



Satakunnan ammattikorkeakoulu  
Satakunta University of Applied Sciences

JONI-PEKKA PIHL

# **Putkistosuunnittelu Harjavallan Suurteollisuuspuistossa**

KONETEKNIIKAN TUTKINTO-OHJELMA  
2021

|   |                                     |                             |
|---|-------------------------------------|-----------------------------|
| Tekijä(t)<br>Pihl, Joni-Pekka   | Julkaisun laji<br>Opinnäytetyö, AMK | Päivämäärä<br>Helmikuu 2021 |
|   | Sivumäärä<br>62                     | Julkaisun kieli<br>suomi    |
| Julkaisun nimi<br><b>Putkistosuunnittelu Harjavallan Suurteollisuuspuistossa</b>  |                                     |                             |
| Tutkinto-ohjelma<br>Konetekniikka   |                                     |                             |
| Tiivistelmä<br><br><p>Opinnäytetyön aiheena oli laatia putkistosuunnitteluohje Harjavallan Suurteollisuuspuiston alueelle, Metso Outotec Finland Oy:n Harjavallan yksikön käyttöön. Ohjeistuksen tavoitteena oli suunnittelijoiden työtapojen yhtenäistäminen putkistosuunnittelun laadun varmistamiseksi. Ohjeen on myös tarkoitus täydentää yksikön uusille työntekijöille suunnattua perehdytysmateriaalia.</p> <p>Opinnäytetyössä esiteltiin Suurteollisuuspuistossa suunnittelutoiminnan laadun varmistamiseen käytettäviä menetelmiä sekä putkistosuunnittelua ohjaavien standardien, lakien ja Painelaitedirektiivin vaatimuksia. Suunnittelijan tehtäväalue on Suurteollisuuspuistossa erittäin laaja ja putkistosuunnittelu on vain osa sitä, joten työssä keskityttiin yksityiskohtaisten ohjeiden sijaan putkistosuunnitteluprosessin vaiheiden tarkasteluun.</p> <p>Työssä käytiin läpi suunnittelun toiminnanohjauksen kannalta tärkeitä menetelmiä sekä painotettiin viestinnän ja yhteistyön merkitystä laadukkaana lopputuloksen saavuttamiseksi. Ohjeessa keskityttiin suunnitteluprojektin vaiheisiin nimenomaan putkistosuunnittelijan näkökulmasta. Ohjeessa esiteltiin putkiston osia ja niiden sijoittelun perusideoita, kannakoinnin perusteita, 3D-mallin vaatimuksia sekä kunnossapidon ja asennuksen huomioimista suunnittelua tehdessä. Lisäksi käsiteltiin putkistosuunnitteluun liittyviä dokumentteja.</p> <p>Lopputuloksena saatiin laajasta aihealueesta laadittua tiivis tietopaketti putkistosuunnittelun perusajatuksista. Työssä viitattiin standardeihin ja muihin määräyksiin, jotta ohjetta käyttävä pystyy tarvittaessa etsimään tarkempia tietoja.</p> |                                     |                             |
| <a href="#">Asiasanat</a><br>putkistot, suunnittelu, toiminnanohjaus, teollisuus  |                                     |                             |

|  |  |                                     |
|--|--|-------------------------------------|
| Author(s)<br>Pihl, Joni-Pekka  | Type of Publication<br>Bachelor's thesis | Date<br>February 2021               |
|  | Number of pages<br>62                    | Language of publication:<br>finnish |
| Title of publication<br><b>Piping Design in Suurteollisuuspuisto Industrial Park Harjavalta</b>  |  |                                     |
| Degree program<br>Mechanical Engineering   |  |                                     |
| <p>Abstract</p> <p>The subject of the thesis was to prepare piping design guide for the area of Suurteollisuuspuisto Industrial Park in Harjavalta, for the use of Metso Outotec Finland Oy's Harjavalta unit. The aim of the guide was to harmonize the working methods of designers in order to ensure the quality of the piping design. The guide is also intended to supplement the unit's orientation material for new employees.</p> <p>The methods used to ensure the quality of design activities in the Suurteollisuuspuisto Industrial Park, as well as the standards, laws and requirements of the Pressure Equipment Directive that guide piping design was presented in the thesis. The scope of work of a designer is very wide in Suurteollisuuspuisto Industrial Park and piping design is only part of it, so the work focused on examining the stages of the piping design process instead of detailed instructions.</p> <p>Important methods of operating control for designing were reviewed and the importance of communication and cooperation to achieve a high-quality result was emphasized in the work. The guide focused on the phases of the design project from the perspective of the piping designer. The instructions presented the piping components and the basic ideas for their placement, the basics of support, the requirements of the 3D model, and the consideration of maintenance and installation while making the designs. In addition, documents related to piping design were also introduced.</p> <p>The result was a concise information package on the basic ideas of piping design from a wide range of topics. The work referred to standards and other regulations so that the user of the guide could search for more detailed information if necessary.</p> |  |                                     |
| <p><u>Key words</u><br/>         pipings, planning and design, planning of operations, industry</p>  |  |                                     |

# SISÄLLYS

|   |    |
|---|----|
| 1 JOHDANTO .....  | 7  |
| 2 ESITTELYT.....  | 8  |
| 2.1 Metso Outotec Finland Oy, Harjavallan yksikkö.....                  | 8  |
| 2.2 Harjavallan Suurteollisuuspuisto .....                              | 8  |
| 3 LAATU .....   | 9  |
| 3.1 Käsite.....   | 9  |
| 3.2 Laadunhallintajärjestelmä .....                                     | 9  |
| 3.3 Laadun varmistus .....  | 10 |
| 3.3.1 Toiminnan laatu .....   | 10 |
| 3.3.2 Toiminnanohjaus ja sen laadun varmistus .....                     | 11 |
| 3.3.3 Suunnittelukatselmukset .....                                     | 13 |
| 3.3.4 Kenttämittaukset .....  | 15 |
| 3.4 Standardit ja direktiivit.....                                      | 15 |
| 3.4.1 Perusteita Painelaitedirektiivin vaikutuksesta suunnitteluun..... | 16 |
| 4 3D-MALLINNUS .....  | 19 |
| 4.1 Yleistä .....   | 19 |
| 4.2 3D-mallin laatiminen .....  | 19 |
| 4.3 Komponenttikirjasto ja putkiluokkien määrittely .....               | 20 |
| 5 PUTKILUOKAT .....   | 22 |
| 5.1 Yleistä .....   | 22 |
| 5.2 STP-alueen yleisimmät putkiluokat .....                             | 24 |
| 6 KANNAKOINTI.....  | 27 |
| 6.1 Yleistä .....   | 27 |
| 6.2 Kannahevälit .....  | 27 |
| 6.3 Kannaesityypit .....  | 30 |
| 6.3.1 Primäärikannaesityyppejä .....                                    | 30 |
| 6.3.2 Sekundäärikannaesityypit.....                                     | 32 |
| 6.4 Huomioitavat kuormat .....  | 33 |
| 7 VIRTAUSTEKNINEN MITOITUS .....  | 34 |
| 7.1 Yleistä .....   | 34 |
| 7.2 Virtausnopeus.....  | 34 |
| 7.3 Virtaustyyppit ja painehäviö .....                                  | 35 |
| 7.4 Pumput .....  | 37 |
| 7.5 Paineiskut .....  | 39 |
| 8 LÄMPÖTILAEROJEN VAIKUTUKSET .....                                     | 40 |

|  |    |
|--|----|
| 8.1 Yleistä .....  | 40 |
| 9 PUTKISTOSUUNNITTELUN DOKUMENTIT .....                  | 43 |
| 9.1 PI-kaavio .....                                      | 43 |
| 9.2 Piirustukset.....                                    | 43 |
| 9.2.1 Isometrinen piirustus .....                        | 43 |
| 9.2.2 Putkireittipiirustus.....                          | 45 |
| 9.2.3 Taso- ja leikkauspiirustus .....                   | 45 |
| 9.2.4 Muita piirustuksia ja dokumentteja .....           | 45 |
| 10 SUUNNITTELUN VAIHEET .....                            | 47 |
| 10.1 Lähtötiedot .....                                   | 47 |
| 10.2 Suunnittelun aloitus.....                           | 48 |
| 10.2.1 Alkusuunnittelukatselmus (Aloituspalaveri): ..... | 48 |
| 10.2.2 Suunnittelun kehykset.....                        | 49 |
| 10.3 Putkistosuunnittelun eteneminen .....               | 49 |
| 10.3.1 Alustava putkireittisuunnitelma.....              | 49 |
| 10.3.2 Putkiston 3D-mallinnuksen aloittaminen .....      | 50 |
| 10.3.3 Putkiston lopullinen reititys.....                | 51 |
| 10.3.4 Putkistovarusteet ja niiden sijoitus .....        | 52 |
| 10.3.5 Laipat .....                                      | 53 |
| 10.3.6 Tiivisteen valinta .....                          | 54 |
| 10.3.7 Kannakesuunnittelu .....                          | 54 |
| 10.3.8 Välisuunnittelukatselmus.....                     | 55 |
| 11 ASENNUSVAIHEEN JA KUNNOSSAPIDON HUOMIOINTI.....       | 57 |
| 11.1 Yleistä .....                                       | 57 |
| 11.2 Asennukseen vaadittavat dokumentit.....             | 57 |
| 12 TUOTANTOVAIHEESEEN SIIRTYMINEN .....                  | 59 |
| 12.1 Suunnitelmien varmistaminen.....                    | 59 |
| 12.2 Piirustusten tuottaminen.....                       | 59 |
| 12.3 Loppusuunnittelukatselmus.....                      | 60 |
| 12.4 Asennustöiden jälkeiset toimenpiteet.....           | 60 |
| 13 YHTEENVETO .....                                      | 61 |
| LÄHTEET  |    |

## SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

|           |                                    |
|-----------|------------------------------------|
| PI-kaavio | Putki- ja instrumentointikaavio    |
| LM        | Lujitemuovi                        |
| KM        | Kestomuovi                         |
| PED       | Painelaitedirektiivi               |
| STP       | Suurteollisuuspuisto               |
| BoHa      | Boliden Harjavalta                 |
| NNH       | Norilsk Nickel Harjavalta          |
| Tukes     | Turvallisuus- ja kemikaalivirasto  |
| FEM       | Tietokoneavusteinen lujuuslaskenta |
| NDT       | Hitsien rikkomaton aineenkoetus    |

## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tarkoituksena on tuottaa Harjavallan Suurteollisuuspuiston alueelle putkistosuunnittelua tekeville suunnittelijoille yhtenäinen perusohjeistus putkistosuunnitteluun. Ohjeen pyrkimyksenä on tuotettavien putkistosuunnitelmien laadun taasaaminen ja suunnittelutyön etenemiskäytäntöjen yhtenäistäminen. Osa opinnäytetyöstä tullaan julkaisemaan yhteiseen tietokantaan, jotta kaikki mahdollinen tieto olisi kaikkien saatavilla. Ohjetta tullaan käyttämään apuna yksikön uusien työntekijöiden perehdyttämisessä.

