja, sekä analyysejä. Tietokoneavusteisia analyysejä, sekä simuloitteja voidaan tehdä esimerkiksi tuotteen lujuuslaskennan suorittamiseen, liikkuvien osien käyttäytymisen tutkimiseen tai myös muoviosien valujen ja valuprosessin tarkasteluun. (Hietikko 2021, 141)

Tuotteen testauksessa voidaan käyttää myös prototyyppijä, eli tuotesuunnitteluprosessin pohjalta valmistettuja ensimmäisiä fyysisiä malleja. Prototyypit voivat olla täysikokoisia tai mittakaavassa tehtyjä malleja tuotteesta, joilla voidaan testata lopullisen tuotteen toimintaa tai tuotteen tiettyjen ominaisuuksien käyttäytymistä. Prototyyppijä voidaan hyödyntää myös apuna havainnollistamaan tuotteen toimintaa konkreettisesti, esimerkiksi palavereissa asiakkaiden tai työnjohdon kanssa. Prototyyppijä käyttämällä voidaan myös tuoda esiin mahdollisia virheitä tuotteessa, sekä havainnollistaa parannusvaihtoehtoja. (Hietikko 2021, 199–200)

### **3.7 Tuotteen lanseeraus ja tuotannon käynnistys**

Viimeisessä vaiheessa, tuotteesta valmistetaan 0-sarja, eli tuotteen ensimmäinen fyysinen tuotantosarja. Ensimmäisen tuotantosarja tarkoituksena on testata ja varmistaa tuotannon toimivuus, sekä koulutetaan ja perehdytetään tuotteiden valmistuksen parissa toimivaa henkilökuntaa. Jos ensimmäinen tuotantosarja koetaan onnistuneeksi, voidaan tuotekehitysprojekti päättää siltä erää. (Hietikko 2021, 49)

## 4 Nokka-akselin kehitysprosessi

### 4.1 Lähtötilanne

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimiva yritys Abloy Oy esitti tarpeen kehittää jo olemassa olevan nokka-akselitoimisen ovensulkimen nokka-akselin geometrista muotoa. Vaikka olemassa oleva tuotannossa oleva nokka-akselitoiminen ovensuljin täyttääkin kaikki standardin SFS EN-1154 ehdot, haluttiin tuotteen testaustulosten, sekä standardin määrittämien minimiarvojen välille enemmän toleranssia. Uudenlaisien nokka-akseleiden geometrioiden kehittämisen taustalla oli myös mahdollisuus käyttää toisenlaista ovensuljinrunkoa, joka mahdollistaa uusien nokka-akseleiden kokonaishalkaisijan olemaan maksimissaan 1 millimetriä isompi.

Tuotekehitysprojehtin toteuttamisessa tullaan käyttämään toimeksiantajayrityksen tarjoamaa omaa sisäistä nokka-akselien laskentaohjelmaa, sekä SolidWorks tietokoneavusteista suunnittelu työkalua eng. Computer Aided Design eli CAD-ohjelmaa. Laskentaohjelmalla lasketut ja CAD-ohjelman avulla mallinnetut nokka-akselit tullaan lähettämään toimeksiantajayrityksen alihankkijalle koneistettavaksi, jonka jälkeen prototyypinokat tullaan testaamaan fyysisesti, standardin SFS EN-1154 mukaisesti. Testauksessa parhaaksi mahdolliseksi nokka-akseli prototyyppiä osoittautuneella tuotteella voidaan mahdollisesti korvata edeltävä ovensulkimien tuotannossa käytössä oleva nokka-akseli.

### 4.2 Tavoitteet

Tuotekehitysprosessin tavoitteena on kehittää olemassa olevaan ovensulkimeen uusi nokka-akseli, jonka toiminta testauksessa tulee täyttää kaikki ovensulkimissa käytetyn standardin SFS EN-1154 asettamat ehdot, sekä toimeksiantajan määrittelemät parametrit toiminnan, sekä tuotteen kokoonpanon suhteen. Tavoitteita on esitetty taulukossa 5.

| <b>Tarvelause</b>   | <b>Spesifikaatio</b> | <b>Mittayksikkö</b> |
|---|----------------------|---------------------|
| Täyttää standardin SFS-EN 1154 voimaluokan 6 määräävät arvot oven sulkeutumismomentille oven eri avauskulmilla. | Vääntömomentti       | Newtonmetri (Nm)    |
| Nokka-akseli täytyy pysytä asentamaan tietynkokeisesta aukosta.   | Halkaisija           | Millimetri (mm)     |
| Nokka-akselin täytyy kestää standardissa määritetty määrä toistoja.   | Toistojen lukumäärä  | Lukumäärä (toisto)  |
| Syntynyt seuraimen siirtymä, täytyy olla riittävä ovensulkimen säädettävyyden mahdollistamiseksi.               | Siirtymä             | Millimetri (mm)     |

Taulukko 5. Ulrich & Eppinger-tuotekehitysmallin mukainen tuotespesifikaatio nokka-akselille. (Veikka Parviainen 2023)

