

# TEKNISEN SUUNNITTELUN STANDARDIT

LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU  
Insinööri (AMK)  
Kone ja tuotantotekniikan (AMK)  
Syksy 2018  
Marko de Szejko

## Tiivistelmä

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                     |                               |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|
| Tekijä(t)<br>de Szejko, Marko                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Julkaisun laji<br>Opinnäytetyö, AMK | Valmistumisaika<br>Syksy 2018 |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Sivumäärä<br>38                     |                               |
| Työn nimi<br><b>Teknisen suunnittelun standardit</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                     |                               |
| Tutkinto<br>Konetekniikka (AMK)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                     |                               |
| <p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyössä tutkittiin suunnittelutyöhön liittyviä standardeja eli vakiintuneita käytäntöjä ja teknilliseen piirtämiseen liittyvää kirjallisuutta sekä eri komponentteihin liittyviä tietoja. Työn tarkoituksena on antaa suunnittelijoille perustietoa standardeista sekä antaa pieni kuvaus teknisestä suunnittelusta.</p> <p>Opinnäytetyölle ajatus lähti siitä, että opinnäytetyön toimeksiantajana toimivalta suunnittelutoimistolta oli kyselty standardien käytöstä. Opinnäytetyön sisältöä pohdittiin yhdessä suunnittelutoimiston kanssa siten, että mietittiin, mitä tietoa opinnäytetyöhön otettaisiin. Suunnittelutyön ollessa erittäin laajaa, jouduin valitettavasti karsimaan jonkin verran osa-alueita pois.</p> <p>Opinnäytetyö antaa kuvan standardien sisällöstä sekä kuvauksen niiden käytöstä. Standardien käytössä tulee huomioida se, että standardien käyttö ei ole pakollista vaan vapaaehtoista mutta jotkut yhtiöt sekä viranomaiset vaativat niiden käyttöä.</p> |                                     |                               |
| Asiasanat<br>Standardit, Tekninen suunnittelu, Suunnittelutyö                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                     |                               |

## Abstract

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                          |                          |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|--------------------------|
| Author(s)<br>de Szejko, Marko                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Type of publication<br>Bachelor's thesis | Published<br>Autumn 2018 |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Number of pages<br>38                    |                          |
| Title of publication<br><b>Title</b><br>Technical design standards                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                          |                          |
| Name of Degree<br>Engineering (AMK)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                          |                          |
| <p>Abstract</p> <p>The thesis focused on design work related standards, or established practices and technical drawing related literature as well as various component related information. The purpose of the thesis is to provide basic design information to designers and provide a small description of the technical design.</p> <p>The idea of thesis came from of design office, because some company has asked from them utilization for standard. The content of the thesis was discussed together with the design office, considering what information would be included in the thesis. When the design work is very wide, which is why I have to vacate unfortunately some of the areas off.</p> <p>The thesis gives a picture of the contents of the standard and a description of their uses. The use of standards should take into account that the use of standards is not mandatory but optional, but some companies and authorities require their use.</p> |                                          |                          |
| Keywords<br>Standard, Desing office, Thesis, Standard                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                          |                          |

## SISÄLLYS

|     |                                                              |    |
|-----|--------------------------------------------------------------|----|
| 1   | JOHDANTO .....                                               | 1  |
| 2   | STANDARDI .....                                              | 2  |
| 2.1 | Standardisoinnin historia.....                               | 2  |
| 2.2 | Standardin määritelmä.....                                   | 2  |
| 2.3 | Standardien lajeja .....                                     | 3  |
| 3   | TEKNINEN PIIRTÄMINEN.....                                    | 5  |
| 3.1 | Tekninen piirustus.....                                      | 5  |
| 3.2 | Viite- ja merkintäviivat .....                               | 5  |
| 3.3 | Kuvannot .....                                               | 6  |
| 3.4 | Leikkaukset.....                                             | 7  |
| 3.5 | Mitoitus / Toleranssit.....                                  | 9  |
| 3.6 | Pintamerkit .....                                            | 11 |
| 4   | HITSAUSPIIRUSTUS / MERKINNÄT .....                           | 13 |
| 4.1 | Hitsaus .....                                                | 13 |
| 4.2 | Hitsausmerkintä.....                                         | 13 |
| 5   | PROSESSITEOLLISUUS .....                                     | 17 |
| 5.1 | Prosessikaaviot .....                                        | 17 |
| 5.2 | Lohkokaavio .....                                            | 17 |
| 5.3 | Prosessin virtauskaavio .....                                | 18 |
| 5.4 | PI-kaavio .....                                              | 18 |
| 6   | PROSESSITEOLLISUUDEN PUTKET .....                            | 20 |
| 6.1 | Materiaalit.....                                             | 20 |
| 6.2 | Pinnankarheus.....                                           | 21 |
| 7   | MEKANIikka.....                                              | 22 |
| 7.1 | Kuvaus .....                                                 | 22 |
| 7.2 | Laakerointi sekä voitelu .....                               | 22 |
| 7.3 | Laakerointitavan valinta .....                               | 22 |
| 7.4 | Napaliitokset ja akselinpääät .....                          | 26 |
| 7.5 | Puristus,- ja kutistusliitokset sekä tasakiilaliitokset..... | 27 |
| 7.6 | Kitkaliitokset ja akselinpääät .....                         | 29 |
| 7.7 | Akselit ja akselien liittäminen .....                        | 30 |
| 7.8 | Jäykän akselin suunnittelunperusteet .....                   | 31 |
| 7.9 | Akselin materiaalin valinta .....                            | 32 |

|      |                                              |    |
|------|----------------------------------------------|----|
| 7.10 | Pinnan käsittely sekä muotoilu.....          | 33 |
| 7.11 | Akselien värähtely ja vääntövärähtelyt ..... | 35 |
| 8    | YHTEENVETO .....                             | 37 |
|      | LÄHTEET .....                                | 38 |

## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tarkoitus on antaa opas suunnittelutyössä käytettäviin standardeihin. Toimeksianto tuli kirjoittajan työharjoittelupaikasta, sillä yhtiölle oli tullut kyselyjä standardien käytöstä.

Suunnittelutoimiston päätoiminta-alueita ovat laitos- ja prosessisuunnittelu, erityisesti elintarvike- ja muussa prosessiteollisuudessa sekä materiaalinkäsittelyjärjestelmien suunnittelussa ja laite- sekä mekaniikkasuunnittelussa.

Standardien käyttö on erittäin laajaa ja se koskettaa jokaista alaa jollainlailla. Melkein jokaisessa työssä on eri säädöksiä, jotka tulevat ainakin jollain tapaa standardeista. Standardi on yhteinen menettelytapa toistuvaan toimintaan. Standardit ovat luonteeltaan suosituksia mutta jossain tilanteissa standardeja edellytetään.

Tässä työssä ei käydä jokaista standardia läpi vaan yritetään poimia niitä standardeja, jotka koskettavat suunnittelutoimiston töitä.

## 2 STANDARDI

### 2.1 Standardisoinnin historia

Yleisesti hyväksytty standardi on oltava yleisesti saatavilla sekä kirjallisessa muodossa. Standardit on valmisteltu yhteistyössä ja standardien tavoitteena on aina yhteisymmärrys eri osapuolten kesken. Standardien hyväksymisen antaa vain standardisoinnista vastaava elin, esimerkiksi viranomainen tai järjestö.

Kautta historian ihminen on luonut erilaisia ympäristöjä ja sopeutunut vaihteleviin luonnon-oloihin. Kaikissa kulttuureissa on jatkuvasti pyritty luomaan uusia työkaluja sekä uusia ja nopeampia menetelmiä, joiden avulla työ on ollut entistä helpompaa sekä paljon nopeampaa toteuttaa. Historiassa on jo nähty näyttäviä esimerkkejä ihmisten kekseliäisyydestä mm. pyramidit, intiaanien temppelit sekä kiinan muuri.

Historiassa hyvä esimerkki standardin käytöstä ilmenee pyramidien rakentamisesta, silloin jo huomattiin, että on helpompi rakentaa, jos tiilet ovat samankokoisia. Tiilille määriteltiin standardikoko 410 x 200 x 120 millimetriä. Kun tiilet olivat samankokoisia, oli niillä myös helpompi rakentaa, toki silloisia standardeja ei ollut vielä käytössä kaikkialla. Mikäli kyseistä ns. tiilistandardia ei olisi käytetty niin pyramidit tuskin olisivat koskaan valmistuneet.

Vasta 1800-luvulla Iso-Britanniasta alkanut teollinen tuotanto levisi myös Suomeen ja muutti tilanteen täysin. Teollinen tuotanto tarkoittaa massatuotantoa, joka edellytti yhdenmukaisia tuotteita sekä vaihto-osia, mitkä vastasivat toisiaan.

### 2.2 Standardin määritelmä

Standardien tarkoitus on yhteisten pelisääntöjen luomista, joiden tarkoituksena on helpottaa yhteiskunnassa mm. kuluttajien, viranomaisia sekä elinkeinoelämää. Standardien käytöllä ollaan saatu luotua tuotteiden yhteensopivuutta, turvallisuutta sekä pystytty suojelemaan ympäristö ja helpottamaan kotimaankauppaa sekä ulkomaankaupan käyntiä.

Standardien laadinta tapahtuu yhteistyön tuloksena työryhmissä sekä komiteoissa, työntulokset julkaistaan kirjoina, jotka ovat kaikkien saatavilla. Standardien käytössä tulee huomioida, että standardi voi olla esimerkiksi voimassa vain yhdessä maassa mutta nykyään standardeista pyritään tekemään kansainvälisiä.

Standardeissa pitää ottaa huomioon myös se, että standardien käyttö on vapaaehtoista mutta jossain asioissa viranomainen voi vaatia standardien käytön. Standardista on olemassa useita määritelmiä, joiden perusteella katsotaan olevan seuraavia ominaisuuksia:

Standardi on kirjallinen julkaisu, joka on kaikkien saatavilla. Standardin on standardisoinnista huolehtivan viranomaisen, järjestön tai muun tunnustetun elimen hyväksymä.

Standardit valmistellaan yhteistyössä ja valmistuksessa pyritään yhteisymmärrykseen.

Eri standardit:

- Kansainvälinen standardi on kansainvälisen standardisointijärjestön hyväksymä.
- Alueellinen standardi on alueellisen standardisointijärjestön hyväksymä.
- Kansallinen standardi on kansallisen standardisointijärjestön hyväksymä.

## 2.3 Standardien lajeja

Laajin soveltaminen on perusstandardeilla, millä määritellään mittayksiköitä, käsitteitä, tunnuksia sekä merkkejä. Tuotestandardeissa määritellään vaatimukset, jotka tuotteiden tai tuoteryhmien on täytettävä, jotta ne sopivat tarkoitukseensa.

Standardivaatimukset voivat koskea esimerkiksi mitoitusta, rakennetta, kestävyyttä tai turvallisuutta. Nykyisissä standardeissa huomioidaan myös tuotteen ja valmistamisen ympäristövaikutukset.

Menetelmästandardi pitää sisällään ohjeita tuotantoprosessissa ja raaka-aineiden sekä komponenttien ominaisuuksissa. Menetelmästandardit saattavat sisältää myös määritelmiä, miten jonkin tuotteen huolto tulisi järjestää.

Palvelustandardi määrittelee vaatimukset, jotka palvelun on täytettävä tarkoitukseen sopivuudella varmistamiseksi. Palvelustandardit voidaan vaatia esimerkiksi pesupalveluille, hotelleille, kuljetuksille, autonhuolloille.

Turvallisuusstandardeilla pyritään luomaan turva ihmisille sekä turvallinen ympäristö. Sastandardit pitävät sisällään määritelmiä ja pyrkivät antamaan täydentäviä selityksiä kuville sekä esimerkeille.

Testausstandardit tarkoittavat tuotteiden testausmenetelmiä. Testausstandardien täydennyksissä on usein ehtoja esimerkiksi siitä, miten näytteet tulisi valita ja millä menetelmillä tulosten analysointia tulisi tehdä.

*Standardit eroavat myös siinä, onko pääpaino tuotantomenetelmässä vai itse lopputuotteen ominaisuuksissa. Jos paino on itse menetelmässä ja tuotantoprosessi on tarkkaan säännelty, uuden teknologian käyttöönotto hidastuu. Tuotantomenetelmiin kohdistuvia määräyksiä on myös helppo käyttää rajoittamaan ulkomaista tuontia ja kilpailua kotimarkkinoilla. Uusissa standardeissa onkin yleisempää, että määritellään*

*vain ne ominaisuudet, joita tuotteessa halutaan olevan. Valmistajan itsensä ratkaisu-  
tavaksi jätetään se, minkälaisella tuotantoprosessilla lopputulos saavutetaan. (SFS-  
käsikirja 1 2013, 9.)*

### 3 TEKNINEN PIIRTÄMINEN

#### 3.1 Tekninen piirustus

Kun ihmiset keskustelevat keskenään, he vaihtavat ajatuksiaan ja ymmärtävät toisiaan. Tekninen piirtäminen on tekninen piirustus, jolla esitetään esimerkiksi jokin laite, sen mitat sekä muodot tai kaaviot.

Teknistä piirtämistä on käytössä melkein jokaisella alalla. Piirustukset auttavat asioiden esittämisessä sekä ymmärtämisessä toisin kuin esimerkiksi puheet.

#### 3.2 Viite- ja merkintäviivat

Standardi SFS-ISO 128-20:2009 määrittelee perusviivatyyppit. Eri viivatyyppien käytöntar koitus on helpottaa koneenpiirustuksien tulkintaa. Koneenpiirustuksissa esimerkiksi kap paleen ääriviivat piirretään leveällä ehyt viivalla ja piilossa olevat muodot keskileveällä kat koviivalla.