Koska jokaisella on omat ajattelutapansa ja jokainen projekti on erilainen, on mahdoton tehdä täysin ehdotonta suunnitteluohjetta. Tämän takia työssä pyritäänkin antamaan suuntaa oikeille materiaali-, kannakointi- ja osavalinnoille sekä ohjaamaan suunnittelutoimintaa yhtenäisten mallien mukaiseksi. Työssä ei oteta kantaa suunnitteluohjelmiin tai -laitteistoihin, eikä syvennyttä putkiston jännitysanalyysiin, korroosioon ja kaasukanavien suunnittelukäytäntöihin.

Suurteollisuuspuistossa suunnittelijan työnkuvaan putkistosuunnittelussa kuuluu layout-suunnittelu, putkistosuunnittelu ja kannakesuunnittelu. Suunnittelija on mukana putkikokojen ja -materiaalien sekä käytettävien venttiilien ja muiden varusteiden valinnassa. Myös PI-kaavioiden luominen ja muokkaaminen ovat osa suunnittelijan toimenkuvaa. Näin ollen suunnittelijan on tunnettava valtava määrä eri suunnittelu-sääntöjä ja vaatimuksia saavuttaakseen laadukkaan lopputuloksen. Aiheen ollessa erittäin laaja, on tämä työ rajattu alueen putkistosuunnittelutyön perusajatuksiin. Työ tulee toimimaan pohjana jatkossa kehitettävälle laajemmalle putkistosuunnitteluohjeelle sekä olemaan osa yksikön toiminnanohjausjärjestelmää.

## 2 ESITTELYT

### 2.1 Metso Outotec Finland Oy, Harjavallan yksikkö

Metso Outotec Finland Oy:n Harjavallan yksikkö toimii Harjavallan Suurteollisuuspuistossa. Se on asiakaskeskeinen yksikkö tarjoten palveluja alueella toimiville Boliden Harjavallalle ja Norilsk Nickel Harjavallalle. Yksikön tarjoamia palveluita ovat pohjapiirustus-, putkisto-, teräsrakenne-, laite-, ja rakennussuunnittelun lisäksi asennusvalvonta ja työnjohto sekä dokumentointi. Muita yksikön tarjoamia palveluita ovat projektinhoito ja tehtaan laajennusten esisuunnittelu sekä projektien kustannusarviot ja tarvittavien lupien hankinta. (Metso Outotec:n intranet 2021.) Yksikössä työskentelee noin 30 henkilöä (Suurteollisuuspuiston www-sivut 2021).

### 2.2 Harjavallan Suurteollisuuspuisto

Suurteollisuuspuisto on Harjavallassa Kokemäenjoen läheisyydessä sijaitseva laaja tehdasalue. Prosessienergian, metallurgian ja kemianteollisuuden hyötykäyttö ovat alueella toimivien yritysten toimialoja. Yritykset työllistävät yli tuhat henkilöä. Yli sadan alihankkijayrityksen kautta alueella työskentelee myös näiden henkilöstöä. (Suurteollisuuspuiston www-sivut 2021.)



## 3 LAATU

### 3.1 Käsite

Yleinen käsitys laadusta on yrityksen kannalta mahdollisimman kustannustehokkaalla tavalla tuotettu asiakkaan tarpeiden tyydyttäminen. Jatkuvan suoritustason parantamisen tarve on tärkeä osa-alue laadussa. Riippuen tarkastelunäkökulmista käsitteellä laatu on lukuisia erilaisia tulkintoja. Uudet innovaatiot, yhteiskunnan ja markkinoiden muutokset ja kilpailijoiden toiminnan muutos asettavat jatkuvasti uusia vaatimuksia laadulle. Asiakkaan tyytyväisyytenä laatu määrittyy lukuisista ominaisuuksista koostuvasta kokonaisuudesta, joihin perustuu tuotteen kyky saavuttaa siihen kohdistetut odotukset ja sille annetut vaatimukset. Suunnittelun osuus tuotteen laadun määrittämisessä painottuu käsiteltäessä tuotelaatua. (Lecklin 1999, 22-25.) Tuotelaadusta puhuttaessa voidaan osatekijöinä pitää tuotteen suoritusarvoja, luotettavuutta, kestävyyttä, esteettisyyttä, turvallisuutta ja muita mahdollisia tuotekohtaisia tekijöitä. (Salminen 1990, 10-11)

Useasti käsitteen laatu ongelmana voi olla sen vaikea hahmottaminen. Palvelua tai tuotetta käyttävän näkökulmasta voidaan laatua pitää yleisesti hyvänä asiana. Laatua voidaan tarkastella esimerkiksi asiakkaan, tuotteen tai ympäristön suunnalta. Asiakkaan odotusten, tarpeiden, tottumusten ja vaatimusten täyttämistä voidaan yleisesti pitää laatuna. Niiden täyttäminen ei kuitenkaan aina ole kannattavaa taloudellisesti tai ylipäättään edes mahdollista. Pääasiana on selvittää asiakkaan todelliset odotukset ja toteuttaa ne. Yleisesti voidaankin todeta, että vaatimustenmukaisuus on laatua. Vaikka yksiselitteistä määritelmää laadulle tuskin on olemassa. (Pesonen 2007, 35-37.)

### 3.2 Laadunhallintajärjestelmä

Johtamisjärjestelmä, toiminnanohjausjärjestelmä ja toimintajärjestelmä ovat nimityksiä, joilla tarkoitetaan yhtä asiaa eli laadunhallintajärjestelmää. Järjestelmää käytetään toiminnanohjauksessa, jotta tuotteet tai palvelut saadaan tuotettua asiakkaan vaatimusten mukaisiksi. (Pesonen 2007, 50.)

Kestävän kehityksen mukaisten hankkeiden perustana organisaatiolla toimii laadunhallintajärjestelmän käyttöönotto. Se on strateginen päätös, joka saattaa olla apuna organisaation kokonaisvaltaisen suorituskyvyn parantamisessa. Monimutkaisessa ja nopeasti muuttuvassa ympäristössä odotusten ja tulevien tarpeiden käsittely sekä johdonmukainen vaatimusten täyttäminen ovat organisaatioille haastavia toteuttaa. Saavuttaakseen nämä tavoitteet, voi organisaation olla tarpeellista ottaa käyttöön jatkuvan parantamisen ja korjausten lisäksi erilaisia parannuksia, kuten innovaatio, uudelleenorganisointi ja isommat muutokset. Laadunhallintajärjestelmän käyttöönotto saattaa parantaa mahdollisuutta asiakastyytyväisyyden lisäämiseen. Höytynä voi olla myös asiakasvaatimukset ja lakien vaatimukset täyttävien palveluiden ja tuotteiden tuottamiskyky. Jotta nämä hyödyt olisi mahdollista saavuttaa, on organisaation määriteltävä olennaiset sidosryhmät ja niiden vaatimukset. Sidosryhmiä olennaisine vaatimuksineen on organisaation taholta seurattava ja katselmoitava. Laadunhallintajärjestelmää on parhaan hyödyn saavuttamiseksi kehitettävä ja ylläpidettävä jatkuvasti. (SFS-EN ISO 9001, 5-12.)

### 3.3 Laadun varmistus

#### 3.3.1 Toiminnan laatu

Toiminnan laatu -käsitettä käytetään, kun pyrkimyksenä on suunnata huomio virheetömyyteen ja taloudellisuuteen laadukkaiden tuotteiden valmistuksessa. Tuotteiden suunnittelussa ja valmistuksessa syntyvät virheet ovat pääasiassa huomion kohteina. Virheistä aiheutuu yrityksen henkilöstölle ylimääräistä valvonta- ja paikkaustyötä, joka voi kuluttaa jopa 20-40% kokonaistyöajasta. Välillistä sekä välitöntä haittaa syntyy toistuvien virheiden myötä myös asiakassuhteisiin ja tuotteen lopulliseen laatuun. Jos toiminnan laadun virheisiin ei oteta kantaa, heikentää se ajan mittaan myös yrityksen sisäistä ilmapiiriä ja kehitystyötä. Tuotannon prosessien kehitykseen liittyy nollavirheperiaate. Sen ajatuksena on pienet etenemät, jotta saadaan luotua edellytykset prosessin virheettömyyden toteutumiseen. (Salminen 1990, 13.)

Toiminnan onnistuminen teknisessä mielessä on riippuvainen tarpeellisten tarkastusmittaus- ja valvontavälineiden löytymisestä sekä niiden käytöstä. Teknisiä

vaatimuksia ohjaamaan tulee käyttää sopivia tavoitteita, laatua seuraavia ohjelmia ja tehdasstandardeja. Työntekijöiden riittävästä koulutuksesta huolehtiminen on tärkeää toiminnan ja lopputuotteiden laadun varmistamiseksi. (Salminen 1990, 14.)