### 4.3 Laskentaohjelma

Nokka-akselin tuotekehitysprosessissa nokan geometrisen muodon laskentaan käytettiin apuna Lassi Mäkisaloon diplomityön yhteydessä syntynyttä nokka-akselien laskenta ohjelmaa. Ohjelman toiminta perustuu erinäisiin säädettäviin parametreihin, joiden pohjalta lasketaan erilaisia momenttikäyriä, sekä nokan muotoja. Ohjelmalla voidaan myös laskea vääntönokkaan kohdistuvia

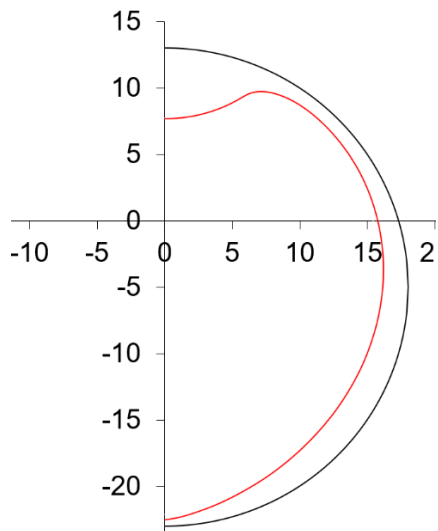
kosketusjännityksiä. (Mäkisalo 2020, 60–61) Säädetävät parametrit esitetään taulukossa 6.

|                           |  |
|---------------------------|--|
| $r_b$                     | Nokan perussäde [mm]                   |
| $r_f$                     | Seuraimen säde [mm]                    |
| $k_V$                     | Jousivakio [N/mm]                      |
| $L_0$                     | Aloitusjousivoima [N]                  |
| $\theta_i (i = 4, 5, 20)$ | Määrätyt kiertymät [°]                 |
| $T_i (i = 4, 5, 20)$      | Momentit valituilla kiertymillä [Nm]   |
| $d\theta$                 | Kiertymän muutos, laskentatarkkuus [°] |
| $L$                       | Viivakontaktin pituus [mm]             |
| $E$                       | Kimmomoduuli [GPa]                     |
| $\nu$                     | Poissonin vakio                        |

Taulukko 6. Laskentaohjelmassa käytettävät muuttujat. (Mäkisalo 2020)

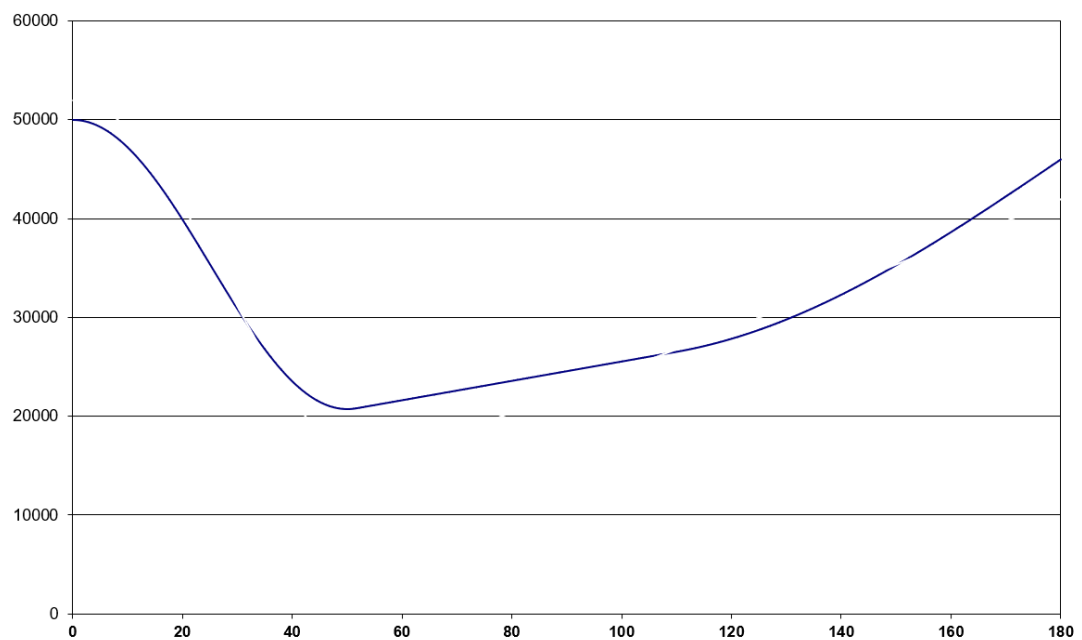
Suunnitellessa erilaisia nokan geometrioita, keskityttiin enimmäkseen määrättyjen kiertymien ja valittujen kiertymien momenttien arvoihin. Nokan perussäde, seuraimen säde, jousivakio, aloitusvoima ja jännityksiin liittyvät arvot pysyivät laskettaessa samoina. Syöttämällä laskentaohjelmaan eri arvoja määrättyihin kiertymiin sekä kyseisten kiertymien momenttien arvoihin, saatiin ohjelmasta ulos muun muassa nokan geometrian koordinaattipisteet, vääntömomentin kuvaaja ja seuraimen siirtymä. Erilaisten nokkageometrioiden tuottaminen laskentaohjelmalla oli eri muuttujien eri arvojen suuruuksien muuttamista yritysten ja erehdysten kautta, kunnes löydettiin arvot, joilla eri nokkien geometrian olivat matemaattisesti mahdollisia.