*Perusviivatyyppejä on yhteensä 15 kappaletta, joista viisi on mainittu esimerkkinä kalvon taulukossa 1. Perusviivatyyppit.*

*Perusviivatyyppien lisäksi on erilaisia muunnelmia, yhteensä neljä kappaletta, esi merkiksi säännöllinen ehyt aaltoviiva ja säännöllinen ehyt kierreviiva.*

*Muunnelmien lisäksi on vielä erilaisia yhdistelmiä, esimerkiksi kahden erityyppisen viivan yhdistelmä.*

*Kaiken tyyppisten viivojen leveyden  $d$  on oltava seuraava riippuen piirustuksen tyy pistä ja koosta. Tämä sarja perustuu yhteiseen sarjaan*

*1:2 ( $\approx 1:1,4$ ): 0,13 mm; 0,18 mm; 0,25 mm; 0,35 mm; 0,5 mm; 0,7 mm; 1 mm; 1,4 mm; 2 mm.*

*Erittäin leveiden, leveiden ja kapeiden viivojen paksuudet ovat suhteessa 4:2:1. Jo kaisen yksittäisen viivan pituuden on pysyttävä vakiona läpi koko viivan. (Metsta ry 2009.)*

Kuva 1 näytetään muutama esimerkki viivan leveyksistä.

| No. | Esitystapa                                                                        | Nimitys                    |
|-----|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| 01  |  | ehyt viiva                 |
| 02  |  | katkoviiva                 |
| 03  |  | harva katkoviiva           |
| 04  |  | pitkä pistekatkoviiva      |
| 05  |  | pitkä kaksipistekatkoviiva |

Kuva 1. 5 Perus viivatyyppiä (Metsta ry 2009, 8)

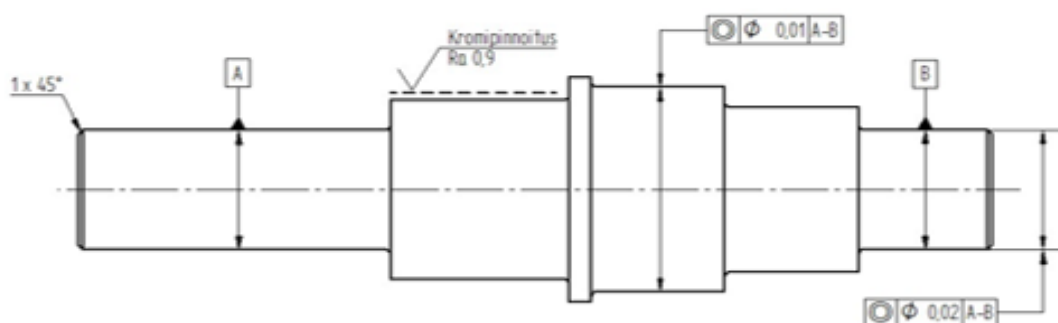
Viiteviivojen tarkoituksena on osoittaa jotakin tiettyä kohtaa kappaleessa sekä siihen merkittyä asiaa. Standardi SFS-ISO 128-22:2009 käsittelee viite- ja merkintäviivojen asioita.

*Mikäli viiteviiva päättyy viivaan, joka on esimerkiksi kappaleen, putkiston tai kaapelin ääriveriiva, se piirretään suljetulla ja mustatulla tai suljetulla nuolenkärjellä. Jos halutaan merkitä useita samansuuntaisia viivoja, niin voidaan nuolenkärkien sijasta käyttää vinoviivoja.*

*Mikäli viiteviiva päättyy kappaleen ääri rajojen sisäpuolelle, esimerkiksi halutaan viitata pintaan, niin viiteviivan päätä kuvataan pisteellä.*

*Jos viiteviiva päättyy toiseen viivaan, esimerkiksi mitta- tai symmetriaviivaan, niin siinä ei käytetä nuolenkärkeä tai pistettä (metsta ry 2009, 9)*

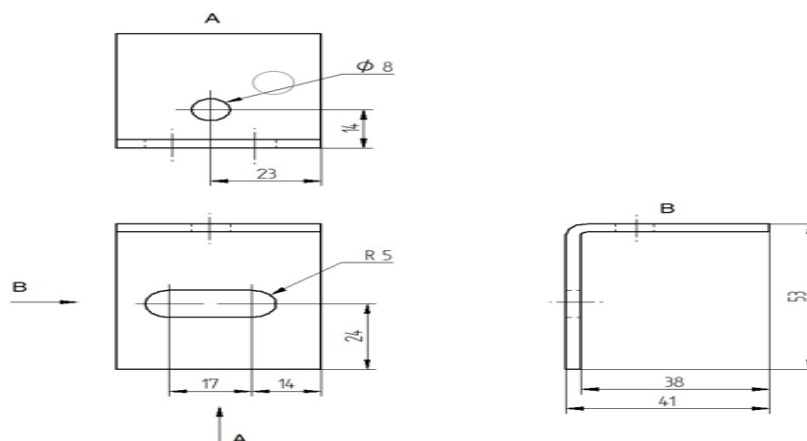
Kuvassa 2 näytetään esimerkki viiteviivan käytöstä.



Kuva 2. Viite- ja merkintäviivat (Metsta ry 2009, 9)

### 3.3 Kuvannot

Koneen piirustuksia laadittaessa on kolmiulotteiset kappaleet ja laitteet osattava kuvata kaksiulotteisten tasokuvien avulla. Piirustuksia tulkittaessa (luettaessa) on toisaalta kyettävä kaksiulotteisten tasokuvien avulla luomaan kolmiulotteinen mielikuva kappaleesta tai laitteesta (Pere 2016,4). Yksi tyyli kolmipistekäännössä havainnollistetaan kuvassa 3.



Kuva 3. Suositeltava esitystapa (SFS-ISO 128-30:2009, 13)

*Standardin SFS-ISO 128-30:2009 mukaan kohteen kaikista havainnollisinta kuvantoa pitäisi käyttää etu- tai pääkuvana, huomioon ottaen esimerkiksi käyttö- tai valmistusasennon.*

*Standardin tämän hetkinen suositeltava tapa kuvantojen esittämiseen on, että jokainen kuvanto, etu- tai pääkuvantoa lukuun ottamatta, merkitään selkeästi suuraakkosella, joka sijoitetaan katsantosuuntaa osoittavan suuntanuolen viereen. Yhden käännön ja kolmen käännön projektiomenetelmät ovat yhä velvoittavia (Metsta ry 2009, 9.)*

Standardin SFS-ISO 128-30:2009 sääntöjen lisäksi, on standardi SFS-ISO 128-34:2009 joka määrittelee yhdensuuntaisuusprojektionmenetelmiä.

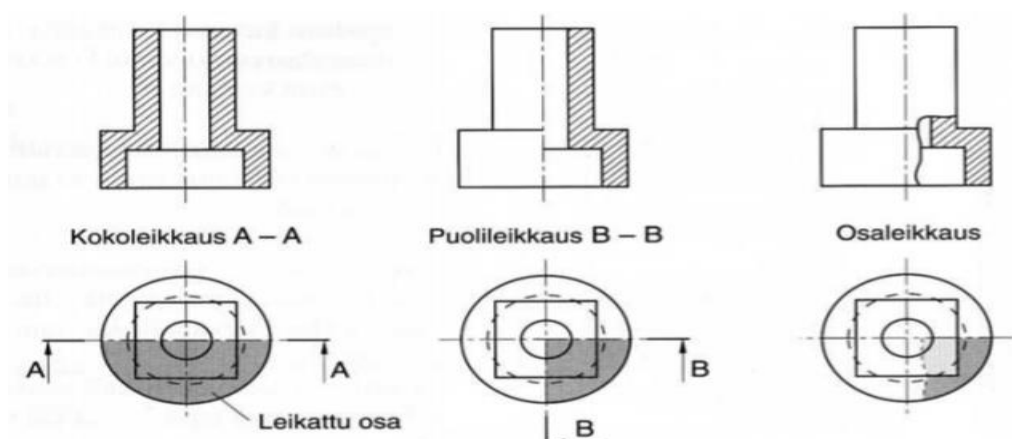
### 3.4 Leikkaukset

Leikkauksien tarkoitus on tuoda kappaleen sisällä olevat muodot paremmin esille (käytetään pintakuvantojen lisäksi). Leikkaus yleensä tehdään jonkin keskiviivan mukaan ja jokainen leikkaus merkitään selkeästi, suuraakkosen avulla. Leikkaustyyppit näytetään kuvassa 4.

Leikkaus tyyppejä ovat:

- kokoleikkaus.
- puolileikkaus.
- osaleikkaus.

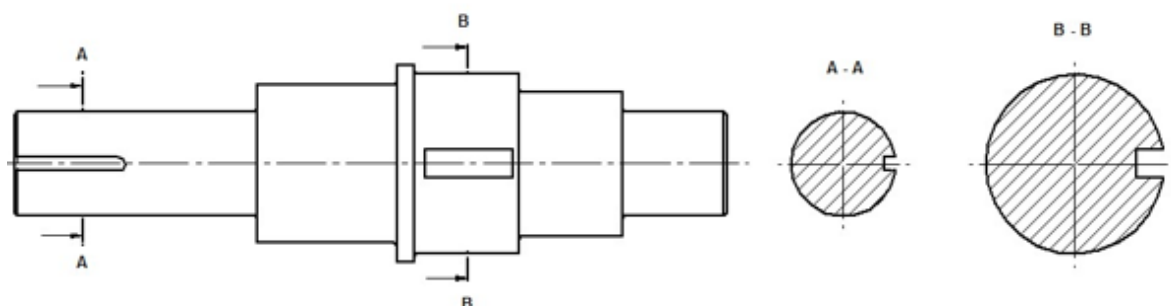
Yleiset säännöt teknisen piirustuksen, leikkauksien esittämiseen SFS 128-40:2009:



Kuva 4. Leikkaustyyli (Lamk 2016, 3)

Teknisen piirtämisen yksi osio on koneenpiirustus. Koneenpiirustuksia käytetään koneen suunnittelussa, koneautomaatiossa ja valmistustekniikassa. Piirustukset auttavat kappaleen mitoituksessa sekä kappaleen muotoilussa, jotta ne saadaan tuotettua. Kuvassa 5 havainnollistetaan leikkaustasojen esittämistä.

Koneenpiirustuksien yleiset leikkaus ja leikkaustasojen säännöt löytyvät standardi SFS-ISO 128-44:2009.



Kuva 5. Leikkaustasot koneenpiirustuksessa (Metsta ry 2009, 16)

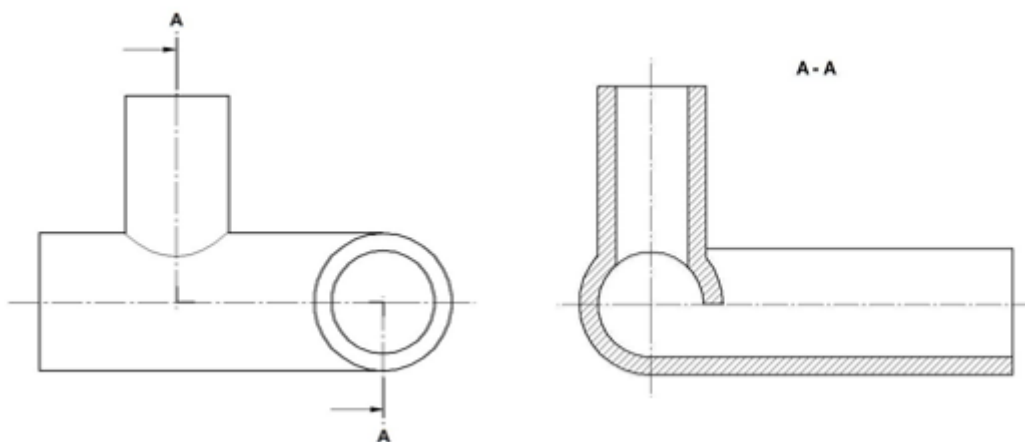
Leikkauksiin kuuluvat myös leikkauspintojen esittäminen. Leikkaus pintojen tarkoitus on selkeyttää leikkaus kuvantoa. Kuvassa 6 havainnollistetaan leikkauspinnan esittämistä piirustuksessa.

Leikkauksia koskevat standardit:

- SFS-ISO 128-40:2009 Määrittelee yleiset säännöt leikkausten esittämiseen kaikentlaisissa teknisissä piirustuksissa.

- SFS-ISO 128-44:2009 Määrittelee yleiset säännöt leikkausten ja leikkaustasojen esittämiseen koneenpiirustuksessa.
- SFS-ISO 128-50:2009 Määrittelee yleiset säännöt leikkauspintojen esittämiseen teknisissä piirustuksissa.
- ISO 128-44:2001 Technical drawings -- General principles of presentation -- Part 44: Sections on mechanical engineering drawings.