### 3.3.2 Toiminnanohjaus ja sen laadun varmistus

Suunnittelijan rooli keskittyy nykyisin yksityiskohtien ratkaisuihin ja niiden esittämiseen valmistusta varten. Virheettömän työn merkitys korostuu suunnittelijan työssä ja siinä tehty virhe voi tulla erittäin kalliiksi, jos sitä ei huomata ennen kohteen käyttööntoimista. (Hämäläinen 2018a.) Virheiden syynä voidaan monesti pitää ohjeiden puutetta, etenkin uuden henkilöstön tullessa yritykseen. Ohjeistuksen pitääkin olla nopeasti ja helposti kaikkien saatavilla. Ohjeiden on myös oltava selkeät ja niitä on päivitettävä mahdollisuuksien mukaan. (Salminen 1990, 162.)

Asetettujen vaatimusten täyttävien suunnitelmien tuottamista voidaan pitää suunnittelun ohjauksena. Ohjauksen huomion kohteena on suunnitelmien toiminnallisuus, taloudellisuus ja tekniset vaatimukset, kukin projektikohtaisesti sovitusti. Ohjaaja toimii aktiivisesti suunnittelijoiden kanssa tavoitteiden saavuttamiseksi. Lähes aina ohjaajan tehtävänä on antaa suunnittelijalle tarvittavat määräykset ja tiedot ohjeineen, jotta suunnittelija saa suoritettua projektinsa. Pääsääntöisesti suunnittelun ohjaus kuuluu pääsuunnittelijalle, jonka tehtäväalueeseen sisältyy suunnittelun laadunohjaus ja -varmistus, kustannusvaikutusten arviointi ja kokonaisuuden hallinta. Lisäksi suunnittelu-prosessin kaikki tieto, päätökset ja tuotteet tallennetaan yhteiselle alustalle, jotta kaikilla osallisilla on mahdollisuus tarvittavaan tiedonsaantiin.

3D-mallinnusta, piirustustuotantoa ja tiedonhallintaa ohjataan standardein laadun varmistamiseksi. Data-aineiston laadinta, muutostasot ja esittäminen määritelläänkin kansainvälisessä standardissa SFS-ISO 16792, jonka käyttäminen yhdessä tietokoneavusteisten suunnittelujärjestelmän kanssa saattaa tukea merkintä- ja mallinnuskäytäntöjen jalostusta suunnittelumenetelmissä. (SFS-ISO 16792, 6.) Projektiohjeistuksessa on määritelty putkistosuunnittelun ja muiden suunnittelulajien kesken tapahtuvan tiedonvaihdon kanava ja yhteyshenkilöt. 3D-mallia voi käyttää käyttöliittymänä ja portaalina tiedonvaihdolle. Ennen suunnittelun aloittamista varmistetaan suunnitteluohjelmien

yhteensopivuudesta, jotta tiedonkulku olisi mahdollisimman tehokasta ja näin välttäisiin virheitä. Tyypillisten teollisuusprojektien yleisiä suunnitteluperusteita on määritelty standardissa PSK 2621, jota hyödynnetään tiedonvaihdon määrittelyssä ja suunnittelun laadunvarmistuksessa. (PSK 2402 2021, 7.)

Laitekokonaisuuden oletetaan täyttävän yhdenmukaistetun standardin kattamat turvallisuusvaatimukset, jos se on kyseisen standardin mukaan valmistettu ja suunniteltu. Metallisen putkiston vaatimustenmukaisuusolettama saadaan tuotettua suunniteltaessa ja valmistettaessa standardin EN 13480 mukaisesti. Vaatimustenmukaisuus on osoitettava Painelaitedirektiivin (PED) olennaisten turvallisuusvaatimusten mukaisesti, jos käytetään eri putkistosuunnittelunormeja. (Hämäläinen 2018a.) Ongelmana on direktiivin epäselvä ja -tarkka kirjoitustyyli. Direktiivi ei anna suoraan ohjeita mitä pitäisi tehdä, vaan kertoo millainen painelaitteen pitäisi olla. Siinä on myös kohtia, jotka ovat keskenään ristiriidassa.

**Vaatimustenmukaisuusvakuutus**

Putkistonvalmistajat Oy  
 PL 123  
 01234 TEHDASMAA

vakuuttaa, että kemikaaliputkisto

Kemikaaliputkisto P200  
 valmistusnumero 2100  
 jonka suunnittelu-arvot ovat:

|                     |               |
|---------------------|---------------|
| Paine, max / min    | 5,0 / -1 bar  |
| Halkaisija          | DN 100        |
| Sisältö             | NaOH          |
| Lämpötila max / min | + 80 / +10 °C |

**on suunniteltu ja valmistettu vaarallisten kemikaalien käsittelyn ja varastoinnin turvallisuusvaatimuksista annetun valtioneuvoston asetuksen (856/2012) 47 § mukaisesti ja vastaten painelaitteasetuksen (1548/2016) luokan I vaatimustasoa (moduuli A)**

Sovelletut standardit  
 SFS EN-13480-1-5

Muut standardit ja tekniset eritelvät:

Pääpiirustuksen No: xxx

Piirustuksessa esitetään putkistokokonaisuus ja yksilöidään putkilinjat ja painelaitteet suunnittelu-arvoineen

Kemikaaliputkiston suunnittelu, valmistus ja tarkastukset täyttävät asetetut vaatimukset.

Tehdasmaalla \_\_ . \_\_ . \_\_\_\_

Allekirjoitus

Allekirjoitusvaltuutusasema

Kuva 1. Esimerkki vaatimustenmukaisuusvakuutuksesta (Tukes:n www-sivut 2021).

### 3.3.3 Suunnittelukatselmukset

Suunnitteluprosessin yksi olennaisimpia osia toiminnanohjauksen ja laadun varmistuksen kannalta on 3D-mallien katselmointi. Projektiohjeisiin kirjataan katselmointikäytännöt. Katselmointien määrä on pidettävä riittävänä, jotta suunnittelun laatu voidaan varmistaa. (PSK 2402 2021, 21.)

Suunnitteluprosessin aikana tehtävä suunnittelutuotteen tarkastelu ja asetettujen tavoitteiden arviointi ovat suunnittelukatselmuksen tärkein sisältö. Katselmuksessa varmistetaan, että suunnittelun tuotos täyttää vaatimukset, jotka sille on asetettu. Laatu-järjestelmästandardi SFS-EN ISO 9004 esittää asialistan suunnittelukatselmuksille. Asialistassa olevien aiheiden avulla voidaan suunnittelutoimintaa ohjata prosessin aikana halutun lopputuloksen aikaan saamiseksi. Suunnittelukatselmuksissa läpi käytäviä asioita ovat muun muassa:

- tuotteen, materiaalin ja prosessin teknisten tietojen vertaaminen asiakkaan tarpeisiin
- odotetun käyttöolosuhteen suhde tuotteen suorituskykyyn
- suunnittelun vaatimustenmukaisuuden varmistaminen
- turvallisuusnäkökannan varmistus
- mahdollisten ongelmien välttämiseksi suunnittelutyön vertaaminen edeltäviin saman tyyppisiin töihin
- varmistetaan, että tuote noudattaa oikeita säännöksiä, standardeja sekä yrityksen periaatteita
- tarkastetaan suunnittelutuotteen kunnossapito- ja käyttönäkökulmat
- kokonaisuuden valmistettavuuden ja asennettavuuden tarkastelu
- onko tarkastusten ja testausten tekeminen mahdollista
- varmistetaan standardiosien käyttömahdollisuuksista

(SFS-EN ISO 9004.)

Suunnittelukatselmuksia voidaan jakaa suunnittelutyön etenemisen mukaan eri vaiheisiin. Suunnittelun lähtökohtien valinnan jälkeen pidetään alkusuunnittelukatselmus, missä varmistetaan riittävästä suunnittelun lähtötiedoista. Suunnittelijalle selvitetään asiakkaan tuotteeseen kohdistuvat odotukset, tuotteen määrittely sekä sen toiminnot ja mahdolliset rajoitukset. Välisuunnittelukatselmusten tarkoituksena on seurata projektin etenemistä ja vertailla toteutuuko edeltävissä palavereissa sovitut asiat. Välisuunnittelukatselmusten määrä on riippuvainen projektin laajuudesta. Loppusuunnittelukatselmuksen aiheina käsitellään piirustusten laatua ja käyttöohjeiden tarpeita. Se pidetään ennen valmistuksen aloitusta. Suunnittelukatselmusryhmän kokoonpanoon voivat kuulua yhtiön johto, pääsuunnittelijat ja suunnittelijat, laatuosasto, valmistaja, hankintahenkilöstö, kunnossapidon ja käytön edustajat sekä ulkopuolisia asiantuntijoita. (Salminen 1990, 117.)

### 3.3.4 Kenttämittaukset

Harjavallan Suurteollisuuspuistossa putkistosuunnittelua tekevän on mahdollista käydä työkohteessa katselmoimassa. Tämä onkin suositeltava käytäntö alueella työskenneltäessä. Käynti suunnittelukohteessa auttaa suunnittelijaa hahmottamaan ympäristöä paremmin kuin pelkkä tietomallin tarkastelu. Työkohteen katselmointi helpottaa suuruusluokan hahmottamista ja antaa näkökulmaa asennuksen huomioimiseen putkistoa suunniteltaessa. Kenttämittauksista saatuja tietoja voi verrata tietomalliin, jolloin saadaan varmistus suunnitelmien mitoituspaikkansa pitävyydestä.