Laskentaohjelmalla lasketut nokan geometrian koordinaattipisteet saadaan xyz-muodossa, joita tullaan käyttämään nokan 3D-mallin luomisessa. Ohjelma kuitenkin piirtää myös koordinaattipisteet graafiksi, jota voidaan käyttää hyödyksi nokan asennettavuutta tarkastellessa. Kuvassa 10 esitetään esimerkkinnokan geometrian koordinaattipisteet graafisesti punaisella, sekä asennusreikä mustalla.



Kuva 10. Nokan geometrian koordinaattipisteiden ja asennusreiän graafi. Nokka-akselin pyörimisakseli origossa. (Veikka Parviainen 2023)

Ohjelma laskee vääntönokalle myös teoreettisen momenttikäyrän, käyttäen syötettyjä arvoja. Kuvassa 11, esitetään esimerkkinokan momenttikäyrä, jossa x-akselilla nokka-akselin kiertymä (°) ja y-akselilla momentti (Nmm).

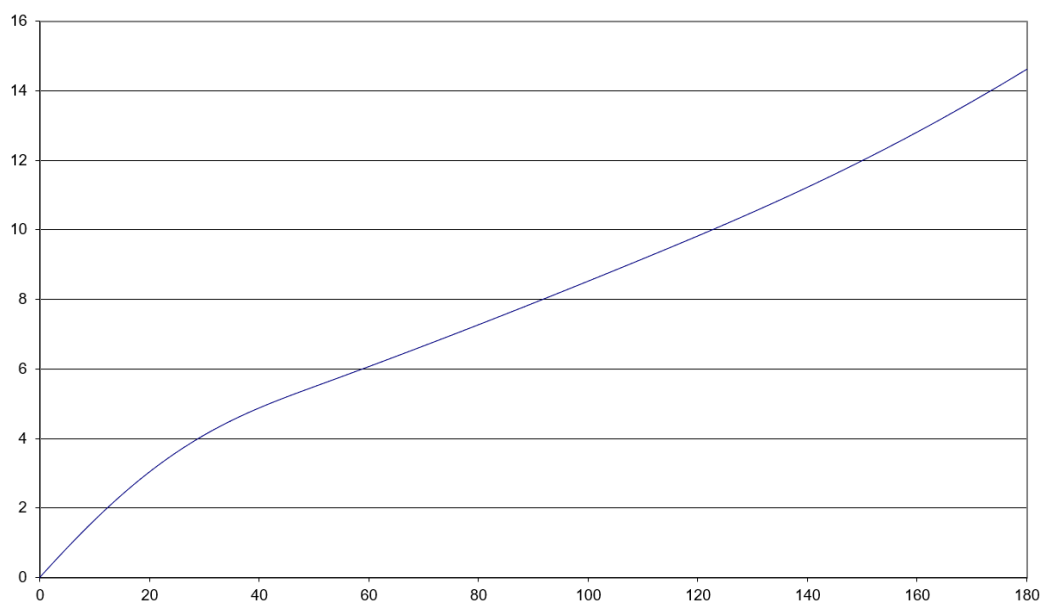


Kuva 11. Momenttikäyrä. (Veikka Parviainen 2023)

Ohjelman laskema sekä piirtämä momenttikäyrä ei kuitenkaan vastaa todellisuutta, mutta on silti suuri apu nokka-akseleiden suunnitteluprosessissa. Ohjelman piirtämä momenttikäyrä kuvastaa nokka-akselin teoreettisesti

tuottamaa momenttia eri astekulmilla ja kuvaajassa nokka-akselin kiertymä  $120^\circ$  vastaa todellisuudessa ovenavauskulmaa  $90^\circ$ . Lopullisessa testaustilanteessa, momenttikäyrä tulee näyttämään erilaiselta, sillä siihen tulevat vaikuttamaan useat eri ulkoiset muuttujat kuten esimerkiksi kitka ja ovensulkimen hyötysuhde.

Laskentaohjelma määrittää myös prototyypinokka-askelin nokan seuraimelle tuottaman siirtymän. Seuraimen siirtymän huomioon ottaminen, on tärkeää ovensulkimen säädettävyyden varmistamiseksi, sillä jos seuraimen siirtymä jää liian alhaiseksi, ovensuljinmekanismi ei kykene tuottamaan tarpeeksi öljynvirtausta. Riittävä siirtymä täytyy varmistaa, varsinkin oven sulkeutumisen loppuhetkillä, jotta ovensulkimen oikeanmukainen toiminta on mahdollista. Kuvassa 12 esitetään seuraimen siirtymän kuvaaja, jossa x-akselilla nokka-akselin kiertymä ( $^\circ$ ) ja y-akselilla siirtymä (mm).