Leikkaus kahdessa yhdensuuntaisessa tasossa:



Kuva 6. Leikkauspinnan esittäminen (Metsta ry 2009, 17)

### 3.5 Mitoitus / Toleranssit

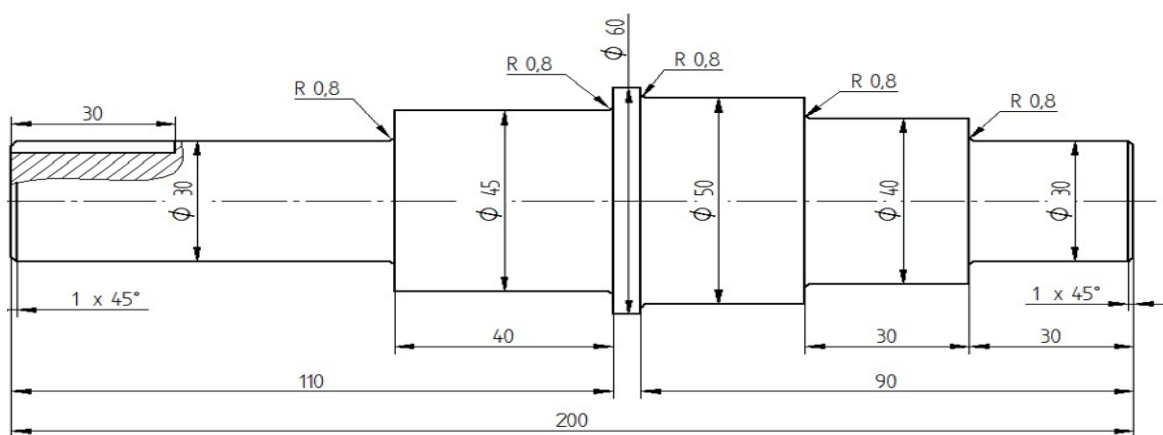
Käsityksen kappaleen muodosta ja koosta antaa mitoitus sekä kuvannot. Mitoitukset merkitsevät piirustuksissa lopullisia mittoja. Mitoituksessa täytyy ottaa myös huomioon kappaleen toiminnallisuus, valmistaminen, kokoonpano sekä asennus. Toleranssin tarkoituksena on kertoa kappaleen valmistuksessa sallittava mittavaihtelu. Mitoitus sekä toleranssin merkinnät havainnollistetaan kuvissa 7 ja 8.

Standardeja teknisen piirustuksen mitoitukseen sekä toleransseihin:

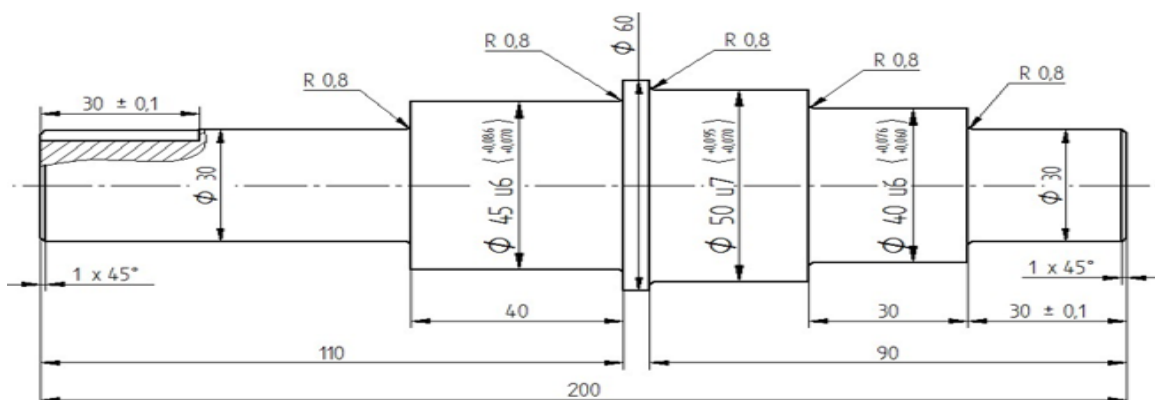
- SFS-ISO 129-1:2018 standardi pitää sisällään pituus- ja kulmamittojen toleranssi merkinnät.
- SFS-ISO 129-1:2009 standardi kertoo yleiset periaatteen tekniseen piirustukseen.
- SFS-EN ISO 5455:1995 Standardi kertoo mittakaavat ja niiden merkitsemisen.

- SFS-ISO 406:1988 Standardi sisältää pituus- ja kulmamittojen toleranssin merkinnot teknisessä piirustuksessa, jotka eivät välttämättä edellytä tietyn valmistus-, mitaus tai tarkastusmenetelmän käyttöä.
- SFS-EN 22768-1 Standardi on neljälle yleistoleranssi luokalle ilman toleranssimerkintää oleville pituuksille ja kulmamitoille.
- SFS-EN 22768-2 Standardi on kolmelle yleistoleranssiluokalle geometrisille toleransseille.
- SFS-EN ISO 286-1:2010 standardi käsittelee reikien ja akselien yleisesti käytettyjen toleranssiluokkien rajaeromittojen arvoja sekä perustoleransseja.

Kuvassa 7 havainnollistetaan mitoituksen sekä toleranssien esittäminen piirustuksessa.



Kuva 7. Mitoituksen esittäminen ((Metsta ry 2009, 19)



Kuva 8. Toleranssien esittäminen piirustuksessa (Metsta ry 2009, 24)

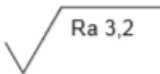
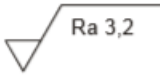
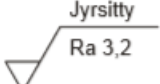
### 3.6 Pintamerkit

Työstettävän pinnan laatuvaatimukset kerrotaan piirustuksissa pintamerkeillä. Merkintä liitetään pintaa esittävälle muotoviivalle tai sen jatkeelle. Merkintää käyttäessä on hyvä muistaa, että pintamerkki asetetaan vain niille pinnoille, joille se on merkittävä. Lieriö ja särmiömäiset pinnat tulee merkitä vain yhdellä pintamerkillä, mikäli keskiviiva on merkitty. Jos kappaleessa on useammilla pinnoilla sama laatuvaatimus, tällöin tulee käyttää yleispintamerkkiä ja yleispintamerkinnästä poikkeavat laatuvaatimukset tulee merkitä asianomaisiin pintoihin.

Seuraavissa menetelmissä ei yleensä käytetä pintamerkintää:

- Poratut sekä lävistetyt reiät.
- Pienet viisteet.
- Väisteet ja pääteurat.
- Kulmanpyöristykset, jos pinnalaadulla ei ole merkitystä väsymislujuuteen.
- Kierteet, ruuvien ja tappien päät sekä ruuvien urat.
- Kiilaurat.
- Meistetyt, leikatut ja valssatut pinnat.
- Mikäli pinnanlaatu selviää ainesmerkinnästä (vedetty akseli).

Taulukossa 1 esitellään eri pintamerkintöjä sekä kerrotaan näiden tarkoitus.

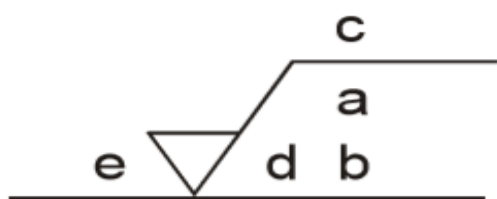
|                                                                                     |                                                                                                    |                                                                                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
|  | perusmerkki                                                                                        |  |
|  | lastuamalla työstettävä pinta                                                                      |  |
|  | aineen poistoa ei sallita, tai pinta jätetään sellaiseksi kuin se on edellisen työvaiheen jäljiltä |                                                                                      |
|  | lisävaatimuksia voidaan ilmoittaa viiteviivalla                                                    |  |

Taulukko 1. Pinnankarheus merkinnät (Kivioja 2011, 21)

Suunnittelijan on hyvä myös kerrata pintamerkin paikkojen tarkoitukset. Kuvassa 9 näytetään pintamerkin paikat sekä näiden tarkoitus.

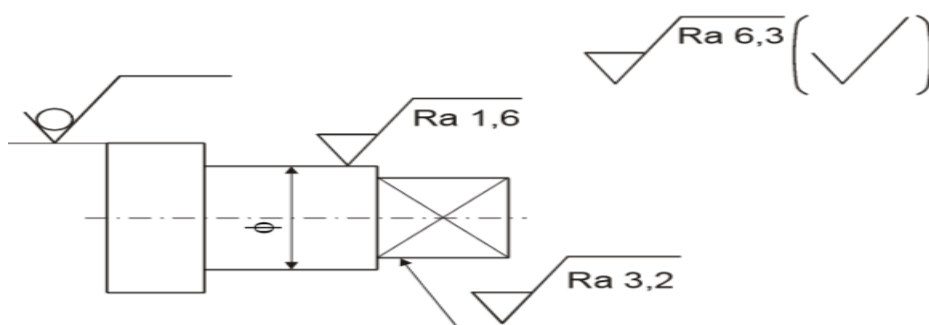
Paikkojen tarkoitus:

- a: tarkoittaa ensimmäisen pinnan ominaisuuksia koskeva vaatimus.
- b: toisen pinnan ominaisuuksia koskeva vaatimus.
- c: valmistusmenetelmä.
- d: pintakuvio tai työstönaarmujen suunta.
- e: työvara.



Kuva 9. Pintamerkin paikat (Kivioja 2011, 22)

Kuvassa 10 näytetään käytön esimerkkejä.



Kuva 10. Pinnankarheus merkinnäin käyttöesimerkkejä (Kivioja 2011, 22)

Standardi SFS-EN ISO 1302 sisältää julkaisun SFS-EN ISO 1302, joka koskee pinnankarheus merkintöjä.

## 4 HITSAUSPIIRUSTUS / MERKINNÄT

### 4.1 Hitsaus

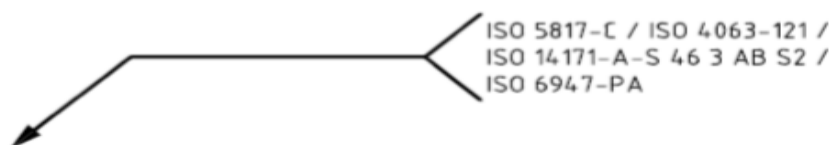
Hitsauksella tarkoitetaan kappaleiden liittämistä toisiinsa, joka tapahtuu lämpö käyttämällä tai kappaleita puristamalla niin, että kappaleet ovat yhteydessä toisiinsa. Hitsaus on kehittynyt koko ajan eteenpäin ja hitsauksen käyttö laajenee sekä monipuolistuu monilla aloilla.

Hitsauksen kehityksen vuoksi, myös hitsausmerkintöjen standardit ovat muuttuneet. Hitsausmerkintöihin sisällytetään yhä enemmän tietoa hitsausprosessista. Uusi hitsaus standardi on SFS-EN ISO 2553.

### 4.2 Hitsausmerkintä

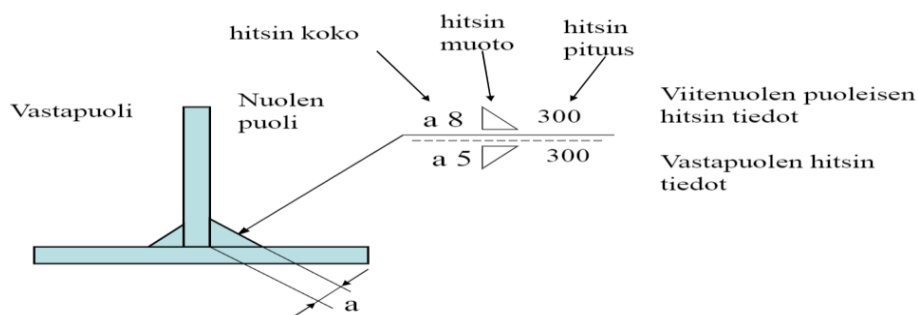
Hitsausmerkinnällä suunnittelija kertoo, miten hitsaus toteutetaan. Uusi hitsausmerkintöjä koskeva standardi on SFS-EN ISO 2553. Standardi määrittelee hitsausliitoksia sekä piirustusmerkintöjä koskevat säännöt.

Suunnittelussa pitää muistaa, että riippumatta siitä kummalta puolelta hitsausmerkin viiteviiva lähtee, lukusuunta on aina vasemmalta oikealle. Vain haarukka kääntyy pelikuvaksi, mutta siinä olevia merkintöjä ei peilata. Haarukassa esitetään hitsiluokka/ luokat, prosessi, lisäaine tai voidaan viitata hitsausohjeeseen. Kuva 11:ssä annetaan esimerkki haarukan käytöstä.



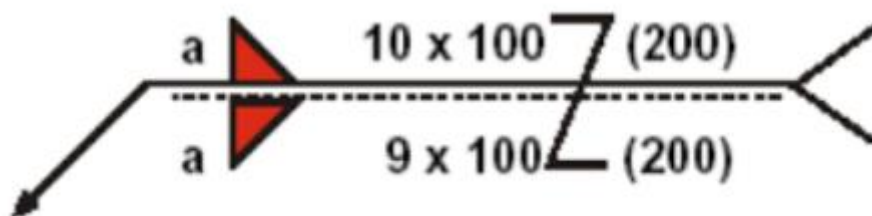
Kuva 11. Haarukka (SFS-EN ISO 2553 2013)

Kuvassa 8 näytetään perus hitsausmerkki sekä kerrotaan merkintöjen paikat ja niiden tarkoitukset.



Kuva 12. Hitsausmerkki (Mukailtu Kivioja 2018)

Katkohitsauksessa voidaan ilmoittaa osahitsien lukumäärä. Osahitsien välinen etäisyys on ilmoitettava sulkeissa. Vuorohitsauksessa hitsausmerkkiä täydennetään kirjaimella Z, joka ylittää merkintäviivan. Havainnollistetaan kuvassa 13.