Kenttämittauksia on suositeltava, vaikka kohteesta olisi jo valmis tietomalli olemassa. Etenkin kohteessa, missä uuden tai uusittavan putkiston reitti kulkee ahtaissa paikoissa tai linja kulkee putkiryhmän läheisyydessä, tulee tarvittavat tarkemittaukset varmistaa. Suunnittelukohteessa tehtävien mittausten yhteydessä saa suunnittelija määritettyä putkistosuunnitelmien kannalta mahdolliset rajoittavat tekijät. Mittausten tulokset tulee huomioida tehdasmallissa. Kaiken mahdollisen kenttämittauksista saatavan informaation tuominen malleihin ja suunnittelijan aktiivinen toiminta suunnittelukohteessa, ympäristöä tarkastellen, parantavat suunnitelmien tarkkuutta. Kun mallissa on nähtävillä kaikki mahdollinen tieto, voidaan sitä käyttää apuna suunnittelukatselmuksissa tai antaa se muiden suunnittelijoiden tai asiakkaan käyttöön.

Hankalasti mitattavissa olevat, isommat tai pidemmät putkilinjat tuovat omat haasteensa kentällä tehtäviin mittauksiin. Näistä linjoista saattaa dokumentointi olla vanhentunutta tai puuttua kokonaan, jolloin kokoluokasta ja materiaalista voi joutua tekemään arvioita. Tällaisissa tapauksissa on eduksi hyödyntää kokeneempien suunnittelijoiden tai käyttöhenkilöstön tuntemusta kohteesta.

### 3.4 Standardit ja direktiivit

Painelaitteiden suunnittelun ja valmistuksen yksityiskohtaiset tekniset ratkaisut ja toimitukset on esitetty Painelaitedirektiivin yhdenmukaistetuissa EN-standardeissa. Suositeltavin tapa täyttää PED:n turvallisuusvaatimukset, on käyttää EN-standardeja, jotka ovat voimassa kaikissa EU- ja EFTA-maissa samanlaisina. Näin ollen ne

helpottavat toimimista kansainvälisesti. Standardien mukaan valmistettuun painelaitteeseen voidaan liittää CE-merkintä. Tuotteen valmistajan on muulla tavalla osoitettava, että tuote täyttää vaatimukset, jos standardeja ei olla käytetty. (Opas: Kestomuoviset teollisuusputkistot 2019, 5.)

Uusiin suuren kokoluokan investointihankkeisiin on tapana laatia erillinen projektistandardi, mihin kerätään projektin kannalta kansainvälisistä ja kansallisista standardeista käyttökelpoisimmat. Pienemmissä hankkeissa voidaan usein käyttää ohje-  
nuorana tehtaan omaa tehdasstandardia. Voimassa olevien säädösten tulee olla huomi-  
oituna tehdasstandardissa. Mikäli puutteita havaitaan, on ne päivitettävä. Tehdasstan-  
dardien lisäksi voidaan käyttää erikseen sovittuja lisävaatimuksia, joista tulee sopia  
asiakkaan kanssa. Lisävaatimuksia voivat esittää niin suunnittelijataho kuin asiakas-  
kin.

Esimerkkejä putkistosuunnittelun ohjaukseen ja laadunvarmistukseen käytettävistä standardeista ja direktiiveistä:

- PSK 2621 Teollisuuden laitehankinnat. Tekniset suunnitteluperusteet.
- PSK 3402 Pistepilven ja mallinnan hankinta teollisuudessa.
- PSK 7304 Putkiston kannakointi. Teräsputket.
- PSK 7370 Putkiston kannakointi. LM- ja LM/KM-putken kannakointi.
- SFS-EN ISO 13480 Metalliset teollisuusputkistot.
- Painelaitedirektiivi (PED)

Vaikka metalliputkistoille löytyy EN-standardit, on muoviputkien osalta haasteena, ettei kaikkia PED-vaatimusten kohtia kyetä vielä määrittelemään EN-standardein. Käytännön tapana standardituotteissa kestumuvien osalta onkin käyttää EN-tuotejärjestelmästandardeja sekä tunnettuja, niihin verrattavia asiakirjoja. (Opas: Kestomuoviset teollisuusputkistot 2019, 5.)

#### 3.4.1 Perusteita Painelaitedirektiivin vaikutuksesta suunnitteluun

Osa putkistoista luokitellaan painelaitteiksi, joiden suunnittelu ja valmistus perustuu Painelaitedirektiiviin. Siinä on määritetty olennaiset turvallisuusvaatimukset ja



vaatimustenmukaisuuden arviointimenettelyt. Painelaitteiden ja laitekokonaisuuksien, joiden suurin sallittu käyttöpaine on yli 0,5 bar, suunnitteluun sovelletaan kyseistä direktiiviä. Viimeisestä alueella sijaitsevasta sulkuventtiilistä alkaen, minkä tahansa aineen tai sisällön siirtämiseen laitoksesta tai laitokseen tarkoitettu putkisto laitteineen eivät kuulu sovelluksen pariin. (Painelaitedirektiivi 2014/68/EU, liite II.) Yleisesti vaaditaan painelaitteelle, kuten putkistolle, CE-merkintä. Ilman CE-merkintää voidaan valmistaa ainoastaan pienimmän turvallisuusriskin putkistot, joiden suurin sallittu käyttöpaine on alle 0,5 bar.

Painelaitedirektiivi on lakitekstinä usein vaikeasti ymmärrettävää ja jättää varaa tulkinnolle. EU:n komission työryhmä on laatinut tulkinnanvaraisuuden vähentämiseksi direktiivin soveltamisohjeita. Viranomaiset ja ilmoitetut laitokset vaativat ohjeiden seuraamista, vaikka ne eivät ole juridisesti sitovia. (Purje 2018.)

Painelaitedirektiivin liitteen mukaan luokitellaan painelaitteet kasvavan vaaran perusteella luokkiin I-IV. Painelaitedirektiivin liitteessä II on esitetty 9 erilaista luokittelukuvaa erityyppisille painelaitteille. Painelaitteen luokka määritetään näiden kuvausten perusteella. Direktiivi antaa lähtökohtia suunnittelulle, jotka eivät juuri eroa normaalisti käytettävistä periaatteista.

Huomioitavia tekijöitä ovat esimerkiksi:

- käyttölämpötila ja ympäristön lämpötila
- putkiston sisäinen ja ulkoinen paine
- sisällön massa testaus- ja käyttöolosuhteissa
- tuulesta ja maanjäristyksestä johtuvat voimat
- väsyminen ja viruminen
- korroosio ja eroosio
- putkiston liikkeen aiheuttamat voimat ja momentit
- kiinnikkeistä aiheutuvat voimat

(Painelaitedirektiivi 2014/68/EU)

Lisävaatimuksia erityisesti putkiston suunnittelua ja valmistusta koskien on esitetty direktiivin liitteessä I:

- tyhjennysmahdollisuus putkiston matalissa kohdissa

- huomioitava väsymis- ja värähtelyvaara
- vaarallisten sisältöjen ulostuloputket on eristettävä ympäristöstä
- vahingossa tapahtuvan tyhjennyksen mahdollisuus on poistettava

(Painelaitedirektiivi 2014/68/EU, liite I)

Yleensä putkistosuunnittelun on perustuttava laskentamenetelmään, jotta voidaan taata putkiston riittävä kestävyys. Lujuuslaskenta voidaan tehdä perinteisesti laskenta-kaavoilla, murtumismekaniikkatarkastelulla tai analyysimenetelmää käyttämällä (FEM). Putkiston osia voidaan mitoitaa kokeelliseen suunnittelumenetelmään perustuen ilman laskentaa. Tällöin suurimman sallitun käyttöpaineen ja putken nimelliskoon tulo pitää olla alle 3000 bar\*mm. (Purje 2018.)

Putkiston valmistamiselle ja tarkastuksille on annettu erittäin yksityiskohtaiset ohjeet painelaitteiden valmistusta ja tarkastusta koskevissa harmonisoiduissa standardeissa EN 13480-4 ja -5. Putkiston ja sen kannakointisuunnitelman tarkastus on tehtävä ennen kuin valmistus tai asennus aloitetaan. Putkiston suunnittelijan on laadittava vaatimustenmukaisuusvakuutus erikseen, jos valmistaja on eri yhtiöstä. Ennen hitsaustointojen aloitusta, hitsaustyön tekevän yrityksen pitää todentaa hitsaustyölle hyväksytyt ohjeet ja pätevyitynyt henkilöstö. Putkistoluokka, seinämänpaksuus ja materiaali vaikuttavat tarvittavan hitsien rikkomattoman aineenkoetuksen (NDT) tyyppiin ja laajuuteen. Määrittelyssä käytetään standardissa EN 13480-5 esitettävää taulukkoa 8.2-1 Kehä-, yhde-, piena- ja tiivistehitsien testauslaajuus. Osana loppuarviointia on tehtävä putkiston painekoe, joka yleisesti suoritetaan nestepainekokeena. Koepaineen on oltava minimissään suurempi seuraavista arvoista: 1,25 x suurinta käytön aikaista kuormitusta vastaava paine, jossa huomioidaan suurin sallittu käyttöpaine ja korkein sallittu lämpötila tai 1,43 x suurin sallittu käyttöpaine. Loppudokumentaatioissa vaadittavan sisällön laajuus on esitetty luokittain standardin EN 13480-5 taulukossa 9.4-1 Loppudokumentaatio. (SFS-EN 13480-5, 7-25.)

## 4 3D-MALLINNUS

### 4.1 Yleistä

Kohteesta rakennetaan tietomallia suunnittelujärjestelmällä, joten 3D-suunnittelua voidaan pitää mallinnuskeskeisenä. Tietomalli pitää sisällään alfanumeerisen attribuuttitiedon sekä geometrisen 3D-tiedon suunnittelukohteesta. Esimerkiksi osaluetteloiden ja piirustusten kaltaisten dokumenttien tuottaminen suoraan mallista pyritään automatisoimaan mahdollisimman pitkälle. 3D-mallista tulostettu piirustus on yhteydessä 3D-malliin, joten mahdollisesti malliin tehtävien muutosten jälkeen voidaan 2D-piirustus nopeasti niin sanotusti päivittää. Päivityksen teon jälkeen ovat malli ja piirustus taas synkronoituja. (Ilomäki 2018.)