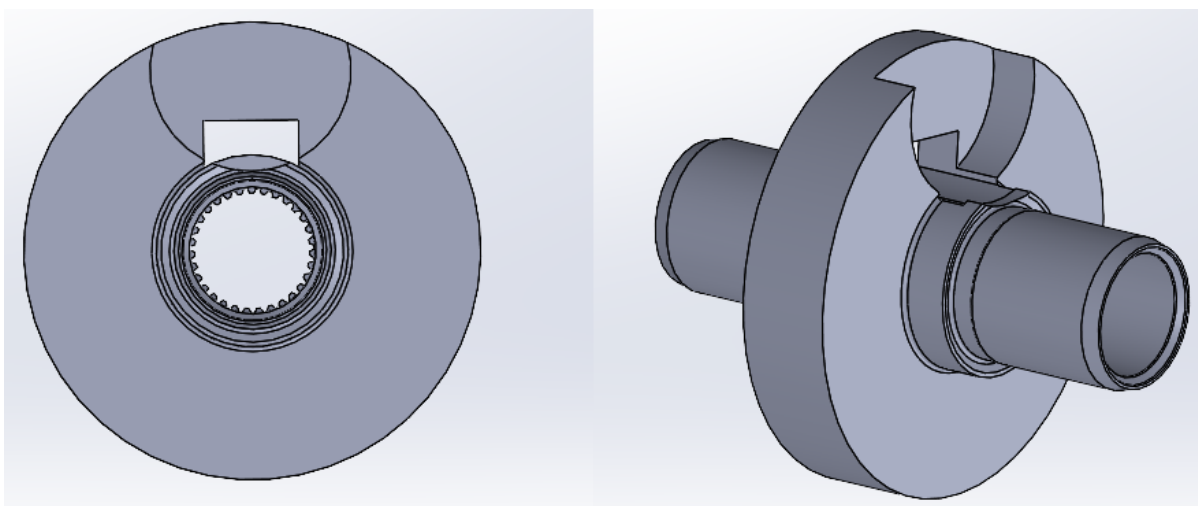
Kuva 12. Seuraimen siirtymän kuvaaja. (Veikka Parviainen 2023)

Kuvan 12 seuraimen siirtymän kuvaajassa, esitetään takamännän siirtymä  $0-180^\circ$  ja jos halutaan tarkastella etumännän siirtymää, täytyy kuvaajaa lukea käänteisesti. Täten erityisesti kuvaajassa alueella  $140-180^\circ$ , kuvaajan kulmakertoimen täytyy olla mahdollisimman iso, jotta saadaan mahdollisimman paljon öljynvirtausta ovensulkimen liikkeen säätämistä varten. Jos kuvaaja menee missään vaiheessa niin sanotusti tasaiseksi, se meinaa sitä, että testaustilanteessa ovensulkimen liikkeen säätäminen on täysin hallitsematonta.

Laskentaohjelmassa ei ollut entuudestaan automaattista laskentaa kulmakertoimen määrittämiseksi, vaan eri geometrioiden siirtymää arvioitiin silmämääräisesti. Vertailun helpottamiseksi, sekä selkeyttämiseksi, ohjelmaan lisättiin laskenta, joka määrittää vanhan, sekä uuden nokkageometrian siirtymän kulmakertoimen liikkeen loppupäässä automaattisesti, tuottaen numeraalisia arvoja.

#### 4.4 CAD-mallien luominen

CAD-mallin luomisessa käytettiin SolidWorks-suunnitteluohjelmaa. Nokka-akseli prototyyppien mallinnuksen lähtökohtana toimii jo olemassa olevan nokka-akselin pohjalta luotu 3D-malli, jotta voidaan keskittyä vain ja ainoastaan nokan profiilin muotoon ja jättää kappale muilta mitoiltaan täysin alkuperäiseksi. Niin sanottua pohjamallia muokkaamalla, saadaan luotua laskettujen eri prototyyppinokkien kolmiulotteisia malleja. Pohjamallin 3D-kuva näkyy kuvassa 13.

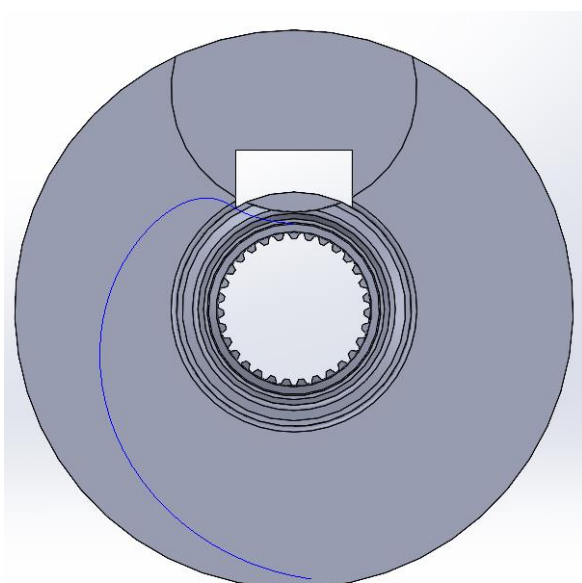


Kuva 13. Nokka-akselin pohjamalli. (Veikka Parviainen 2023)

Nokka-akselin laskentaohjelman avulla lasketut nokka-akselin muodon profiilin koordinaattipisteet siirretään SolidWorks CAD-ohjelmaan käyttäen Curve Through XYZ Points työkalua (Kuva 14.), joka muuntaa annetut xyz-muodossa olevat koordinaattipisteet apuviivaksi nokka-akselipohjan malliin (Kuva 15.).