Kuva 13. Katkohitsaus (Metsta ry. 2015)

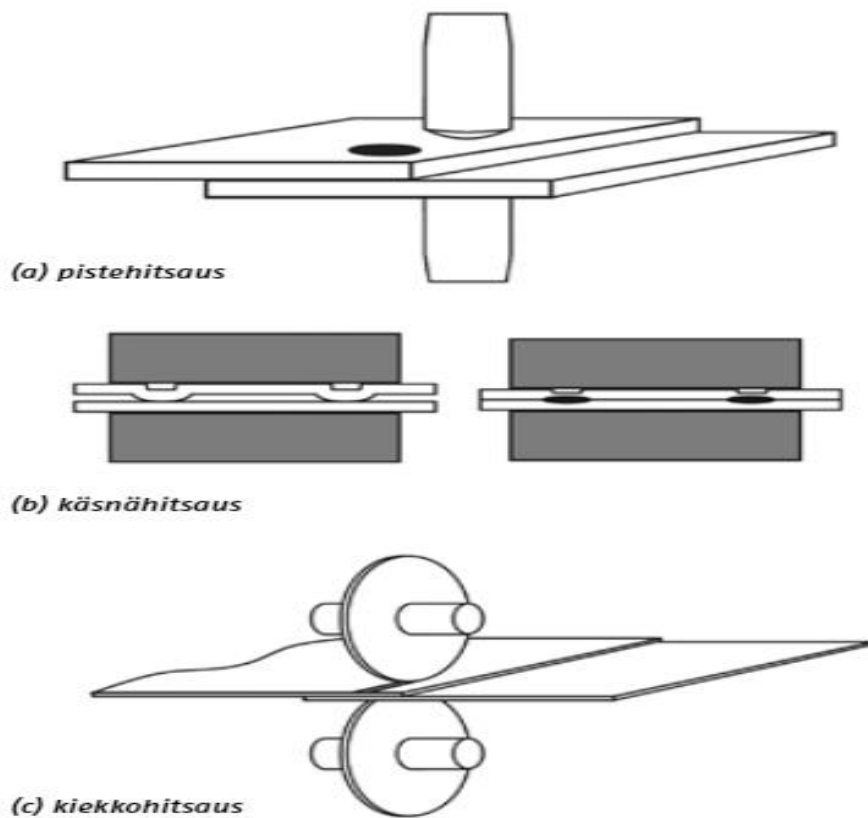
*Kaksi vaihtoehtoista merkintätapaa. Laajalti käytössä olevia hitsausmerkkijärjestelmiä on kaksi: ISO järjestelmä ja Tyynenmeren valtioiden alueella käytettävä amerikkalainen AWS A2.4 -standardi. Euroopassa käytettävän ISO-järjestelmän merkinnät tunnistaa katkoviivasta, joka kuvaa hitsausliitoksen vastapuolta. AWS-järjestelmässä katkoviivaa ei ole, vaan hitsin sijainti osoitetaan hitsin tunnuksen sijainnilla merkintäviivan ylä- tai alapuolella.*

*Nyt uudistetussa standardissa SFS-EN ISO 2553 (2013) molemmat järjestelmät tunnustetaan rinnakkaisina ja samanarvoisina merkintätapoina. Tässä mielessä voisi todeta, että standardisoinnissa ei ole onnistuttu kovin hyvin! Kompromissiin on johtanut se tosiasia, että molempien merkintäjärjestelmien käyttäjäkunta on kooltaan suunnilleen sama ja kumpikaan ei ole halunnut muuttaa omia käytäntöjään. Standardin laatinut työryhmä pohti myös kokonaan uutta merkintätapaa, mutta siihen ei lopulta päädytty. Ehkä näin lienee viisainta (Rapinoja METSTA ry 2015, 1).*

Vastuspistehitsausta yleensä käytetään teräsohutlevyjen liittämisenä. Kyseisessä hitsausmenetelmässä ei käytetä lisäainetta. Hitsisulan tarvitsema lämpö syntyy yhteenliitettävien kappaleiden vastuksista silloin, kun niiden läpi kulkee korkea hitsausvirta. Työkappaleiden väliin syntyy sähköä johtava kontaktipinta, kun näitä puristetaan toisiaan vasten.

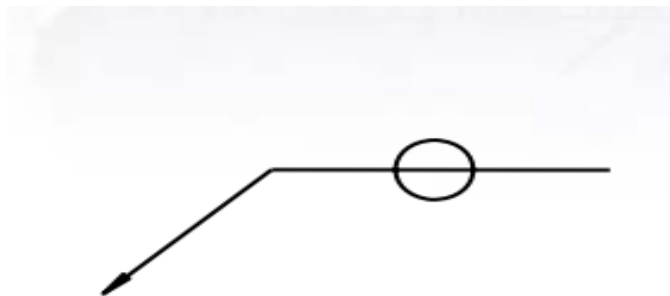
Vastushitsauksessa elektrodit ovat vesijäähdytettyjä ja ne ovat valmistettu kuparista. Elektrodien tehtävät ovat välittää puristusvoima liitoskohtaan sekä ohjata hitsausvirta

haluttua reittiä liitokseen. Kuvassa 14 havainnollistetaan eri vastushitsaus menetelmiä.



Kuva 14. Vastushitsaus menetelmät (Ruukki 2009, 4)

Kuvassa 15 näytetään vastushitsauksen piirustus merkintä.



Kuva 15. Vastuspistehitsin merkki piirustuksessa (Kurssimateriaalit tekninen piirustus 2018, 7)

Suunnittelutyössä on hyvä palauttaa mieleen, kehähitsausta koskettavat säännöt. Piirustuksissa on merkintöjen oltava riittävän täydellisiä sekä yksiselitteisiä. Mikäli kehämerkkiä

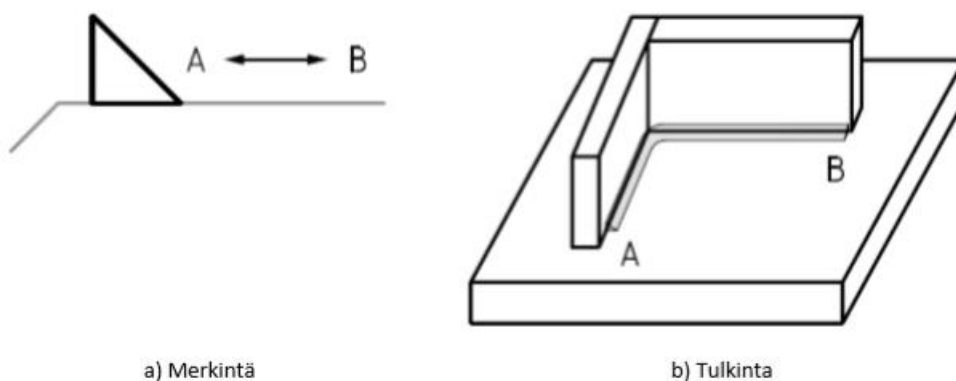
ei ole merkitty, hitsi koskee vain sitä hitsisaumaa, johon nuoli osoittaa. Ympärihitsatut liitokset voivat sisältää eri hitsaussuuntia sekä voivat sijaita useassa tasossa.

Kyseisen hitsauksen merkkiä ei käytetä, jos hitsin alku- ja loppukohta ei ole samassa pisteessä, hitsilaji vaihtuu tai hitsin mitat muuttuvat. Ympyränmuotoiseen hitsiin ei tarvita ympärimerkkiä. Kuva 16:sta näytetään ympyrämerkki.



Kuva 16. Kehähitsauksen merkki (SFS-EN ISO 2013, 2)

2013 standardissa SFS-EN ISO 2553 on esitelty uusi merkintätapa, jolla voidaan merkitä kahden pisteen välillä oleva jatkuva hitsi. Välillä-merkintä sopii hyvin kohtiin, joihin ei voida käyttää kehähitsauksen merkkiä, koska hitsi ei pääty aloituskohtaan. Kuvat 17 näytetään kahden pisteen välinen hitsaus merkintä.



Kuva 17. Kahden pisteen välinen merkintä (SFS-EN ISO 2553 2013, 3)

## 5 PROSESSITEOLLISUUS

### 5.1 Prosessikaaviot

Tässä osiossa ei selitetä kaikkia asioita kyseisistä kaavioista vaan annetaan pieni kuvaus niistä ja kerrotaan uusimmat standardit.

Prosessikaaviot esittävät, prosessilaitoksien rakenteet ja toiminnan sekä kertovat laitoksen yhtenäiset osat hankesuunnittelussa, johon kuuluvat kone,- ja laitesuunnittelu, rakentaminen, johtaminen mutta myös käyttöön ottaminen. Prosessikaaviot myös myötävaikuttavat yksinkertaistamaan informaation vaihtoa näiden prosessilaitosten kehittyessä.

Yleensä prosessikaaviota käytetään kemianteollisuudessa, öljyteollisuudessa, ruoka,- ja juomateollisuudessa, lääketeollisuudessa sekä ympäristösuojelulaitoksissa.

Informaatiosta riippuen, joka katsotaan tarpeelliseksi, olisi tehtävä ero lohkokaavioiden, virtauskaavioiden, putkitus, - ja instrumentointikaavion (PI-kaavio) välillä.

Prosessikaaviosta selviää:

- Mitä vaiheita prosessi sisältää.
- Missä järjestyksessä vaiheet toteutetaan.
- Kuka minkäkin vaiheen tekee.
- Millaisia erilaisia toimijoita prosessiin kuuluu.
- Milloin tieto liikkuu ja mihin/ kenelle.
- Visuaalinen muoto näyttää heti, kuinka suoraviivainen prosessi on.

### 5.2 Lohkokaavio

Lohkokaavion tarkoitus on kuvata prosessia tai prosessilaitosta, näihin asioihin kuuluvien tekstien sisältävien nelikulmaisten kehyksien avulla, joita virtausviivat yhdistävät.

Lohkokaavion kehykset saattavat esittää:

- Prosessia.
- Prosessinvaiheita.
- Perustoimintoja.
- Prosessilaitoksia tai prosessilaitosryhmiä.

- Laitoksen osia.
- Laitteistoja ja laitteita.

Lohkokaavion on sisällettävä seuraavat asiat:

- Kehyksien nimitykset.
- Tulevien,- ja lähtevien materiaali,- ja energiavirtojen nimitykset.
- Kehysten välisten päävirtojen suunnat.

### 5.3 Prosessin virtauskaavio

Prosessin virtauskaavio kuvaa prosessia tai prosessilaitosta virtausviivoilla toisiinsa yhdistettyjen piirrosmerkkien avulla. Prosessin virtauskaavion piirrosmerkit esittävät laitteita ja viivat esittävät massan tai energian kuljettajien virtoja.

Prosessin virtauskaavion on esitettävä seuraavat asiat:

- Prosessille tarpeellisten laitteiden laatu, jotka eivät tarvitse käyttölaitteita.
- Laitteiden viitetunnukset, joita ei tarvita kuitenkaan käyttölaitteille.
- Tulevien- sekä lähtevien materiaalien ja energiavirtojen reitti ja suunta.
- Lähtevien ja tulevien materiaalien nimitykset sekä virtamäärät/ massavirrat.
- Energiavirtojen tai energian kuljettajien virtojen nimitykset.
- Luonteenomaiset käyttöolosuhteet.

### 5.4 PI-kaavio

Prosessin virtauskaavioon perustuva PI-kaavio, (putkitus- ja instrumenttikaavio) esittää prosessin teknisen toteutuksen piirrosmerkein, jotka näyttävät laitteet ja putkituksen yhdessä piirrosmerkein esitettyjen prosessin mittausten, - ohjaustoimintojen kanssa.

PI-kaavion perusinformaatio:

- Laitteiden, käyttöjen ja kuljettimien sekä asennettujen varajärjestelmien toiminta tai tyyppi.
- Laitteiden, käyttöjen ja kuljettimien sekä asennettujen varajärjestelmien identifiointinumero.
- Laitteita kuvaavat tiedot, tarvittaessa erillisellä luettelolla.

- Putkiston halkaisijan, paineluokan ja materiaalin sekä tyyppin merkintä, esimerkiksi putkilinjan numero, putkiluokka sekä identifiointinnumero.
- Laitteiden, putkiston ja venttiileiden sekä varusteiden yksityiskohtaiset tiedot.
- Identifiointinumerolla varustettu prosessin mittaus- ja ohjaustoiminto.
- Käyttöjä kuvaavat tiedot piirustuksina tai erillisenä luettelona.

Näille kaavioille pätee standardi SFS-EN ISO 10628-1:2015 sekä SFS-EN ISO 10628-2:2015.

PSK standardit prosessikaavioihin ovat:

- PSK 3601 Prosessiteollisuuden virtauskaavioiden piirrosmerkit 2. painos 2007, 39s.
- PSK 3602 PI-kaavion tietosisältö 2008, s19.
- PSK 3603 PI-kaavion esitystapa ja merkitsemisohje 2012, s19.
- PSK 3604 Prosessin erottamisen suunnittelu ja hallinta 2013, 19s.
- PSK 3605 Prosessiteollisuuden virtaus- ja PI-kaavioiden symbolit 2006, s38.
- PSK 0901 Virtaavien aineiden nimet, lyhenteet ja lyhenteiden muodostaminen. 4. painos 2008, s14.
- PSK 0902 Merkintä turvallisuuden, käytön ja kunnossapidon kannalta teollisuudessa 2007, s3.

## 6 PROSESSITEOLLISUUDEN PUTKET

### 6.1 Materiaalit

Prosessiteollisuuden putkistoissa käytetään yleisimmin ns. kirkkaita teräksiä, jotka jakautuvat ruostumattomiin, - haponkestäviin ja duplex-teräksiin. Mustiin teräksiin verrattuna nämä teräkset ovat seostetumpia ja niiden kromi, molybdeeni ja nikkeliarvot ovat korkeampia, joiden takia nämä kestävät korroosiota ja hapettumista vastaan hyvin.

Prosessiteollisuudessa käytetään kirkkaita teräksiä siksi, että ne täyttävät eurooppalaiset painemääräykset sekä noudattavat painelaitedirektiiviä eli PED:iä (Pressure equipment directive).

Ruostumattoman teräksen yleisin laatu on 1.4301 ja haponkestävän teräksen 1.4404. Ruostumatonta terästä käytetään prosessiteollisuuden putkistoissa, säiliöissä sekä elintarvike- ja kuljetusteollisuuden koneisiin ja laitteisiin. Haponkestävää terästä käytetään koh-teissa, jossa ollaan tekemisissä liuottavien ja syövyttävien kemikaalien kanssa.