Mallinnusperiaatteet on tehtävä selviksi jo ennen suunnittelun aloittamista. Sovittavia asioita ovat mallinnuksen ja toimintatapojen ohjeet, ohjeistus mallien nimeämisestä sekä jakamislajuuudesta ja eri työlajien yhteensovittaminen. Lisäksi on määriteltävä mitä putkiluokkia ja putkistovarusteita on käytettävä sekä sovittava mallin 0-pisteen paikka ja koordinaatisto, jota käytetään. Myös yksityiskohtien laajuus ja mallinnuksen tarkkuus on oltava suunnittelijan tiedossa. (PSK 2402 2016, 20.)

### 4.2 3D-mallin laatiminen

Pistepilvimalli, josta mallinnusohjelmalla luodaan 3D-malli, toimii lähtötietona. Tekninen rakenne 3D-mallissa on yritettävä tuottaa standardissa PSK 5821 esitettyjen tasomäärittelyjen mukaisesti. Graafiset elementit tai valmiiksi luodut elementit, joita 3D-mallinnuksessa hyödynnetään, saattavat olla järjestelmä- tai asiakaskohtaisia. Järjestelmäsidonnaisten älykkään mallin yhteensopivuus eri järjestelmien kesken pitää selvittää erikseen. Tunnusten esittäminen on vähimmäisvaatimuksena putkistojen, tilojen ja prosessilaitteiden attribuuttitietona. (PSK 3402 2021, 8.)

3D-pistepilvi muodostetaan laserkeilaamalla. Mittauslaite rekisteröi lasersädeä käyttäen valtavan määrän mittauspisteitä, joista pistepilvi rakentuu. Laserkeilauksen käyttö yleistyä koko ajan ja sitä käytetäänkin muun muassa laitossuunnittelu- ja

rakennusmittauksissa. Muihin menetelmiin verrattuna laserkeilaus on yleensä tarkempi, halvempi, yksityiskohtaisempi ja nopeampi. (Ilomäki 2018.)

#### 4.3 Komponenttikirjasto ja putkiluokkien määrittely

Suurin osa putkistoista suunnitellaan kokonaan kiinteästi määritetyillä spesifikaatioilla, koska manuaalisesta tiedonsyötöstä saattaa aiheutua vaikeuksia ja virheitä tehdessä materiaalilistoja. Yleisesti järjestelmien vaatimissa 3D-formaateissa ei ole valmiina saatavilla putkistovarusteita, esimerkiksi venttiileitä. Sujuvuutta suunnitteluun tässä kohdassa tuovat parametriset komponentit, joille dimensioiden syöttäminen suunnittelijan toimesta on mahdollista. (Ilomäki 2018.)

Yritysten kaikkien projektien yhteisessä käytössä on keskitetty komponenttikirjasto, johon komponentit on määritelty valmiiksi. Kirjastoon tehtävä komponenttien määrittely on kertaluontoinen työ, jonka jälkeen jokainen lisätty komponentti on kaikkien käytettävissä. Komponenttikirjasto on mahdollista saada yrityksen kaikkiin toimipisteisiin ja niiden mahdollisten alihankkijoiden käytettäväksi. Osien esittäminen taulukoituina kuuluu kaikkien järjestelmien ominaisuuksiin, vaikka komponenttikirjaston tekninen toteutus vaihtelee niiden kesken. Yhteensopivat putkiston osat saadaan 3D-mallissa valittua helposti kirjaston sisältämien taulukoiden avulla. Taulukoista selviää tärkeiden mittatietojen lisäksi kytkentätiedot eri komponenttien liitoskohtiin. Myös sallitut kytkentätyyppiparit pitää löytyä kirjaston taulukoista. (Ilomäki 2018.)

Valmiiden putkiluokkien käytöstä on sovittava ennen suunnittelun aloittamista. Jos päädytään muuhun vaihtoehtoon, on sovittava minkälaisia komponentteja, materiaaleja ja putkenosia on tarkoitus käyttää. (PSK 2402 2021, 9.) Normaalina käytäntönä on koota ennakkoon valitut komponentit yhteen putkiluokkaan. Näiden komponenttien on täytettävä tietyt paineluokka- ja materiaalityypivaatimukset. Kaikkien yhden putkiluokan osien tulee olla laskennallisesti mitoitettu, tietyssä nimellislämpötilassa, kestämään putkiluokalle määritelty nimellispaine. Yleisesti yhteen putkiluokkaan valitaan vain yhden päästandardin mukaisesti valmistettuja ja yhden kytkentätyypin osia. Jotta vältetään venttiilien, kierreosien ja muiden erikoisosien lisäämiseltä erikseen jokaiseen putkiluokkaan, voidaan niille tehdä kokonaan oma putkiluokka.

Putkiluokkamäärittysten pitää olla tehtynä ennen kuin mallista pystyy tulostamaan lopullisia dokumentteja. (Ilomäki 2018.)

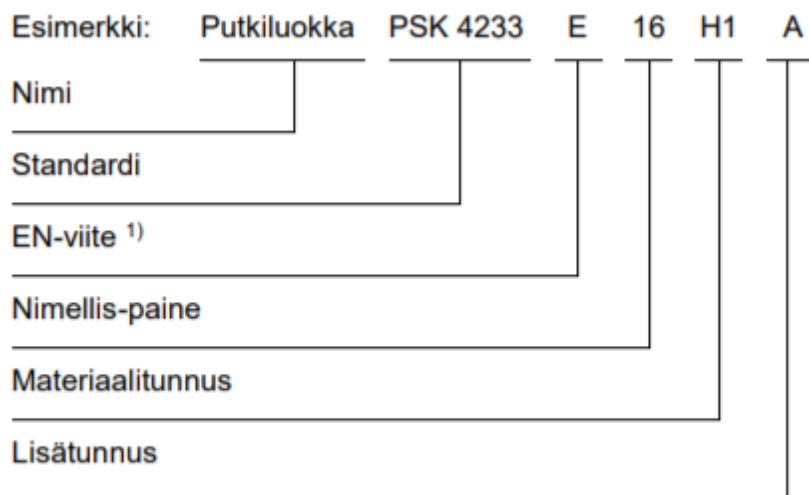
## 5 PUTKILUOKAT

### 5.1 Yleistä

Putkilinjaan kuuluvien putkenosien ja putkien valikoimaa kutsutaan putkiluokaksi. Valikoimalle on määritelty materiaalit ja mitat. Vaatimukset ja mitat putkenosille sekä putkille on esitetty putkiluokakohtaisissa mittastandardeissa. Putkiluokat toimivat apuvälineenä putkistosuunnittelussa, siihen liittyvissä hankinnoissa ja rakentamisessa sekä kunnossapidossa. Putkenosia, jotka kuuluvat putkiluokkaan ovat suorat putket, T-haarat, kierteelliset putkenosat, putkikartiot, -käyrät ja -kaulukset sekä tiivisteet, aluslaatat, mutterit ja ruuvit. Paine, lämpötila, korroosio-olosuhteet ja virtaava aine toimivat määritteinä putkiluokkaa valittaessa. (PSK 4201 2017, 1.)

Erilaisiin prosessiputkistoihin oikeiden komponenttien valintaan tarjoavat PSK-putkiluokat luotettavan työkalun. Standardeissa on esitetty jokaisen komponentin päämitat ja kaikkien putkiluokkien turvallisen käytön lämpötila- ja painerajat, jotta suunnittelija ei joudu perehtymään lukuisiin painelaitteisiin ja niiden materiaaleihin liittyviin muihin standardeja. Putkiluokkastandardit antavat esimerkkejä komponenttien kuvaustyyliin tilauksia varten, jotta ne olisivat mahdollisimman yksiselitteisiä. Putkiluokkien käyttö helpottaa suunnittelijan ja valmistajan työtä, koska materiaalit ja komponentit ovat yhdenmukaisia. Kerran määritettyjä seinämävahvuuksia eri komponenteille voi käyttää projektista toiseen. Silloin uusia laskelmia ei tarvita ja säästetään aikaa sekä vältetään virheitä. Laajamittainen yhdenmukaisten komponenttien käyttäminen ohjaa niiden kysyntää lyhentäen toimitusaikoja. (Joronen 2018a.)

Täydelliseen putkiluokan merkintään kuuluvat sana putkiluokka, putkiluokkastandardi, E-kirjain, nimellispaineen lukuarvo, materiaalitunnus sekä lisätunnus. Kirjain E putkiluokan tunnuksessa kertoo putkiluokan olevan painelaitedirektiivin vaatimusten mukainen. (PSK 4201 2017, 2.)



<sup>1)</sup> Osoittaa, että putkiluokka perustuu EN-standardeihin.

Kuva 2. Esimerkki putkiluokan merkinnästä (PSK 4201 2017, 2).

PSK:n mukaiset putkiluokkastandardit löytyvät koottuna PSK-käsikirjasta 7 (PSK 2402 2021, 9).

Suurteollisuuspuistossa asiakkaiden prosessit sekä laitosten olosuhteet asettavat suunnittelulle lukuisia vaatimuksia, jotka ylittävät standardien ja viranomaisten esittämät minimitasot. Putkistoissa nämä huomioidaan yleisesti seinämävahvuuksien poikkeuksina standardien vaatimuksista. Erityisvaatimukset voi olla sovittu asiakas- tai laitoskohtaisesti. Putkiston erikoistapauksista mainittakoon NNH:n autoklaavien puskuputkissa käytettävät normaaleja vaatimuksia suuremmat seinämävahvuudet ja niitä varten suunnitellut erikoisratkaisut putkenosissa. Esimerkiksi käyrät, jotka ovat T-haaroja, joista yksi haaraosuus on tulpattu järeällä tavalla. (Niemi henkilökohtainen tiedonanto 9.2.2021.) Vaatimuksia on nostettu esimerkiksi BoHa:n rikkihappotehtailla, joissa rikkihappoputkistojen minimiseinämävahvuudeksi on sovittu 2mm. Laitoskohtaisesti voi olla sovittu käytettäväksi myös tietyn valmistajan tiivisteitä. Pääsääntöisesti nämä on huomioitu valmiiksi luoduissa putkispekeissä. Kaikista paikallisesti sovituista erityisvaatimuksista on aina varmistuttava.