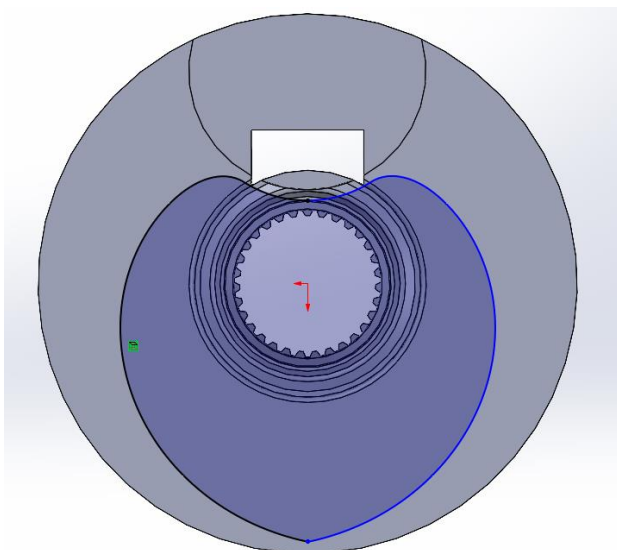
| Point | X      | Y   | Z     |
|-------|--------|-----|-------|
| 1     | 0mm    | 0mm | 7.7mm |
| 2     | 0.02mm | 0mm | 7.7mm |
| 3     | 0.04mm | 0mm | 7.7mm |
| 4     | 0.06mm | 0mm | 7.7mm |
| 5     | 0.08mm | 0mm | 7.7mm |
| 6     | 0.1mm  | 0mm | 7.7mm |
| 7     | 0.12mm | 0mm | 7.7mm |
| 8     | 0.13mm | 0mm | 7.7mm |
| 9     | 0.15mm | 0mm | 7.7mm |

Kuva 14. Curve Through XYZ-points työkalu. (Veikka Parviainen 2023)



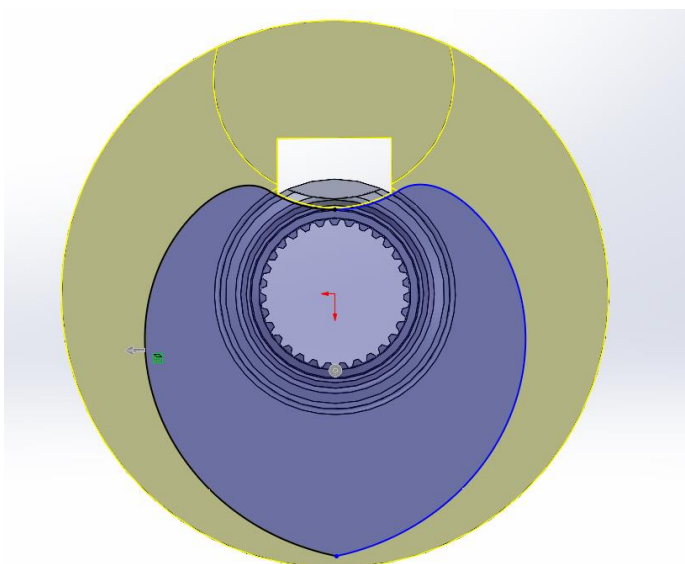
Kuva 15. Apuviiva 3D-mallissa. (Veikka Parviainen 2023)

Nokka-akselin malliin apuviivan luomisen jälkeen siirrytään seuraavaan vaiheeseen, jossa apuviivasta luodaan peilaamalla nokka-akselin geometrinen muoto. Sillä tässä tapauksessa nokka on molempiin suuntiin symmetrinen, voidaan apuviivaa käyttäen luoda nokka-akselin muoto peilaus toiminnon avulla. Apuviivan peilaus esitetty kuvassa 16.



Kuva 16. Apuviiva peilattuna symmetrisesti. (Veikka Parviainen 2023)

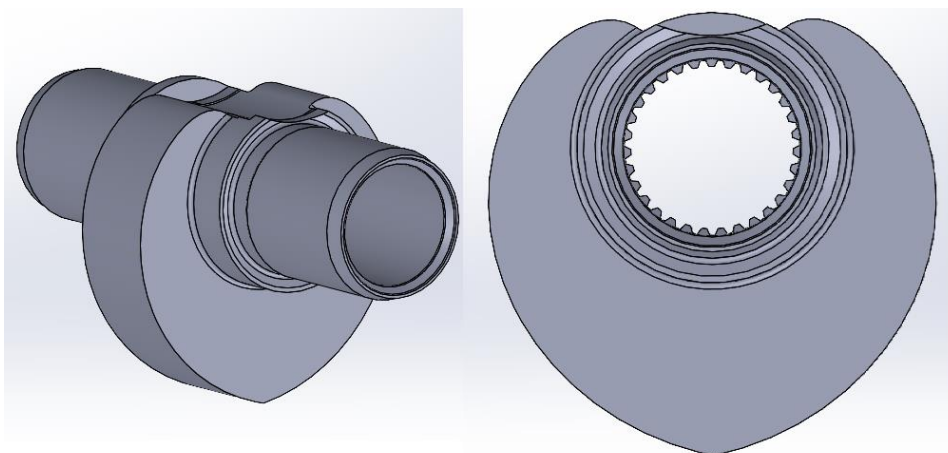
Seuraavaksi peilaustoiminnon avulla luotua nokan geometrista muotoa käytetään pohjana leikkaustyökalussa, joka laskettua muotoa käyttäen luo 3D-malliin vääntönokan lopullisen muodon, leikkaamalla kuvassa keltaisella näkyvän alueen nokka-akselin pohjamallista pois. Leikkausalue esitettynä kuvassa 17.