Duplex teräksen laatu on 1.4462, joka pitää sisällään erinomaisen lujuus ja korroosio kestävyys. Kyseisen teräksen ominaisuuksien takia materiaali-, ja yleiskustannuksia voidaan vähentää.

Austeniittiset CrNi teräslajit:

- Tyypillinen seostus on 18%Cr-8%Ni.
- Austeniittiset teräslajit ovat eniten käytettyjä teräksiä. Näiden pääasialliset käyttökohteet ovat teollisuusympäristöön sijoittuvat rakenteet. CrNi-teräksien yleisimmät lajit ovat 1.4301, 1.4307 ja 1.4541. Tällä teräslajilla alhaisen hiilipitoisuudella oleva teräslaji, joka on näistä 1.4307. 1.4318 teräslaji eroaa 1.4307 hieman matalammalla Cr-Ni pitoisuudella. Tyypiseoksen ansiosta teräslajin 1.4318 lujuusarvot ovat korkeammat kuin peruslajeilla.

Austeniittis-ferriittiset teräslajit:

- Tyypillinen seostus Duplex-teräkselle on 22%Cr-4%Ni-3%Mo.
- Duplex-teräslajien seospitoisuus määräytyy pääosin korroosioympäristön vaatimusten mukaisesti.
- Keskiseosteisten ja runsasseosteisten duplex-teräslajit ovat 1.4362, 1.4462 ja 1.4410 ja näiden pääasiallinen käyttötarkoitus on rakenteissa ja prosessilaitteissa.

Materiaalitunnuksella tarkoitetaan:

- H1, austeniittinen ruostumaton CrNi-teräs, EN 1.4307.
- H2, austeniittinen ruostumaton CrNiMo-teräs, 1.4432.
- C1, kuumaluja seostamaton teräs, EN P265GH.

Materiaaliin liittyvät standardit:

- SFS 725 Austeniittinen ruostumaton teräs X4CrNi18 9.

## 6.2 Pinnankarheus

Teollisuusputkistojen pinnankarheus määritellään aina tapaus kohtaisesti, koska pinnankarheus määräytyy tuotteen ja pesumenetelmien vaatimuksien mukaan. Pinnankarheus yksikkönä käytetään aina Ra-arvoa, joka tulee standardista.

Suunnittelijan tulee muistaa, että kun teollisuuslaitoksien putkituksia suunnitellaan niin putkistojen pintojen tulee olla aina sileät eikä niissä saa olla naarmuja, säröjä eikä muutenkaan epätasauksia. Syynä putkistojen sileisiin sekä tasaisiin sisäpintoihin, tulee pintojen puhdistuvuuden takia.

Teollisuuden putkiston standardi:

- Pinnankarheus standardi SFS-EN ISO 17491-4:en 2009.

Kuvassa 18 esitetään teollisuus putkistojen pinnankarheus luokkia.

| Karheusluokka   | Karheus $R_a$ ( $\mu\text{m}$ ) | Levyn valmistusmenetelmä, jolla pinnanlaatu voidaan saavuttaa | Käsittelymenetelmä, jolla pinnanlaatu voidaan saavuttaa                            | Pääasiallinen käyttötarkoitus                                                                                                                                                                          |
|-----------------|---------------------------------|---------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Erittäin karhea | $3,2 \leq R_a < 6,3$            | Kuumavalssattu                                                | Karkea hionta, muovaus tai koneistus                                               | Pinnat, jotka eivät ole näkyvissä eivätkä kosketuksissa tuotteen kanssa                                                                                                                                |
| Karhea          | $1,6 \leq R_a < 3,2$            | Kylmävalssattu                                                | Hionta karheudella nro 80, muovaus tai koneistus                                   | Näkyvissä olevat pinnat, joilla ei ole korkeaa pinnanlaatuvaatimusta ja jotka eivät ole kosketuksissa tuotteen kanssa                                                                                  |
| Normaali        | $0,8 \leq R_a < 1,6$            | Kylmävalssattu                                                | Hieno hionta karheudella nro 180...240                                             | Näkyvissä olevat pinnat, joilla on korkea pinnanlaatuvaatimus, jotka eivät ole kosketuksissa tuotteen kanssa sekä tuotteen kanssa kosketuksissa olevat normaalin pinnanlaatuvaatimuksen omaavat pinnat |
| Sileä           | $0,4 \leq R_a < 0,8$            | Kylmävalssattu ja viimeistelyvalssattu                        | Viimeistelyhionta karheudella nro 240...400                                        | Korkeat vaatimukset omaavat, tuotteen kanssa kosketuksissa olevat pinnat                                                                                                                               |
| Erittäin sileä  | $0,2 \leq R_a < 0,4$            | Kylmävalssattu, viimeistelyvalssattu ja kiiltoheikutettu      | Kuten edellä, ja/tai käyttäen lisäksi hioma-ainetta tai elektrolyyttinen kiillotus | Erittäin korkeat vaatimukset omaavat, tuotteen kanssa kosketuksissa olevat pinnat                                                                                                                      |

Kuva 18. Putkistojen pinnankarheus luokat (PSK standardi 6601,8)

## 7 MEKANIikka

### 7.1 Kuvaus

Mekaniikka on yksi fysiikan vanhimpia osa-alueita. Mekaniikassa tutkitaan voimia, liikkeitä ja niiden vuorovaikutuksia sekä tasapainoa. Sen osa-alueet ovat statiikka ja dynamiikka. Koska statiikka ja dynamiikka ovat mekaniikan osa-alueita niin annetaan niistä pieni kuvaus sen syvemmälle menemättä.

Dynamiikan mukaan voima antaa kappaleelle kiihtyvyyden ja mitä suurempi kappaleeseen kohdistuva voima on, sitä suurempi on kappaleen kiihtyvyys.

Statiikka on mekaniikan toinen osa-alue, jossa tutkitaan tasapainotilassa olevia kappaleita sekä niihin vaikuttavien voimien muodostavia systeemejä.

### 7.2 Laakerointi sekä voitelu

Koska mekaniikkaan kuuluu liikkeet, niin otetaan tähän kohtaan laakerit mukaan. Laakerien tarkoitus on tukea ja ohjata pyöriviä sekä kiertyviä osia. Laakeritkin jaotellaan kahteen osa-alueeseen, jotka ovat säteis-, ja aksiaalilaakerit. Säteislaakeri tulee kyseeseen silloin, kun tukivoima vaikuttaa akseliin nähden kohtisuoraan ja aksiaalilaakeri silloin, jos laakeriin kohdistetaan akselinsuuntaisia voimia.

Laakerit jaetaan rakenteiden mukaan vierintä- ja liukulaakereihin. Vierintälaakereita löytyy niin säteiselle, että radiaali- ja aksiaalikuorman yhdistelmälle. Liukulaakereissa kuormakantavina eliminä ei ole kuulat, rullat tai neulat vaan voiteluaine kalvo, joka sijaitsee akselin ja laakerin välissä. Laakeroinneissa tulee muistaa, että on se mikä tahansa laakerointitapa niin ne vaativat oikean voitelun.

Jokaiselle laakerityypille on yleensä määritelty maksimikäyttölämpötila. Laakerin optimaalisen toiminnan ja kulumisen minimoinnin edellytys on laakeroinnissa valitsevan lämpötilan hallinta. Normaalisti laakeroinnin lämmön pois vienti tapahtuu voitelun avulla. Voitelemattomissa liukulaakeroinneissa materiaalin valinta edesauttaa lämmönkestossa.

### 7.3 Laakerointitavan valinta

Suunnittelutyössä on syytä muistaa tämä, kun koneenosien tuentaa tehdään, on oikean laakerointitavan valinta ensiarvoisen tärkeää.

Tässä osiossa on tarkoitus antaa yleiskuva laakereiden valinnasta ja siitä mitä tulee ottaa huomioon valintoja tehdessä sekä annetaan kuva siitä, miltä laakerit näyttävät.

Laakeroinnin valintaan vaikuttavia parametreja ovat:

- Kuormitustilanne.
- Tilantarve.
- Lämpötila.
- Voitelu / Voitelun järjestäminen.
- Rakenteen värähtelyt.
- Ympäristöolosuhteet.
- Säteily.
- Tarkkuusvaatimukset.
- Huolto.
- Melunäkökohdat.
- Kustannukset.

Yleensä laakerit jaetaan viiteen eri tyyppiin:

- Voitelemattomina toimivat laakerit:
  - liukulaakeriratkaisu, jossa laakerinmateriaali on tavallisimmin kestopuovi, kuten polyamidi, teflon tai grafiitti.
- Itsevoitelevat laakerit:
  - Voiteluaineella kyllästettyjä huokoisia metalliliukulaakereita. Metallimatriisi on tavallisesti sintrattuja rauta, - tai pronssijauhetta.
- Vierintälaakerit:
  - vierintäeliminä kuulat, rullat ja kartiot tai tynnyrimäiset sylinterit.
- Hydrodynaamiset laakerit:
  - Liukulaakeri ratkaisu, jossa voiteluaine syötetään laakeriin ja kuormankantava paine aikaansaadaan laakerin liikkeen vaikutuksesta. Voiteluaineena voidaan käyttää myös kaasua.
- Hydrostaattiset laakerit:

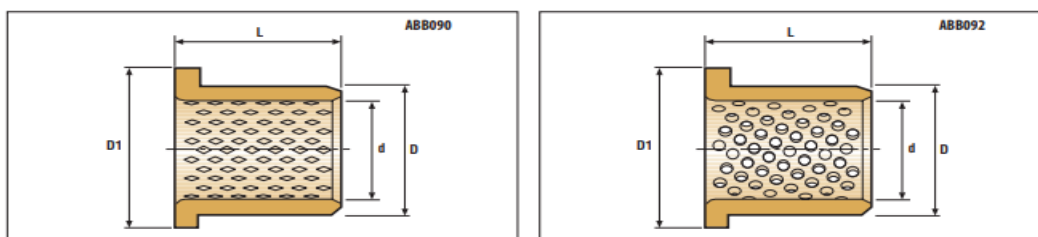
- liukupinnat pidetään yleensä erillään voiteluaine kalvolla, joka syötetään laakeriin ulkopuolisen ylipaineen avulla. Pyörimisliikettä ei tarvita voitelun ylläpitämiseksi.

Kuvassa 19 esitetään suora liukulaakeri malli.



Kuva 19. Suora liukulaakeri (SKS-Mekaniikka 2018, 14)

Kuvassa 20 näytetään laipallinen liukulaakeri.



Kuva 20. Laipalla oleva liukulaakeri (SKS-Mekaniikka 2018, 15)

Kuvassa 21. näytetään huoltovapaa grafiittipronssilaakeri.



Kuva 21. grafiittipronssilaakeri (SKS-Mekaniikka 2018, 22)

Kuvassa 22 näytetään laipallinen sintrattu pronssilaakeri, itsevoiteleva.



Kuva 22. Laipallinen sintrattu pronssilaakeri, itsevoiteleva (Tampereen laakerikeskus 2018)

Kuvassa 23 esitetään vierintälaakerin perustyyppi ja annetaan kuvaus.



Kuva 23. Vierintälaakeri tyypit sekä rakenteet (SKF-laakerien kunnossapito 2016, 16)

Kuvassa 24 näytetään aksiaalinen ja säteishydrodynaaminen laakeri

**aksiaalilaakeri**

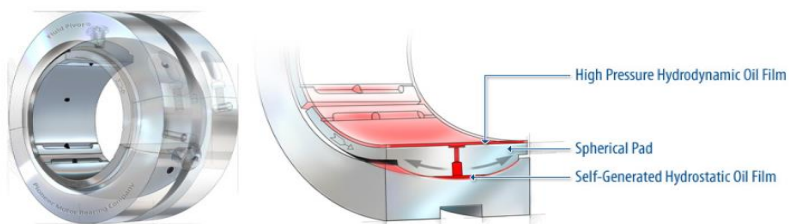


**säteislaakeri**



Kuva 24. Hydrodynaaminen laakeri (Aalto-yliopisto 2018)

Kuvassa 25 näytetään hydrostaattinen laakeri.