## 5.2 STP-alueen yleisimmät putkiluokat

PSK 4201:n mukaista putkiluokittelua on käytettävä putkiston suunnittelussa ja rakentamisessa. Putkiluokan valintaan vaikuttavat putkiston rakenneaine, sallittu käyttölämpötila ja käyttöpaine sekä mahdollinen lainsäädäntö. Valintaa tehdessä on otettava huomioon myös putkiston koon ja pituuden vaikutus hintaan.

Yleisin Suurteollisuuspuistossa käytettävä putkiluokka on E10H2A (austeniittinen ruostumaton CrNiMo-teräs, 1.4432), jonka käyttökohteita ovat:

- jäähdytysvesiverkostot
- prosessiviemärit
- prosessiliuokset
- tehtaiden sisäiset paineilmaverkot
- prosessin sisäiset lauhdelinjat
- instrumentti-ilmaverkostot
- matalapainehappilinjat
- 7 bar korkeapainetyypiverkostot

Koosta DN 200 lähtien käytetään paineettomiin linjoihin ja viemäriin paineluokittelemattomia kauluksia. Tämän putkiluokan mukaisia laippoja, käyriä, T-haaroja, putkia ja käyriä säilytetään varastotavarana kokoon DN 150 saakka ja kierreosia kokoon DN 50 asti.

Putkiluokan E10H1A (austeniittinen ruostumaton CrNi-teräs, 1.4307) käyttökohteita:

- paineilman pitkät siirtolinjat
- pohjaveden runkoputkisto

Ei suositella käytettäväksi prosessin sisällä. Vertailtava hinnan vaikutusta terästen 1.4307 ja 1.4432 kesken.

Putkiluokka E40H2A (austeniittinen ruostumaton CrNiMo-teräs, 1.4432) käytetään yleisesti DN 150-putkikokoon asti ja sen käyttökohteita ovat:

- korkeapainehappilinjat
- kemikaalilainsäädännön mukaan vaaralliset prosessiliuokset



Putkiluokan E16C1B (kuumalujaseostamaton teräs, P235GH) käyttökohteita ovat muun muassa matalapaine höyry- ja lauhdelinjat (4,5 bar).

Putkiluokka E40C1B (kuumalujaseostamaton teräs, P235GH) käyttökohteita:

- höyry- ja lauhdelinjat, joiden käyttöpaine on 16 ja 20 bar
- keräily- ja raskasöljyputkistot

Korkeamman käyttöpaineen (38 bar) höyry- ja lauhdelinjoissa käytetään putkiluokkaa E63C1B (kuumalujaseostamaton teräs, P235GH).

Erikoisputkistojen kuten ammoniakki-, vety- ja propaaniputkistojen rakenteet on selvitettävä erikseen, koska ne ovat erikoismääräysten alaisia. (HTS 21372 2003, 1-2.)

| MATERIAALI<br>Pipe material   | TUNNUS<br>Symbol | MATERIAALI<br>Pipe material                                       | TUNNUS<br>Symbol |
|---|------------------|---|------------------|
| VALURAUDAT<br>Cast irons  | A                | EI-RAUTAMETALLIT<br>Non-ferrous metals                            | K                |
| Suomugrafiittivalurauta<br>Grey cast iron   | A1               | Nikkelipohjainen metalli<br>Nickel alloy                          | K1               |
| Pallografiittivalurauta<br>Spheroidal graphite cast iron                            | A2               | Titaani<br>Titanium   | K2               |
| SEOSTAMATTOMAT TERÄKSET<br>Non alloy steels   | B                | Alumiini ja alumiiniseos<br>Aluminium and aluminium alloy         | K3               |
| Seostamaton teräs<br>Non alloy steel  | B1               | Kupari ja kupariseos<br>Copper and copper alloy                   | K4               |
| KUUMALUJAT TERÄKSET<br>Steel for elevated temperatures                              | C                | Zirkonium<br>Zirconium  | K5               |
| Kuumaluja seostamaton teräs<br>Non alloy steels for elevated temperatures           | C1               | KESTOMUOVIT<br>Thermoplastics                                     | L                |
| Mo-seosteinen teräs<br>Mo-alloyed steel   | C2               | Kova polyeteeni (PEH)<br>Hard polyethylene (PEH)                  | L1               |
| 13CrMo-seosteinen teräs<br>13CrMo-alloyed steel                                     | C3               | Pehmeä polyeteeni (PEL)<br>Soft polyethylene (PEL)                | L2               |
| 10CrMo-seosteinen teräs<br>10CrMo-alloyed steel                                     | C4               | Polypropeeni (PP)<br>Polypropylene (PP)                           | L3               |
| TULENKESTÄVÄT TERÄKSET<br>Heat resistant steels                                     | D                | Polyvinyylikloridi (PVC)<br>Polyvinyl chloride (PVC)              | L4               |
| VEDYN KESTÄVÄT TERÄKSET<br>Hydrogen resistant steels                                | E                | Polyvinyylideenikloridi (PVDC)<br>Polyvinylidene chloride (PVDC)  | L5               |
| KYLMÄSITKEÄT TERÄKSET<br>Steels for low temperatures                                | F                | Polyvinyylideenifluoridi (PVDF)<br>Polyvinylidene fluoride (PVDF) | L6               |
| Kylmäsitkeä seostamaton teräs<br>Non alloy steel for low temperatures               | F1               | Polytetrafluorieteeni (PTFE)<br>Polytetrafluoroethylene (PTFE)    | L7               |
| ULKOPINNALTA PINNOITETUT<br>TERÄKSET<br>Externally coated steels                    | G                | BETONIT<br>Concretes  | M                |
| RUOSTUMATTOMAT TERÄKSET<br>Stainless steels   | H                | KERAAMIT<br>Ceramics  | R                |
| Austeniittinen ruostumaton CrNi-teräs<br>Austenitic stainless CrNi-steel            | H1               | LUJITEMUOVIT<br>Reinforced plastics                               | S                |
| Austeniittinen ruostumaton CrNiMo-teräs<br>Austenitic stainless CrNiMo-steel        | H2               | Bisfenoli-A-polyesteri<br>Bisphenol A-based polyester             | S1               |
| Austeniittis-ferritiininen ruostumaton teräs<br>Austenitic-ferritic stainless steel | H3               | Vinyyliesteri<br>Vinylester                                       | S1               |
| Austeniittinen ruostumaton CrNiMoCu-teräs<br>Austenitic stainless CrNiMoCu-steel    | H4               | Isoftaalipolyesteri<br>Isophthalic polyester                      | S1               |
|   |                  | MUUT<br>Others  | Z                |

Kuva 3. PSK-putkiluokkien materiaalitunnukset (PSK 4201 2017, 3.)

## 6 KANNAKOINTI

### 6.1 Yleistä

Tärkeimpänä tehtävänä putkiston kannakoinnilla on laitteiden ja putkistokuorman kantaminen. Sen tehtävä on myös siirtää putkiston kuormat ympäröiviin rakenteisiin ja ohjata sen liikkeitä haluttuun suuntaan, sekä samalla estää heilahteluja ja vaimentaa tärähtelyjä. Kannatuksella on tärkeä rooli putkistoon liitettyjen laitteiden suojaamisessa liialliselta kuormitukselta. (Kuusijärvi 2018.)

Kiintopisteiden ja ohjausten avulla saadaan usein hallittua dynaamisia kuormituksia. Tällöin kuitenkin lämpöliikkeestä johtuva rasitus kasvaa. Muuttamalla kannakkeiden paikkoja saadaan vaikutettua putkiston ominaistuuksiin, jolla voi olla pienentävä vaikutus dynaamisiin kuormiin. Erilaisten vaatimusten välinen kompromissi vaikuttaa kannakointisuunnitelmaan, johon lopulta päädytään. (PSK 7302 2018, 2-3.)

Putkiston kannakkeet jaetaan kahteen osaan, primääri- ja sekundäärikannakkeisiin. Putkeen kiinnitettäviä kannakeosia kutsutaan primäärikannakkeiksi. Niitä ovat esimerkiksi riippukannattimien standardoidut rakenteet, putkisangat ja liukujalat. Myös estopalat ja ohjaimet luetaan primäärikannakkeiksi. Rakennuksiin tai muihin tukirakenteisiin kiinnitettäviä putkikannakkeiden osia kutsutaan sekundäärikannakkeiksi, joihin primäärikannakkeet tuetaan tai kiinnitetään. (PSK 7302 2018, 4)

Kannakerakenteet on jaettu kuormitusluokkiin PSK standardeissa. Luokittelulla saadaan varmistettua samaan kuormitusluokkiin kuuluvien osien yhteensopivuus. Jos samassa linjassa on laitteita eri luokista, on putkilyn kannakeluokaksi aina valittava vaativimman putkiluokan mukainen vaihtoehto. (Kuusijärvi 2018.)