Kuva 17. Leikattava alue. (Veikka Parviainen 2023)

Leikkaustyökalun käytön jälkeen 3D-malli muodostuu todelliseen lopulliseen muotoonsa (Kuva 18.) ja se voidaan lähettää eteenpäin valmistettavaksi, jotta

laskettua vääntönokkaa päästään loppujen lopuksi testaamaan fyysisesti standardin edellyttämin keinoin.

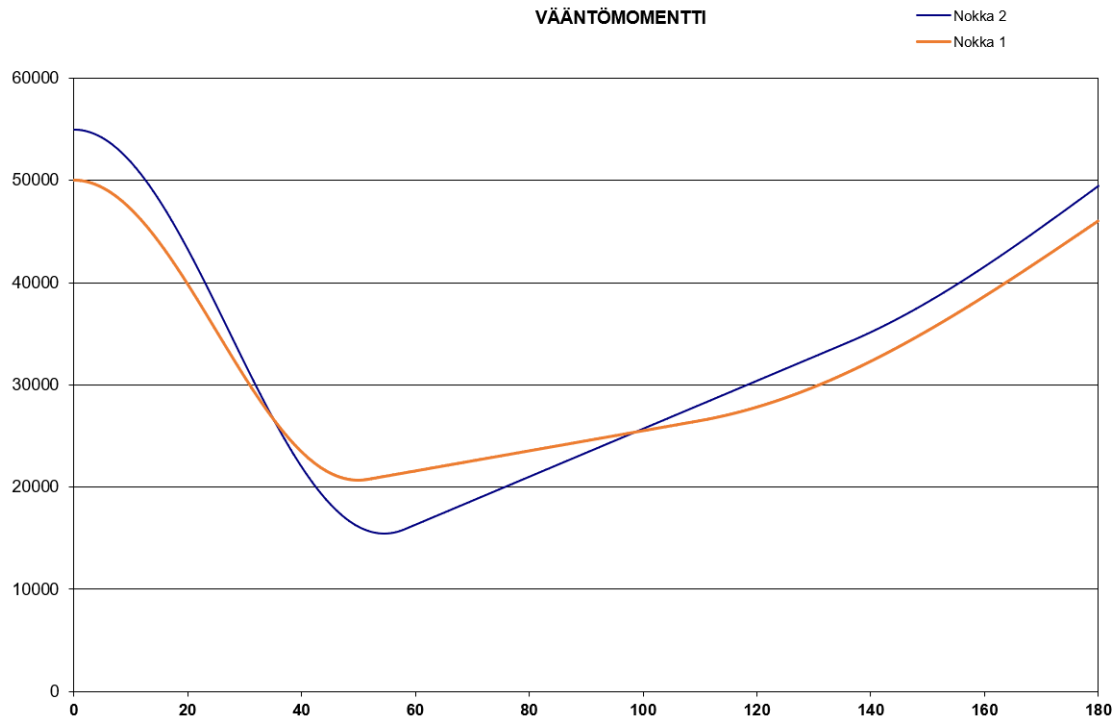


Kuva 18. Esimerkki nokka-akselin lopullinen 3D-malli. (Veikka Parviainen 2023)

Nokka-akselien 3D-malleista tehtiin myös piirustukset, käyttäen apuna vanhan käytössä olevan nokka-akselin piirustuksia. Piirustukset ovat oleelliset fyysisen prototyypin kannalta, määrittäen valmistusta varten kaikki tarvittavat tiedot.