Kuva 25. Hydrostaattinen laakeri (Engineering 360 2018)

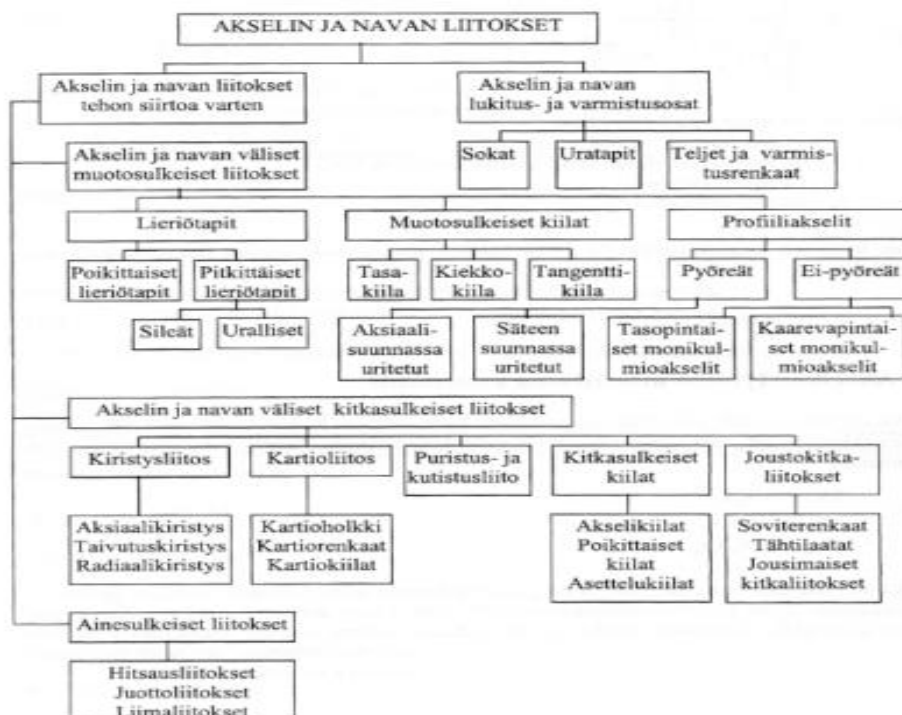
Laakereita koskettavat standardit ovat:

- ISO 12167-1:2016 applies to hydrostatic plain journal bearings under steady-state conditions.
- ISO 4379:2018 Plain bearings - Copper alloy bushes.
- ISO 3096:2018 Rolling bearings -- Needle rollers -- Boundary dimensions, geometrical product specifications (GPS) and tolerance values.
- ISO 7063:2018 Rolling bearings -- Needle roller bearing track rollers -- Boundary dimensions, geometrical product specifications (GPS) and tolerance values.
- ISO 1206:2018 Rolling bearings -- Needle roller bearings with machined rings -- Boundary dimensions, geometrical product specifications (GPS) and tolerance values.
- ISO 20515:2012 Rolling bearings -- Radial bearings, retaining slots -- Dimensions and tolerances.
- ISO 12297:2012 Rolling bearings -- Steel cylindrical rollers -- Dimensions and tolerances.
- ISO 15:2017 Rolling bearings -- Radial bearings -- Boundary dimensions, general plan.
- ISO 281:2007 Rolling bearings -- Dynamic load ratings and rating life
- ISO 12167-1:2016 Plain bearings -- Hydrostatic plain journal bearings with drainage grooves under steady-state conditions - Part 1.
- ISO 12130-2:2013.
- Plain bearings -- Hydrodynamic plain tilting pad thrust bearings under steady-state conditions - Part 2.

#### 7.4 Napaliitokset ja akselinpäät

Koneenrakentamisessa usein tulee vastaan laitteen akselin, pyörän tai muun vastaavan liittäminen. Liitokset ovat koneen luotettavuuden sekä turvallisuuden kannalta erittäin tärkeitä asioita. Tämän vuoksi koneen liitosten suunnittelussa on hyvä selvittää yksityiskohteisesti eri valmistusvaiheiden sekä käyttötilanteiden vaikutuksia liitoksen luotettavuuteen.

Akselin ja navan liitosten toimintona on tehon,- ja vääntömomentin siirto. Sivutoimintona on päätoiminnon varmistus. Näiden toimintojen jaottelu esitetään kuvassa 26.



Kuva 26. Akselin ja navan jaottelut (Koneenosiensuunnittelu 1997, 374)

## 7.5 Puristus,- ja kutistusliitokset sekä tasakiilaliitokset

Kitkaliitokset ovat tyypiltään puristus,- ja kutistusliitoksia. Yleensä niitä käytetään akselin ja navan välisissä liitoksissa. Etuna tässä on kestävyys vaihtokuormituksen alaisissa liitoksissa lovivaikutuksen takia sekä toisena etuna hyvä keskittäminen.

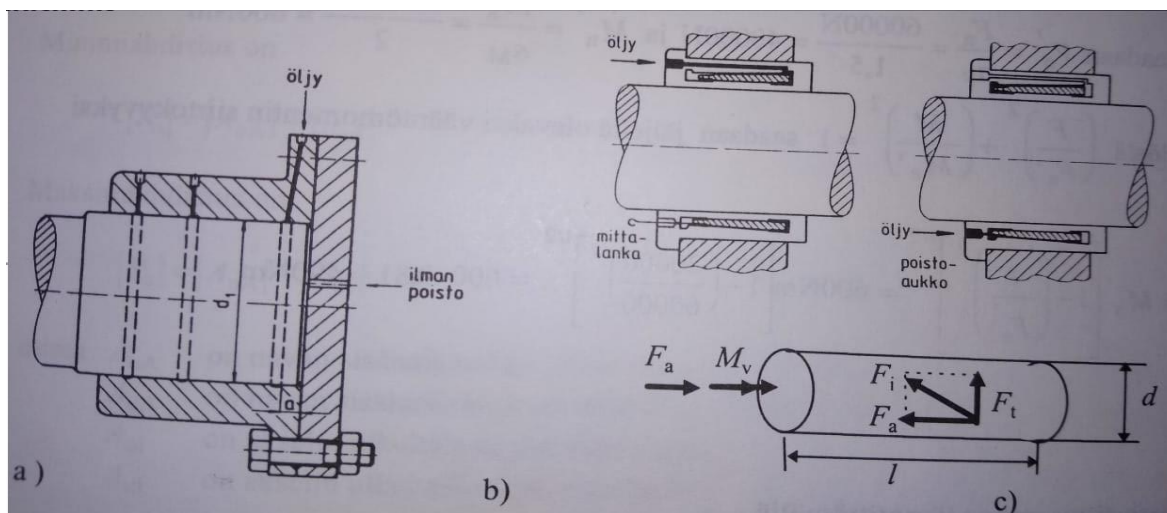
Puristus,- ja kutistusliitoksen haittapuoli on, että liitoksen toteutuminen vaatii paljon tarkkuutta pienten ahdistusten ja toleranssien takia.

Puristus,- ja kutistusliitokselle yleisohje on H7/u6, silloin kun napa on terästä.

Seuraavat keinot kutistus ja puristusliitoksien purkamiseen tai aikaansaamiseen:

- Navan lämmittäminen.
- Akselin jäädyttämien.
- Akseli ja navan erottaminen paineöljyllä.
- Akselin,- ja navan liitoksen muodostaminen tai purkaminen palkeella.

Kuvassa 27 näytetään kutistusliitos a) akselin ja navan irrottaminen paineöljyllä b) liitoksen muodostaminen ja irrottaminen paineöljyllä palkeeseen c) vk-malli, jota kuormittaa vääntömomentti ja aksiaalivoima.

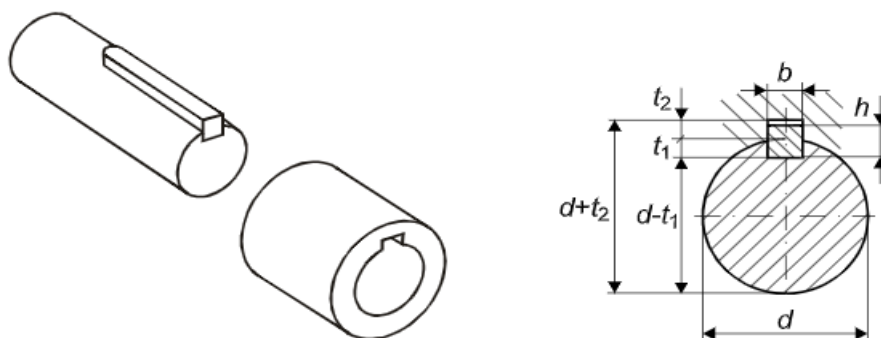


Kuva 27. Kutistusliitoksen muodostaminen ja irrottaminen (Koneenosiensuunnittelu 1997, 401)

Tasakiilaliitos on yleisin kiilaliitos, jossa kiila on kiinni akselin kiilaurassa. Akselin kiilaurassa kiila on puristussovitteella kiinni, jottei tämä pääse siinä liukumaan. Mikäli näin tapahtuisi, että kiila liikkumaan pääsisi hyvin todennäköisesti kiila sekä ura hajoaisi. Napaosassa on yleensä myös puristusliitos, mikäli liitoskohtaa ei ole tarkoitettu akselin suunnassa liikuteltavaksi.

Tasakiilaliitoksessa tarkoituksena on, että momentin siirto tapahtuu kiilassa olevien sivupintojen välityksellä pintapaineen avulla. Vaikuttavia suureita momentinsiirrossa on pintapaine kiilassa, navassa ja akselissa mutta myös leikkausjännitys kiilassa.

Kuvassa 28 havainnollistetaan tasakiilaliitos.



Kuva 28. Tasakiilaliitos (Kivioja 2011, 29)

Taulukossa 1 näytetään kiilojen pituuksia, jotka ovat standardi mittoja.

|                          |           |      |     |      |     |           |     |     |     |      |     |     |     |     |     |     |           |      |      |      |  |
|--------------------------|-----------|------|-----|------|-----|-----------|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----------|------|------|------|--|
| Leveys $b$ (tol. $h_9$ ) | 2         | 3    | 4   | 5    | 6   | 8         | 10  | 12  | 14  | 16   | 18  | 20  | 22  | 25  | 28  | 32  | 36        | 40   | 45   | 50   |  |
| Korkeus $h$              | 2         | 3    | 4   | 5    | 6   | 7         | 8   | 8   | 9   | 10   | 11  | 12  | 14  | 14  | 16  | 18  | 20        | 22   | 25   | 28   |  |
| Akselin halk. $d >$      | 6         | 8    | 10  | 12   | 17  | 22        | 30  | 38  | 44  | 50   | 58  | 65  | 75  | 85  | 95  | 110 | 130       | 150  | 170  | 200  |  |
| $\leq$                   | 8         | 10   | 12  | 17   | 22  | 30        | 38  | 44  | 50  | 58   | 65  | 75  | 85  | 95  | 110 | 130 | 150       | 170  | 200  | 230  |  |
| Akselin ura $t_1$        | 1,2       | 1,8  | 2,5 | 3    | 3,5 | 4         | 5   | 5   | 5,5 | 6    | 7   | 7,5 | 9   | 9   | 10  | 11  | 12        | 13   | 15   | 17   |  |
| Navan ura $t_2$          | 1         | 1,4  | 1,8 | 2,3  | 2,8 | 3,3       | 3,3 | 3,3 | 3,8 | 4,3  | 4,4 | 4,9 | 5,4 | 5,4 | 6,4 | 7,4 | 8,4       | 9,4  | 10,4 | 11,4 |  |
| Urien syvyys-toleranssi  | +0,1<br>0 |      |     |      |     | +0,2<br>0 |     |     |     |      |     |     |     |     |     |     | +0,3<br>0 |      |      |      |  |
| Viiste $s$               | min       | 0,16 |     | 0,25 |     | 0,40      |     |     |     | 0,60 |     |     |     |     |     |     |           | 1,00 |      |      |  |
|                          | max       | 0,25 |     | 0,40 |     | 0,60      |     |     |     | 0,80 |     |     |     |     |     |     |           | 1,20 |      |      |  |

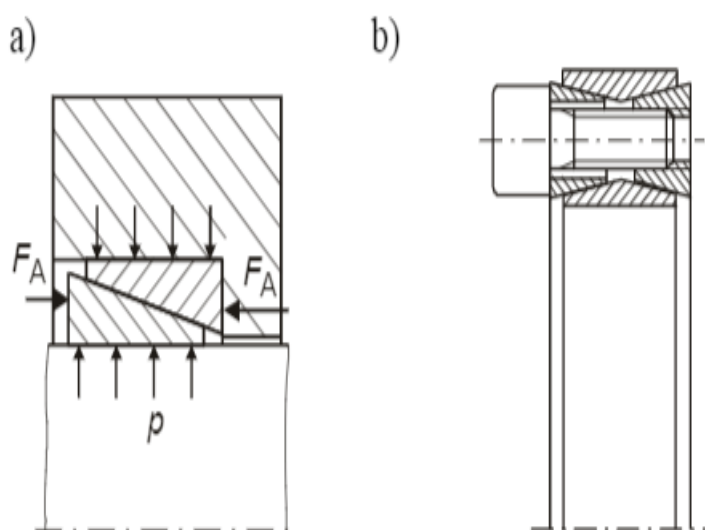
Taulukko 1. Kiilojen standardi mitat (Kivioja 2011, 29)

## 7.6 Kitkaliitokset ja akselinpäät

Kitkaliitoksen tehtävänä on aikaansaada sekä varmistaa navan ja akselin välille suuri säteen suuntainen pintapaine, jotta momentinsiirto tapahtuu kitkavoiman avulla. Oleellisesti kitkavoimien suuruuksiin vaikuttavat kitkakertoimet.

Kitkavoimat taas riippuvat ainepareista ja niiden laadusta sekä pinnakarheudesta. Kitkakertoimiin taas kuuluvat lepo,- ja liikekitkakertoimet, joista suurempi on lepokitka. Tämän takia laskennassa tulee käyttää liikekitkakeroa.

Yleisesti kitkaliitoksissa käytetään kartiorengasliitosta. Kartiorengasliitoksessa tarvitaan aksiaalisuunnassa vaikuttavat ruuvit sekä kiristävät laipat. Kartiorengasliitoksen purkamisen varmistamiseksi suositellaan pinnankarheudeksi alle  $Ra1.6$ . Kuvassa 29 näytetään kartio kiristyslementtejä.