### 6.2 Kannakevälit

Suositteluvia teräsputkiston kannakeväljä on esitetty standardissa PSK 7304, joka on tarkoitettu kannakevälien valintaohjeksi vaaka-asentoon sijoitetuille DN 10-DN 1200 kokoisille putkille. Pystysuuntaisen putken kannakevälin valintaan on standardissa

annettu korjauskertoimia vaakasuuntaisen kannakoinnin suhteen. Kerrointaulukoiden avulla on huomioitu myös putkiston sisällön ja eristyksen vaikutukset kannakeväleihin. Raskaiden putkivarusteiden ja käyräkohtien osuessa kannakevälille, on kannakeväliä lyhennettävä. Suoraa putkea, joka on kannakoitu useammasta kohtaa, pidetään yleisesti lujuusopillisesti jatkuvana palkkina. Tällaisissa tapauksissa on mahdollista valita pidempiä kannakevälejä kuin normaaleissa niveltuntentaisiksi määritellyissä putkissa. (Kuusijärvi 2018.)

Taulukko 2 Eristämättömien kaasua tai nestettä sisältävien ruostumattomien teräsputkien kannakevälit L (m).

Table 2 Support spacing L (m) for uninsulated stainless steel pipes filled with liquid or gas.

| DN   | Ulkohalkaisija ja seinämöpaksuus<br>Outer diameter and wall thickness | Kaasu / Gas               |              | Neste / Liquid            |              |
|------|---|---------------------------|--------------|---------------------------|--------------|
|      |   | Tuentatapa / Support type |              | Tuentatapa / Support type |              |
|      |   | Nivel Free                | Jäykkä Rigid | Nivel Free                | Jäykkä Rigid |
| 10   | 17,2 x 1,6  | 1,4                       | 2,5          | 1,3                       | 2,3          |
| 15   | 21,3 x 1,6  | 1,7                       | 2,9          | 1,5                       | 2,6          |
| 20   | 26,9 x 1,6  | 2,0                       | 3,4          | 1,7                       | 3,0          |
| 25   | 33,7 x 1,6  | 2,3                       | 4,0          | 2,0                       | 3,4          |
| 32   | 42,4 x 1,6  | 2,7                       | 4,7          | 2,3                       | 3,9          |
| 40   | 48,3 x 1,6  | 3,0                       | 5,1          | 2,4                       | 4,2          |
| 50   | 60,3 x 1,6  | 3,5                       | 6,0          | 2,7                       | 4,7          |
| 65   | 76,1 x 1,6  | 4,1                       | 7,0          | 3,0                       | 5,2          |
| 80   | 88,9 x 2  | 4,5                       | 7,8          | 3,4                       | 5,9          |
| 100  | 114,3 x 2   | 5,4                       | 9,3          | 3,9                       | 6,6          |
| 125  | 139,7 x 2   | 6,2                       | 10,6         | 4,2                       | 7,0          |
| 150  | 168,3 x 2   | 7,0                       | 12,1         | 4,6                       | 7,2          |
| 200  | 219,1 x 2,6   | 8,4                       | 14,4         | 5,0                       | 7,4          |
| 250  | 273 x 3,2   | 9,8                       | 16,7         | 5,6                       | 7,6          |
| 300  | 323,9 x 3,2   | 10,9                      | 18,7         | 6,4                       | 8,6          |
| 350  | 355,6 x 3,2   | 11,6                      | 20,0         | 6,7                       | 8,7          |
| 400  | 406,4 x 3,2   | 12,7                      | 21,4         | 7,5                       | 9,6          |
| 450  | 457 x 3,2   | 13,8                      | 22,7         | 7,8                       | 9,7          |
| 500  | 508 x 4   | 14,8                      | 23,9         | 8,7                       | 10,7         |
| 600  | 610 x 4   | 16,7                      | 26,2         | 9,7                       | 11,9         |
| 700  | 711 x 4   | 18,5                      | 28,3         | 9,9                       | 12,1         |
| 800  | 813 x 4   | 20,2                      | 30,3         | 11,0                      | 13,5         |
| 900  | 914 x 4   | 21,9                      | 32,1         | 12,3                      | 15,0         |
| 1000 | 1016 x 5  | 23,5                      | 33,8         | 12,4                      | 15,2         |
| 1200 | 1220 x 6,3  | 26,5                      | 37,1         | 13,8                      | 16,9         |

Kuva 4. Taulukko eristämättömien ruostumattomien teräsputkien suositelluista kannakeväleistä (PSK 7304 2018, 6.)

Lujitemuoviputkien ja lujitemuovilla vahvistettujen kestumuoviputkien kannakeväliä suunniteltaessa suositellaan valitsemaan kannakeväli seuraavan suuremman nimellispaineluokan suosituksista, jotta päästään kohtuullisiin kannakeväleihin. Vaihtoehtona

on valmistajan osoitus, että kannakoinnista tulevat voimat on huomioitu aksiaalisella lujitteen suuntauksella. (PSK 7370 2019, 4.)

Lujite- ja kestumuoviputkistojen kannakevälisuositukset on standardissa esitetty käyrästeinä eri paineluokkien putkille ottaen huomioon putken sisällön. Diagrammi on hieman epäselvä ja jättää jonkin verran varaa tulkinnoille. Kannakevälin valintaa on helpotettu joidenkin muoviputkiston valmistajien esitteistä tai kotisivuilta löytyvillä taulukoilla. Seuraavassa esimerkki PRP-Plastic:n kotisivuilla esitetystä taulukosta. Suurimpien putkikokojen kannakevälit on tutkittava erikseen.

KM / LM -putki ei tarvitse jatkuvaa kannaketta, jolloin kannakevälejä voidaan pienentää. Taulukossa on esitetty kannakevälit PRP-Plastic Oy:n valmistamille KM / LM – putkille.

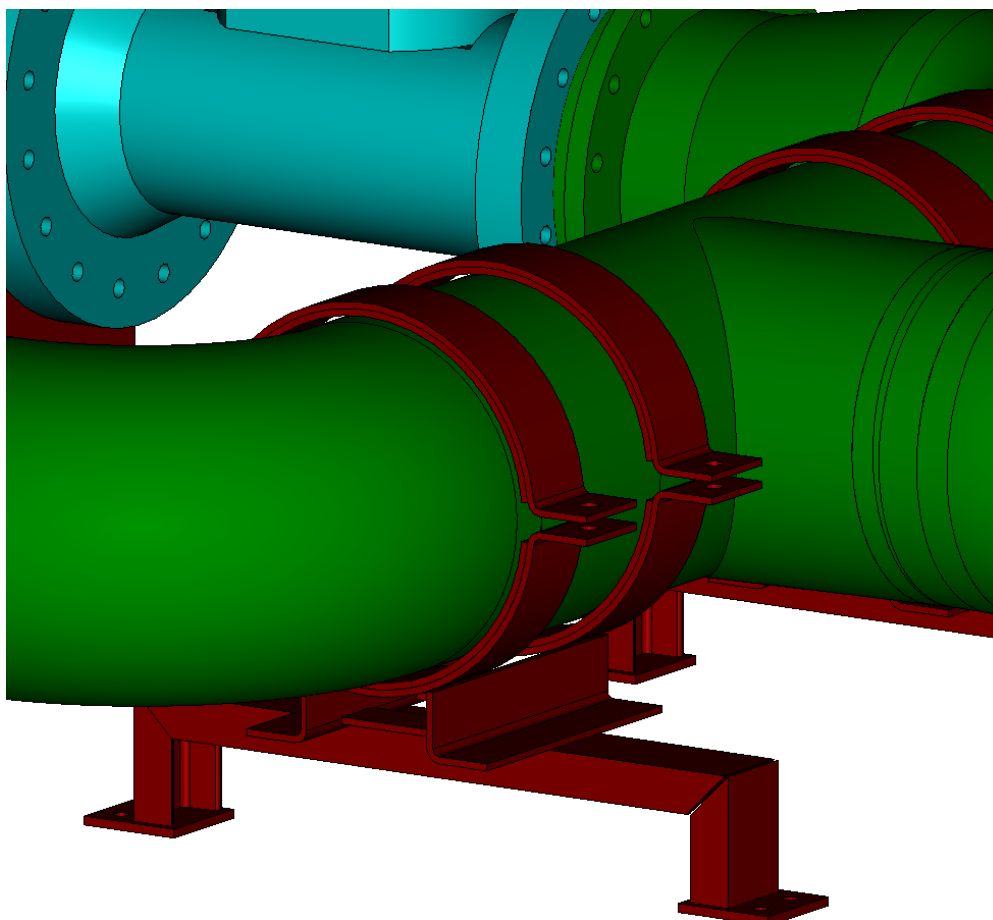
| DN  | KANNAKEVÄLIm |
|-----|--------------|
| 20  | 2,5          |
| 25  | 2,5          |
| 32  | 2,5          |
| 40  | 2,5          |
| 50  | 3,0          |
| 65  | 3,0          |
| 80  | 3,0          |
| 100 | 3,0          |
| 125 | 3,3          |
| 150 | 3,5          |
| 200 | 4,0          |
| 250 | 4,5          |
| 300 | 5,0          |

Kuva 5. Esimerkki valmistajan antamasta kannakeväli-taulukosta. (PRP-Plasticin www-sivut 2021.)