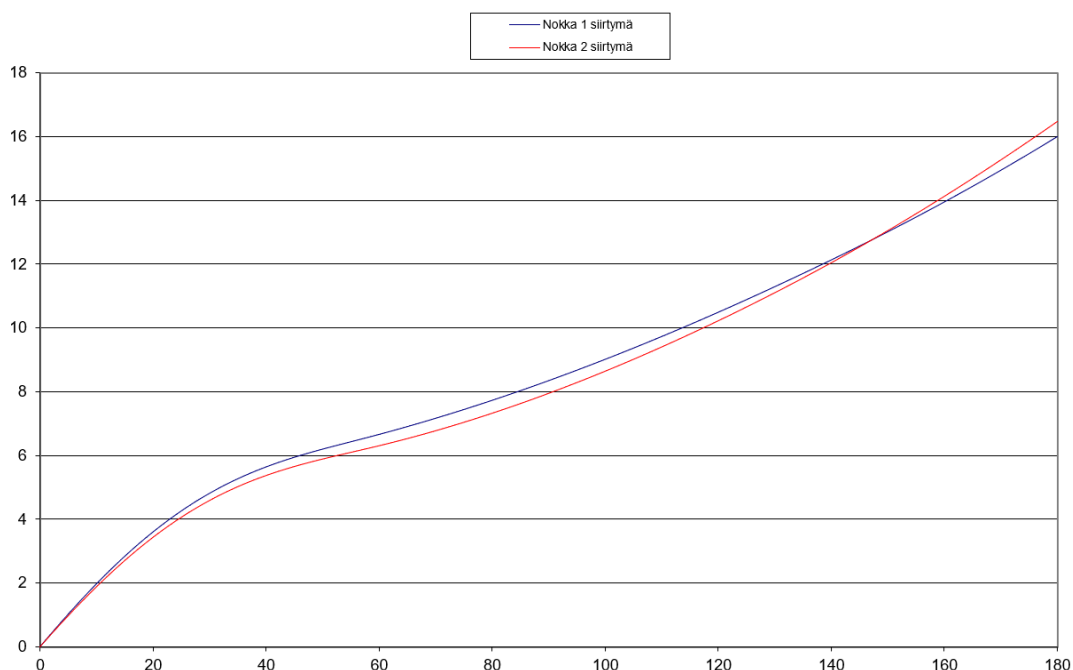
## 5 Tulokset

Opinnäytetyön tavoitteena oli tietokoneavusteisesti laskea, sekä mallintaa ovensulkimeen uusia nokkageometrioita, joiden tulee täyttää kaikki toimeksiantajan asettamat toiveet ja standardissa SFS-EN1154 määrätyt vaatimukset. Tuotekehitystyön tuloksena laskettiin ovensulkimeen uudenmallisia vääntönokkia, sekä mallinnettiin kyseisistä vääntönokista 3D-mallit käyttäen SolidWorks ohjelmaa. SolidWorks ohjelman avulla 3D-malleista tehtiin myös piirustukset, jotka tarvitaan fyysisten prototyyppien valmistuksessa. Mallinnetuista nokista, kaksi parhaaksi todettua nokkaa tilattiin valmistettavaksi. Kyseisten nokkien lasketut sulkeutumismomentinkuvaajat on esitetty kuvassa 19.



Kuva 19. Tilattujen prototyyppinokkien lasketut sulkeutumismomenttikuvaajat. (Veikka Parviainen 2023)

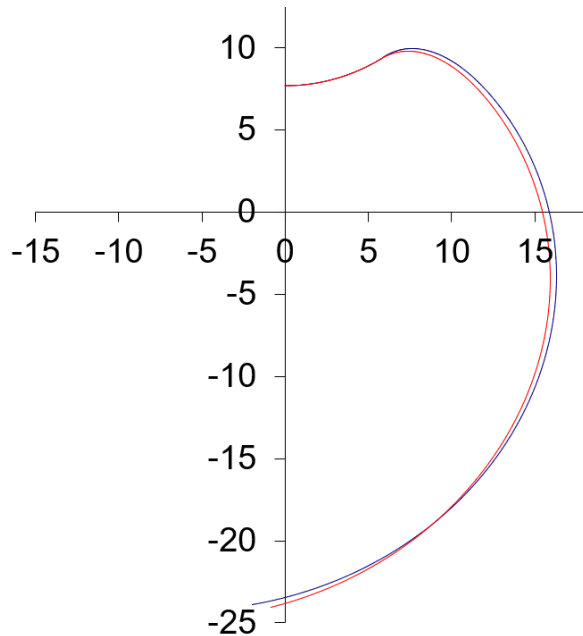
Kuvassa 19 voidaan visuaalisesti havaita erot kahden eri tilatun vääntönokan sulkeutumismomenttien välillä. Nokassa 1 on haettu geometriaa, joka mahdollistaisi parhaimmat mahdollisuudet ovensulkimen liikkeen säätämiseksi. Kun taas vastaavasti nokka 2 on pyritty hahmottelemaan siten, että standardissa olevaa pienempää vääntömomentin minimi arvoa muilla asteluvuilla kuin 0–4° ja 88–92° on käytetty hyväksi, maksimoidakseen vääntömomentin arvot välillä 0–4° ja 88–92°. Nokan 1 minimi sulkeutumisvääntömomentti asteilla 88–92° oli 11 % ja nokan 2, 18 % suurempia kuin alkuperäisen käytössä olevan nokan arvot. Nokkien 1 ja 2 tuottamien siirtymien kuvaajat nähdään kuvassa 20.



Kuva 20. Tilattujen nokkien tuottamat siirtymät. (Veikka Parviainen 2023)

Kuvassa 20 nähdään erot tilattujen nokkien tuottamien siirtymien välillä. Nokan 1 siirtymän kulmakerroin asteluvuilla  $150^{\circ}$ - $180^{\circ}$ , sai arvoksi 0.114, joka oli alkuperäiseen nokkaan verrattuna 29 % suurempi. Puolestaan nokan 2 siirtymän kulmakerroin asteluvuilla  $150^{\circ}$ - $180^{\circ}$ , sai arvoksi 0.099, joka oli alkuperäiseen nokkaan verrattuna 14 % suurempi.

Kuvassa 21 on esitetty molempien tilaukseen menneiden prototyyppinokkien geometriat vertailun vuoksi. Kuvassa nokka 1 on esitetty punaisella ja nokka 2 sinisellä.