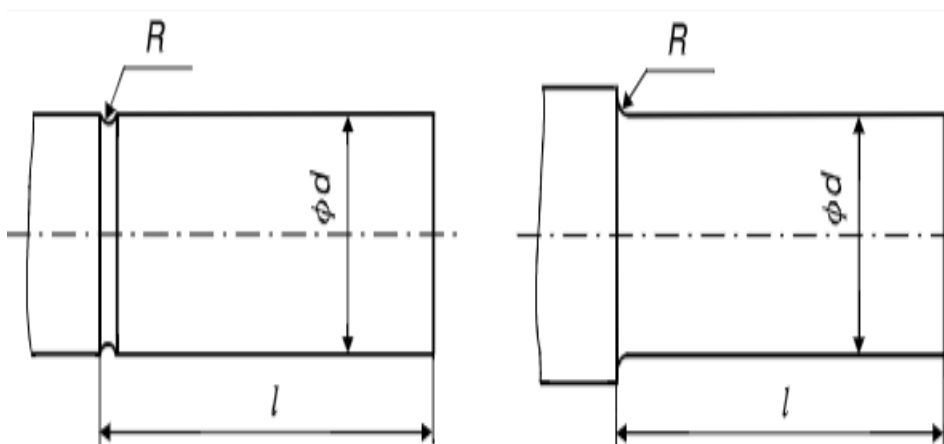
Kuva 29. Kartio kiristyslementtejä (Kivioja 2011, 30)

Taulukossa 2 kerrotaan kartiorengasliitokselle toleranssisuosituksset.

| Akselin halkaisija   | Toleranssit |      |
|----------------------|-------------|------|
|                      | Akseli      | Napa |
| $\leq 38 \text{ mm}$ | h6          | H7   |
| $> 38 \text{ mm}$    | h8          | H8   |

Taulukko 2. kartiorengasliitokselle toleranssisuosituksset (Kivioja 2011, 30)

Akselinpäät, jotka ovat lieriömäisiä, niiden mitat sekä toleranssit on määritelty standardeissa. Yleensä valmiina hankitut koneet toimiteen standardin mukaisilla akselinpäillä, mikäli toisin ei olla sovittu. Suunnittelijan on hyvä myös muistaa, että akselin olakkeiden pyöristyksistä löytyy myös standardi. Kuvassa 30 havainnollistetaan lieriömäiset akselin päät.

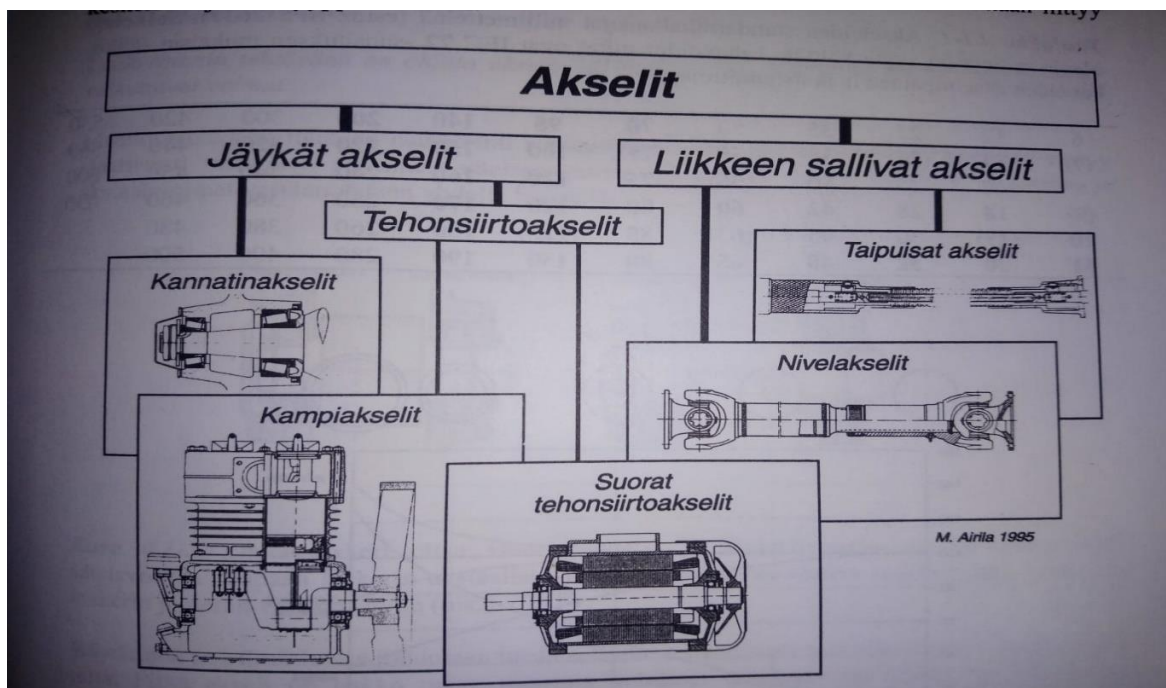


Kuva 30. Lieriömäiset kartion päät (Kivioja 2011, 3)

## 7.7 Akselit ja akselien liittäminen

Yleensä koneiden päätoiminnot pyritään toteuttamaan osilla, jotka ovat suoraan tai välillisesti liitetty pyörivään akseliin. Hyviä esimerkkejä ovat hiomakoneen laikka, polttomoottorin mäntä, junan vaunujenpyörät sekä auton nopeusmittarin neula. Näiden liike määräytyy keskeisesti jonkin tyyppisestä akselistä.

Kuvassa 31 esitetään eri akselityyppejä.



Kuva 31. Akselityypit (Airila ym. 1997, 319)

Jäykän akselin muodonmuutokset ovat selvästi pienempiä kuin liittyvien osien liike-mahdollisuudet, joten akseli pystyy ohjaamaan näiden liikettä suhteessa laakereihin. Kannatinakseli ei siirrä tehoa vaan ottaa vastaan ja siirtää laakereille ulkoisen kuormituksen, joka aiheuttaa itse akseliin pääasiassa taivutusta. Tehonsiirtoakseli on rakenteeltaan suora akseli tai kampiakseli. Liikkeen ohjauksen lisäksi se siirtää tehoa pyörimisliikkeen ja kiinnitysosien kehävoiman tuottaman vääntömomentin ansiosta. Liikkeen salliva akseli voi olla jäykistä osista koottu nivelakseli tai teräslangasta punottu suojaputkeen asennettu taipuisa akseli (Koneenosien suunnittelu 1997,319).

Koneensuunnittelijan tavallisimpiin konstruktioehtäviin kuuluu akselin laskenta ja mitoitus. Yleensä liikkeen sallivat akselit ovat valmis komponentteja, jotka suunnittelija etsii sekä valitsee.

## 7.8 Jäykän akselin suunnittelunperusteet

Yleensä akseleissa on useita halkaisijoita, jotka tarvitsevat sovitteen mm. laakereihin, akseliliitoksiin ja napaliitoksia varten. Yleensä esimerkiksi liittymäkohdissa on standardin mukainen nimellishalkaisija. Laakeroinneissa pitää muistaa se, että esimerkiksi vierintä-laakereiden kokoporrastus on standardin mukaista porrastusta harvempi.

Taulukossa 3 tullaan esittämään akseleiden standardihalkaisijoita, jotka ovat millimetreinä. Taulukossa olevia mittoja, jotka ovat sulkeissa tulee välttää.

|     |      |      |    |      |      |       |     |     |     |     |     |
|-----|------|------|----|------|------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|
| 6   | 12   | 22   | 35 | 50   | 70   | 95    | 140 | 200 | 300 | 420 | 530 |
| (7) | 14   | (24) | 38 | 55   | (71) | 100   | 150 | 220 | 320 | 440 | 560 |
| 8   | 16   | 25   | 40 | (56) | 75   | 110   | 160 | 240 | 340 | 450 | 600 |
| (9) | 18   | 28   | 42 | 60   | 80   | 120   | 170 | 250 | 360 | 460 | 630 |
| 10  | (19) | 30   | 45 | (63) | 85   | (125) | 180 | 260 | 380 | 480 |     |
| 11  | 20   | 32   | 48 | 65   | 90   | 130   | 190 | 280 | 400 | 500 |     |

Taulukko 3. Akselien standardihalkaisijoita (Airila ym. 1997, 320)

Pitää myös muistaa, että akselin halkaisijoiden valinnan voi tehdä eri tavoin. otetaan seuraavaksi muutama esimerkki tapa valinnoista:

Akselin liittyvät osat määräävät sovitehalkaisijat. Jos näin määräytyvät halkaisijat ovat niin suuret, että vaihtokuormituksessakin taivutuksen tai väännön aiheuttama nimellinen jännitysheilahdus on enintään 18Mpa, tarkkoja lujuuslaskelmia ei ole tarpeen tehdä edes hitsauksissa, napaliitoksissa tai muissa epäjatkuvuuskohdissa.

Akselin lujuus määrää sovitehalkaisijat. Akselille tehdään huolellinen lujuuslaskenta ja sovitehalkaisijat määrää niin, että varmuus väsymisen tai myötämisen suhteen on riittävä.

Akselin muodonmuutos määrää sovitehalkaisijat. Akselin vääntymä, taipuma ja päiden kaltevuuden on pysyttävä sovelluskohtaisen rajan alapuolella normaalikäytössä ja värähtelyn aikana. Lujuustarkistuksen voi tehdä jollakin pikalaskentamenetelmällä. Suunnittelussa keskitytään muodonmuutosten hallintaan. Teräksen kimmo-, ja liukukerroin ovat lujuudesta riippumattomia, joten jäykkyys on haettava muodolla (Koneenosien suunnittelu 1997, 320).

## 7.9 Akselin materiaalin valinta

Akselin valinnassa materiaalina kannattaa käyttää S355 rakenneterästä, jos mitään erityisvaatimuksia ei ole, koska materiaalina S355 on edullinen, luja, hienorakeinen, tasalaatuinen, hitsattava ja koneistettava sekä hyvänä puolena S355 materiaali on yllätyksetön. Koneteräs E295 (FE50 K), joka on kylmävedettyä, voidaan käyttää sellaisenaan vaatimattomissa akseleissa, koska E295 teräs on pinta luja sekä mittatarkka (H9). Suunnittelijan on hyvä tietää E295 teräksestä, että mikäli kyseiseen materiaaliin ollaan esimerkiksi tekevässä kiilauria, voi tämä aiheuttaa akseliin kieroutumista ja raskaassa käytössä pinnan kuorittumista.

**Nuorrutusteräokset** ovat lujia ja sitkeitä seostamattomia tai niukasti seostettuja teräksiä, joiden hiilipitoisuus on 0,25-0,6%. Akselin aihioiksi voi valita nuorrutusterätakeen tai haluttuun lujuuteen nuorrutetun pyörötangon. Nuorrutus terästen

ominaisuudet pääsevät oikeuksiinsa ura-akseleissa, kampiakseleissa, hammaspyöräakseleissa ja muissa laippa- tai uraliitoksin varustetuissa aksleissa. Napaliitoksissa esiintyvä hankauskuormitus aikaansaa akselin pintaan säröjä, jolloin lujan materiaalin tuottama hyöty menetetään.

Seostamattomat tai niukasti seostetut hiiletysteräket sisältyvät 0,1-0,25% hiiltä. Hiiletyksellä lujaan ja sitkeään akseliin saadaan kova kolhuja ja hankausta kestävä pinta. Hiiletys on työstön jälkeinen lämpökäsittely, jolla pintaan saadaan aina 2mm:n syvyyteen ulottuva runsashiilinen kerros. Hiiletyksen jälkeen akseli karkaistaan, mikä tuottaa kovan ja puristusesijännitysten vuoksi väsymiskuormitusta hyvin kestävä pinnan. Lämpökäsittelyssä akselin mitat voivat muuttua niin, että laakerinsijat ja akselin koneistetut hampaat on hiottava (Koneenosien suunnittelu 1997, 323.)

Myös erikoistarkoituksiin on mahdollista valmistaa aksleita ruostumattomasta ja haponkestävästä teräksestä mutta myös pallografiittirautoista. Taulukossa 4 on akseliterästen käyttösuosituksia sekä lujuuslaskennassa tarvittavia lukuarvoja.

| Teräksen tyyppi       | Standardi      | Lyhenne   | Käyttösuositus (Katso myös tekstiä)                                                            | Esimerkki tuotenimestä (Imatra Steel) | Ohjeellisia lujuusarvoja (MPa) akselinaihion halkaisijan mukaan |                                                |                            |                                        |                              |                      |                   |            | Suht. kilohinta $\Phi 50$ |
|-----------------------|----------------|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|----------------------------|----------------------------------------|------------------------------|----------------------|-------------------|------------|---------------------------|
|                       |                |           |                                                                                                |                                       | Murtolujuus $R_m$ (Imatra Steel)                                |                                                |                            | Vetomyötöraja $R_e$ (1) (Imatra Steel) |                              |                      | $\sigma_{TW}$ (2) |            |                           |
|                       |                |           |                                                                                                |                                       | $\Phi 15$                                                       | $\geq \Phi 40$                                 | $\geq \Phi 100$            | $\Phi 15$                              | $\geq \Phi 40$               | $\geq \Phi 100$      | $\Phi 15$         | $\Phi 50$  |                           |
| Yleinen rakenne-teräs | SFS-EN 10025   | S355J0 -  | Yleisin akseliteräs<br>Kylmävedetty (alle 55 mm) tai sorvattu (55...120 mm) kirkas akseliteräs | 520<br>550                            | 490...630<br>550...750<br>(sorvattuna 490...630)                | 490...630<br>550...750<br>(sorvatt. 490...630) | 490...630                  | 380<br>500<br>(sorvatt. 380)           | 380<br>500<br>(sorvatt. 380) | 350                  | >260<br>>260      | 100<br>125 |                           |
| Nuorutusteräs (3)     | SFS-EN 10083-1 | 25CrMo4   | 25...150 mm:n akselit                                                                          | MoC 210 M                             | -                                                               | 800...950                                      | 700...850                  | -                                      | 600                          | 450                  | 430               | 200        |                           |
|                       |                | 42CrMo4   | 25...250 mm:n akselit                                                                          | MoC 410 M                             | -                                                               | 1000...1200                                    | 900...1100                 | -                                      | 750                          | 650                  | 520               | 200        |                           |
|                       |                | 34CrNiMo6 | 100...250 mm:n akselit                                                                         | MoCN 315 M                            | -                                                               | -                                              | (900...1100)               | -                                      | -                            | (700)                | 540               | 245        |                           |
|                       |                | C45       | Taotut akselit < 70 mm                                                                         | 4 M                                   | -                                                               | 650...800                                      | 630...780                  | -                                      | 430                          | 370                  | 370               | 150        |                           |
| Hiiletysteräs (4)     | SFS 506        | 21NiCrMo2 | 25...200 mm:n akselit                                                                          | MoCN 206 M                            | ( $\Phi 11$ )<br>980...1370                                     | ( $\Phi 30$ )<br>740...1030                    | ( $\Phi 63$ )<br>640...880 | ( $\Phi 11$ )<br>640                   | ( $\Phi 30$ )<br>490         | ( $\Phi 63$ )<br>390 | 580               | 185        |                           |
|                       | SFS 510        | 20MnCr5   | 40...140 mm:n akselit                                                                          | MC 212 M                              | 1080...1370                                                     | 980...1280                                     | 780...1080                 | 740                                    | 690                          | 540                  | 600               | 175        |                           |
|                       | SFS 511        | 17CrNiMo6 | 80-150 mm:n akselit                                                                            | MoCN 216                              | 1180...1430                                                     | 1080...1330                                    | 980...1280                 | 830                                    | 780                          | 690                  | 650               | 245        |                           |

(1) Terästen taivutusmyötöraja on yleensä noin 40 % suurempi ja vääntömyötöraja noin 30 % pienempi kuin vetomyötöraja  
(2) Terästen vääntövaihtolujuus on noin 70 % taivutusvaihtolujuudesta  
(3) Nuorutusterästen  $R_m$  ja  $R_e$  on ilmoitettu tilassa 09.  
(4) Hiiletysterästen  $R_m$  ja  $R_e$  on arvioitu karkaistujen koekappaleiden lujuusarvoista.