Kuva 21. Tilaukseen menneiden nokkien geometrioiden koordinaattipisteet. (Veikka Parviainen 2023)

Jo opinnäytetyöprosessin alussa tiedettiin, että fyysisten prototyyppinokkien hankinta voi aikataulunpuolesta olla mahdotonta, prototyyppinokkien tilauksen sekä valmistusprosessin keston takia. Tästä syystä, tässä opinnäytetyössä päätettiin keskittyä pääasiassa vain nokkien geometrioiden laskentaan ja vääntönokkien CAD-mallintamiseen. Uusien prototyyppinokkien todellinen käyttäytyminen verrattuna nykyiseen käytössä olevaan nokkaan, on mahdollista selvittää vasta tulevaisuudessa, konkreettisesti testauksessa. Laskettujen sekä mallinnettujen uusien vääntönokkien testausta ja kehitystä tullaan jatkamaan toimeksiantajayrityksen tuotekehityksessä vielä opinnäytetyöprosessin jälkeen.

## 6 Pohdinta

Opinnäytetyöprosessin aikana koen oppineeni paljon uutta, aina itsenäisestä työskentelystä, tiedonhakuun taitoihin sekä uusien ohjelmistojen käyttämiseen. Vaikka ammattikorkeakouluopintojen aikana on käyty läpi monia eri asioita, oli nokka-akselin teoria sekä opit minulle täysin uusi asia. Opinnäytetyön

teoriaosan kirjoittamisen aikana yhdeksi ongelmaksi osoittautui se, että materiaali nokka-akselin toimintaan sekä teoriaan liittyen oli hankalaa löytää. Suurin osa teoriasta nokka-akseleihin liittyen oli pääsääntöisesti auton sekä muiden koneiden moottorien toimintaan liittyvää, eikä hyvää ja selkeää tietoa ollut yksinkertaista löytää, edes ohjaavan opettajan avustuksella.

Opinnäytetyön varsinainen toiminnallinen osuus oli omasta mielestäni hyvin mielenkiintoinen ja myös osittain haasteellinen. Uusien ohjelmien käyttäminen oli aluksi vähän hidasta ja kömpelöä, mutta kunhan jutun juonesta pääsi jyvälle, alkoi ohjelmistojen käyttäminen tuntumaan enemmän luonnolliselta ja työskentely sujui tehokkaammin.

Koen että pystyn soveltamaan opinnäytetyöprosessin aikana opittuja uusia taitojani tulevaisuudessa työelämässä. Uskon että työni tuloksista tulee olemaan konkreettista hyötyä toimeksiantaja yritykselle Abloy Oy:lle ja että tehty työni eikä käyttämäni aika ei ole mennyt hukkaan. Tekemäni työ tulee olemaan osa jatkuvaa tuotekehitysprosessia, jonka myötä tullaan saamaan markkinoille entistä parempi tuote tulevaisuudessa.

## Lähteet

- Abloy Oy. 2019. ABLOY DC250 Asennusohjeet.
- Abloy Oy. 2021. Ovensulkimet.  
<https://www.abloy.com/global/fi/documents/tuotteet/esitteet/abloy-ovensulkimet/ABLOY%20Ovensulkimet.pdf>. 15.02.2023.
- Abloy Oy. 2023a. Abloy yrityksenä. <https://www.abloy.com/global/fi/about-abloy>. 26.02.2023.
- Abloy Oy. 2023b. Lukituksen Sanakirja.  
<https://www.abloy.com/global/fi/suunnittelijoille-ja-valmistajille/lukituksen-sanakirja>. 06.02.2023.
- Abloy Oy. 2023c. Tehdas. <https://www.abloy.com/global/fi/about-abloy/factory>. 26.02.2023.
- Assa Abloy. 2021. "ASSA ABLOY Door Closers: how does a Cam-Motion® door closer work?" YouTube-video.  
[https://www.youtube.com/watch?v=FSYFbYYQ4ms&ab\\_channel=AS\\_SAABLOY](https://www.youtube.com/watch?v=FSYFbYYQ4ms&ab_channel=AS_SAABLOY). 20.02.2023.
- Assa Abloy. Door Closers.  
<https://www.assaabloy.com/pl/en/solutions/topics/door-closers>. 08.02.2023.
- Fonselius, J., Rinkinen, J. & Vilenius, M. 1995. Koneautomaatio Hydraulikka II. Helsinki: Opetushallitus.
- Hietikko, E. 2021. Tuotekehitystoiminta. Helsinki: BoD – Books on Demand.
- Jokinen, T. 2001. Tuotekehitys. Helsinki: Otatieto.
- Kajaste, J., Kauranne, H. & Vilenius, M. 2013. Hydraulitekniikka. Helsinki: Sanoma Pro Oy.
- Mäkisalo, L. 2020. Vääntönokan laskennallinen muotoilu kontaktiväsymistä vastaan. LUT-Yliopisto. LUT Kone. Diplomityö.  
[https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/160560/Diplomityo\\_Makisalo\\_Lassi.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/160560/Diplomityo_Makisalo_Lassi.pdf?sequence=1&isAllowed=y). 11.04.2023.
- Rothbart, A. 2004. Cam Design Handbook. USA: The McGraw-Hill Companies Inc.
- SFS EN-1154. 1997. Building hardware. Controlled door closing devices. Requirements and test methods. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.
- Ulrich, K. & Eppinger, S. 2016. Product Design and Development. New York: McGraw-Hill Education.