Taulukko 4. Akseliterästen käyttösuosituksia ja lujuuslaskennassa tarvittavia lukuja (Airila ym. 1997, 323)

## 7.10 Pinnan käsittely sekä muotoilu

Yleiset akselivauriot johtuvat siitä, kun materiaali väsy. Materiaalinväsymisvauriot alkavat epäjatkuvuuskohdista tai alkusäröistä. Akselissa vääntö- tai taivutushankausvaurioita saattaa esiintyä, jos pintojen välinen kosketuspaine ylittää 20MPa ja jos vääntö- tai taivutustmomentti aiheuttaa pintojen välille 10um suuruisen mikroliikkeen. Hankausvauriot esiintyvät yleensä esimerkiksi vierintälaakerin sisärenkaan alla olevassa akselin osassa tai napaliitoksen kosketuspinnissa. Hankaus saattaa aiheuttaa akselin pintaan

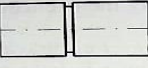
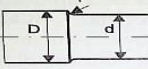
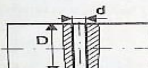
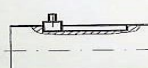
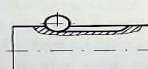
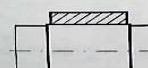
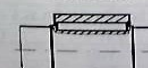
väsymismurtuman alkusäröjä sekä pahimmillaan vaurioittaa pinnan käyttökelvottomaksi. Taulukossa 5 näytetään napanliitoksien sovitepintojen pinnankarheuden ohjearvoja.

| HALKAISIJA-ALUE<br>mm | TOLERANSSIASTE |      |      |      |      |
|-----------------------|----------------|------|------|------|------|
|                       | IT 5           | IT 6 | IT 7 | IT 8 | IT 9 |
| 10...50               | 0,8            | 0,8  | 1,6  | 1,6  | 3,2  |
| 50...180              | 0,8            | 1,6  | 1,6  | 3,2  | 3,2  |
| 180...400             | 1,6            | 1,6  | 3,2  | 3,2  | 6,3  |
| 400...800             | -              | 3,2  | 3,2  | 6,3  | 6,3  |

Taulukko 5. napanliitoksien sovitepintojen pinnankarheuden ohjearvoja (Airila ym.1997, 323.)

*Toiminnallisista syistä akseliin koneistetaan olakkeita, kiilauria, pidätinrenkaan uria ja porauksia tai hitsataan laippoja, jotka epäjatkuvuuskohtina voivat aiheuttaa nimellijännitykseen nähden 2-3 kertaisia paikallisia jännityskeskittymiä. Epäjatkuvuuskohtien muotoilu ja sijoittaminen vaarattomiin kohtiin ovat tehokkaita tapoja pitää suurimmat jännitysheilahdukset siedettävänä. Vaihtoehtoisten konstruktioiden lujuusopillista vertailua käsikirjojen lovenmuotolukukäyrästäojen avulla (Koneenosien suunnittelu 323).*

Taulukossa 6 näytetään ohjeellisia lovenvaikutuslukuja.

| Loven laatu                        | Loven muoto                                                                         | Lovenvaikutusluku $K_f$                            |                                                     |
|------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
|                                    |                                                                                     | $K_{ft}$ (taivutukselle)                           | $K_{fv}$ (väännölle)                                |
| Pyöristetty rengasura              |  | 1,5...2                                            | 1,3...1,8                                           |
| Pidätinrenkaan ura                 |  | 2,5...3,5                                          | 2,5...3,5                                           |
| Pyöristetty olake                  |  | $\approx 1,5$<br>kun $r/d = 0,1$<br>ja $d/D = 0,7$ | $\approx 1,25$<br>kun $r/d = 0,1$<br>ja $d/D = 0,7$ |
| Poikittaisporaus                   |  | 1,4...1,8<br>kun $d/D = 0,14$                      | 1,4...1,8<br>kun $d/D = 0,14$                       |
| Tappijyrsimellä tehty kiilanura *  |  | 2,6...3                                            | $\approx 2,3$                                       |
| Lieriöjyrsimellä tehty kiilanura * |  | 2...2,5                                            | 2...2,5                                             |
| Navan kutistusliitos               |  | 1,7...1,9                                          | 1,3...1,4                                           |
| Navan kiilaliitos                  |  | 2...2,4                                            | 1,5...1,6                                           |

Taulukko 6. Lovenvaikutuslukuja (Airila ym. 1997, 325)

*Taivutus ja vääntömomentin aiheuttama jännitys on suurimmillaan akselin pinnassa, jolla siten on ratkaiseva merkitys väsymislujuuden kannalta. Pinnan säröjä voi vähentää hiomalla huolellisesti kriittiset kohdat kuten olakkeiden pyöristykset ja po-rausten reunat ja pintakäsittelemällä akseli hankausta kestäväksi (hiiletys, kuulapuhallus, rullaus). Särönkasvua voi estää aiheuttamalla pintaan puristusjännityksen, jolloin käytönaikainen vetojännitys jää pienemmäksi. Pintaan syntyy edullinen puristusjännitys pintakarkaisulla, hiiletyskarkaisulla, nitrauksella, kuulapuhalluksella ja rullauksella. Ohuilla akseleilla nitrauksen on todettu lisäävän väsymislujuutta parhaimmillaan 2-3 kertaiseksi. Kustannussyistä hionnan ja pintakäsittelyn voi rajata lujuuden kannalta tärkeimpiin kohtiin (Airila ym. 1997, 325).*

Suunnittelijan on hyvä muistaa, että akseleissa osien hitsaamista olisi syytä välttää, koska hitsaamisen takia väsymislujuus laskee. Hitsausliitoksissa väsymisraja tavallisilla teräksillä on vain 30-90Mpa eikä lujemman materiaalin käyttö juurikaan auta. On myös syytä muistaa/tietää, että korroosion vaikutus erikoislujaan teräkseen on huomattava, koska korroosion vaikutus laskee erikoislujan teräksen lujuuden lähes tavallisen teräksen tasolle. Tavallisesti väsymisraja taivutustilanteessa on 70-150Mpa veden aggressiivisuuden mukaan. Mikäli puristusjännitys halutaan akselin pintaan, ajoittainen hionta sekä pinnoitus voivat jonkin verran auttaa silloin, jos pinta on syöpynyt. Myös ruostumatonta terästä käytetään toisinaan akseleissa.

## 7.11 Akselien värähtely ja vääntövärähtelyt

Akselissa, joka on tehon siirrossa voi esiintyä vääntövärähtelyä sekä kieppumista. Tämä ei välttämättä ole värähtelyilmiö. Pitää muistaa, että taivutusvärähtely on harvinainen ilmiö pyörivien akseleiden käytössä.

Akseli liityntäosineen, joihin kuuluvat mm. vauhtipyörä, hihnapyörä ja hammaspyörä on vääntövärähtelysystemi. Usein kyseisen järjestelmän voi pelkistää joustavaksi akseliksi sekä kahdeksi kiekoksi, jolloin muodostuu kaksimassainen vääntövärähtelysystemi.

Akseleihin liittyviä standardeja:

- SFS-ISO 8821 Mekaaninen värähtely. Tasapainotus. Akselin ja sovitusosan kiilaliitos.
- SFS 2631 Lieriömäiset akselinpäät. Pitkät ja lyhyet halkaisijoille 6-630 mm.
- SFS 2633 Kartiomaiset akselinpäät. Pitkät ja lyhyet halkaisijoille 6-630 mm. Ulkopuolinen metrinen kierre.

- SFS 2634 Kartiomaiset akselinpääät. Pitkät ja lyhyet halkaisijoille 6...220 mm. Sisäpuolinen metrinen kierre.
- SFS 5133 Akselin olakkeiden pyöritykset.
- SFS-ISO 8821 Mekaaninen värähtely. Tasapainotus. Akselin ja sovitussosan kiilaliitos.
- SFS-ISO 9608 Kiilahihnat. Hihnoiden samanmittaisuus. Akselivälipoikkeaman määrittäminen.

## 8 YHTEENVETO

Työssä esiteltiin suunnittelutyössä tarvittavia tietoja, merkintöjä sekä standardeja. Työn tarkoituksena oli luoda koodilistaus tyylinen opas tarvittaviin standardeihin sekä antaa niiden sisällöstä pieni kuvaus. Opinnäytetyöhön on pyritty etsimään uusimmat standardit mutta standardien käytössä kannattaa aina tarkistaa, on tarvittava standardi vielä voimassa.

Opinnäytetyön vaikein osuus oli päästä käsiksi itse standardeihin, koska eri standardeja käsitteleviä kirjoja ja julkaisuja ei ole helposti saatavilla. Standardien käytössä tulee huomioda se, että standardien käyttö on vapaaehtoista, ei pakollista.

Työn aihe on todella laaja, jonka takia olen pyrkinyt lähtemään liikkeelle perusasioista sekä pyrkinyt huomioimaan sen mitä esimerkiksi aloittelevalle suunnittelijalle tulee vastaan erittäin nopeasti. Aiheen laajuuden vuoksi kuvaukset on pyritty antamaan lyhyesti ja valitettavasti jouduin karsimaan osa-alueita pois.

## LÄHTEET

Aalto-yliopisto.2018 Laakeroinnit [6.12.2018]. Saatavissa:

[https://mycourses.aalto.fi/pluginfile.php/614411/mod\\_resource/content/1/vierintalaakerointi\\_8\\_1213.pdf](https://mycourses.aalto.fi/pluginfile.php/614411/mod_resource/content/1/vierintalaakerointi_8_1213.pdf)

Airila ym.1997. Uudistunut 2009, koneenosien suunnittelu uudistettu. WSOY: Helsinki.

Aimo Pere, 2016. Koneenpiirustus [6.12.208]. Espoo: Kirpe Oy.

Engineering 360. 2018 Hydrostatic and Hydrodynamic Bearings Information.

Saatavissa:[https://www.globalspec.com/learnmore/mechanical\\_components/bearings\\_bushings/hydrostatic\\_hydrodynamic\\_bearings](https://www.globalspec.com/learnmore/mechanical_components/bearings_bushings/hydrostatic_hydrodynamic_bearings)

Kurssimateriaalit tekninen piirustus 2018, 7. Saatavissa: <https://reppu.lamk.fi/mod/folder/view.php?id=631235>

METSTA ry 2009. Teknillisen piirustuksen standardit [3.12.2018]. Saatavissa: <http://www.metsta.fi>

PSK Standardisointi yhdistys 2018. Saatavissa: <http://psk-standardisointi.fi/standardit/>

PSK 6601 standardi 2016. Viittaaminen sähköisiin dokumentteihin tai niiden lisäosiin. PSK 6001 1992. Teollisuuskoneiden ja laitteiden elintarvikelaatu.

SKSGROUP 2018. Laakerimetallit ja liukulaakerit. Saatavissa:

[https://www.sks.fi/www/sivut/571243DD88E902E9C2257B6A00236FD7/\\$FILE/Laakerimetallit%20ja%20liukulaakerit%201219855.pdf](https://www.sks.fi/www/sivut/571243DD88E902E9C2257B6A00236FD7/$FILE/Laakerimetallit%20ja%20liukulaakerit%201219855.pdf)

Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. Rapinoja 2015. Hitsausmerkkistandardi ISO 2553 on uudistunut. Saatavissa: [https://www.sfs.fi/files/7678/Juttu\\_hitsausmerkinnoista\\_3-2015.pdf](https://www.sfs.fi/files/7678/Juttu_hitsausmerkinnoista_3-2015.pdf)

SFS Kauppa 2018. Standardit. Saatavissa: <https://sales.sfs.fi/fi/index.html.stx>

SKF teollisuusyritys 2016. Laakerien kunnossapito. Saatavissa: [http://www.skf.com/binary/123-290853/SKF-laakerien-kunnossapito---SKF-bearing-maintenance-handbook---10001\\_1-FI.pdf](http://www.skf.com/binary/123-290853/SKF-laakerien-kunnossapito---SKF-bearing-maintenance-handbook---10001_1-FI.pdf)

Tampereen laakerikeskus 2018. Tuotteet. Saatavissa: <http://www.tampereenlaakerikeskus.com/tuotteet.html?id=43590/1444>