## 6.3 Kannaketyypit

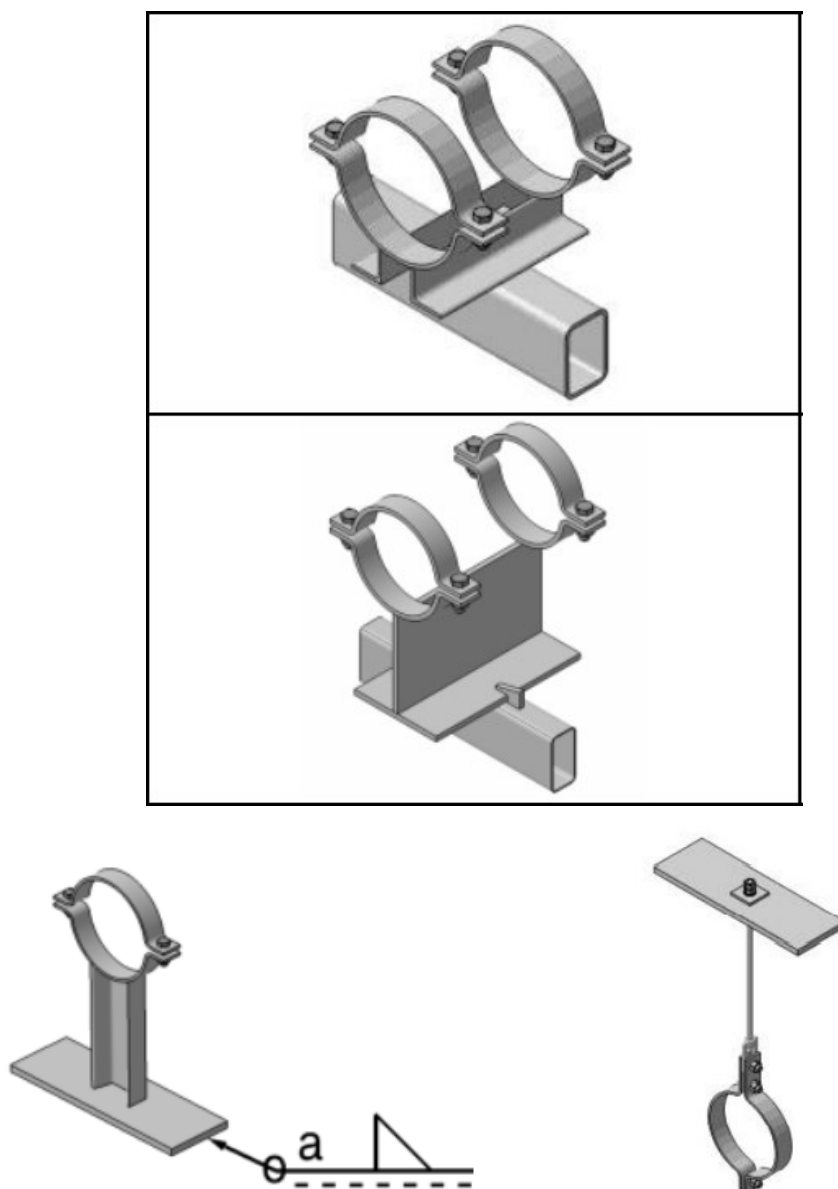
### 6.3.1 Primääriskannaketyyppejä

Teollisuusputkistoissa yleisin kannaketyyppi on liukukannake. Se on tyypillinen kannake vaakaputkelle. Periaatteena on, että liukujalka kykenee liikkumaan sekundäärikannakkeen tai muun tukirakenteen päällä. Kiintopisteenä kannake toimii, kun se kiinnitetään sekundäärikannakkeeseen ja käytetään estopaloja. (PSK 7302 2018, 14-15.) Kiintopisteen tehtävänä on putken liikkeen estäminen tukemissuuntiin. Pienemmillä, alle DN 150-kokoisilla, putkilla pelkkä putkisangan kitka riittää lukitsemaan liukujalan. Isommilla putkilla lukitus varmistetaan hitsattavilla lukituspaloilla. (Kuusijärvi 2018.) Jos samaan kannakkeeseen lisätään toinen liukujalka putken vastakkaiselle puolelle, muodostuu siitä ohjauskannake. Ohjauspisteessä voidaan putken liikettä rajoittaa yhteen tai kahteen suuntaan. (PSK 7302 2018, 15.)



Kuva 6. Kuvakaappaus 3D-mallissa olevasta liukukannakkeesta.

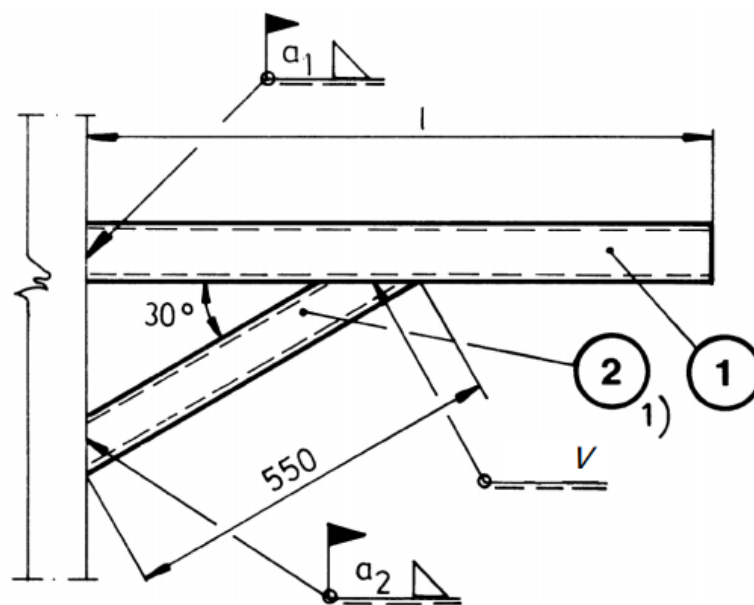
Toinen paljon käytetty primäärikannaketyyppi vastaa toimintaperiaatteeltaan liuku-kannaketta, mutta alapuolen sijaan tukipiste sijaitsee yläpuolella. Tällaista kutsutaan riippukannakkeeksi. Putket reititetään usein etäälle tukirakenteista ja sisätiloissa riippukannake pystytäänkin roikottamaan korkealtakin jostain rakenteesta ripustustangolla. Muihin kannaketyyppeihin verrattuna sekundäärikannakkeita tarvitaan vähemmän, koska riippukannake yleisesti kiinnitetään runkorakenteisiin. (PSK 7302 2018, 16.) Kannatusmuotona se on siis edullinen vaihtoehto, mutta putkesta tulee herkkäliikkeen eikä se estä putkiston värähtelyjä (Kuusijärvi 2018).



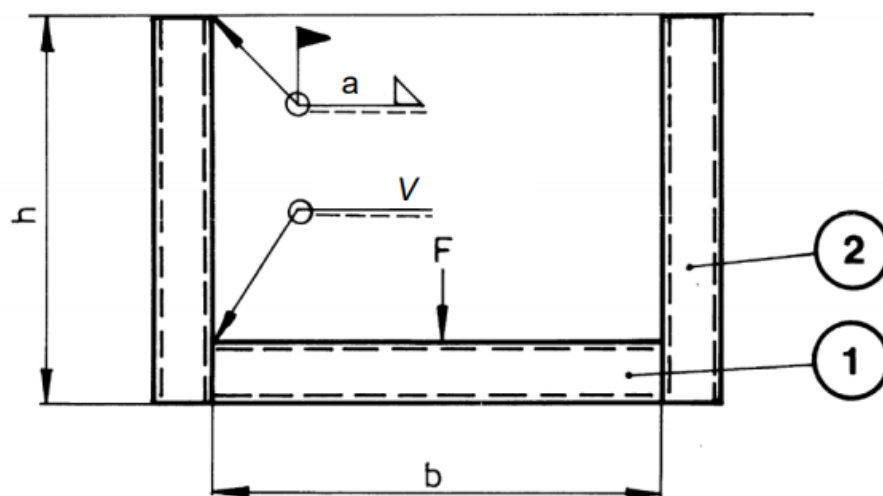
Kuva 7. PSK:n mukaisia primäärikannakkeita (PSK 7303 2018, 2-3.)

### 6.3.2 Sekundäärikannaketyypit

Seiniin ja pilareihin tai muihin rakenteisiin kiinnitettäviä portti- ja ulokekannattimia kutsutaan sekundäärikannattimiksi. Riippu- ja liukukannakkeiden kanssa voidaan käyttää ulokekannakkeita, kun taas porttikannakkeita käytetään usein vain liukukannakkeiden kanssa. Sekundäärikannakkeita voidaan suunnitella kiinnitettäviksi jo suunnittelun alkuvaiheessa layout-piirustuksissa helposti löytyviin putkisiltoihin, tasoihin, seiniin ja pilareihin. Muita yleisiä kiinnityspaikkoja ovat porrastornit, hoitotasot ja -sillat, säiliöt.



Kuva 8. Ulokekannake (PSK 7390 2018, 4.)



Kuva 9. Porttikannake (PSK 7391 2018, 4.)



Sekundäärikannakkeita kiinnitettäessä rakenteisiin on huomioitava rakenteen tai rakennuksen kuormankantokyky ja värähtelyjen vaikutus niihin. Yleinen käytäntö on, että sekundäärikannake liitetään rakenteisiin ruuvikiinnityksille tai hitsaamalla. Betonirakenteisiin tehtävät ruuvikiinnitykset toteutetaan pääsääntöisesti kemiallisilla ankkureilla tai kiila-ankkureilla. Kiila-ankkuria suositellaan käytettäväksi, jos liitokseen joudutaan kohdistamaan paljon vetorasitusta. Myös lyöntiankkureita voidaan käyttää, jos kiinnityskohtaan kohdistuu pääosin leikkausrasitusta. Kannattimen kiinnitystä hitsaamalla on suosittava, koska putkiston liike voi aiheuttaa suuria momenteja kiinnityskohdissa. (Kuusijärvi 2018.)

Standardirakenteita sekundäärikannattimille on esitelty standardeissa PSK 7390 ja 7391, joita on mahdollista hyödyntää sellaisenaan tai sovellettuna. Momentit ja sallitut kuormat on laskettu valmiiksi näille rakenteille.

#### 6.4 Huomioitavat kuormat

Kannatukseen kohdistuvista kuormituksista tärkeimpänä voidaan pitää putken omaa painoa sisältöineen. Putken jousto-ominaisuuksista ja liikkeistä johtuvat kuormitukset kohdistuvat kiinto- ja ohjauspisteisiin. Laskentaohjelmien avulla saadaan selvitettyä kannatuskohtiin kohdistuvat voimat, etenkin monimutkaisissa ja -haaraisissa putkistoissa. Kannatuskohdassa putken liikettä vastustava kitka on huomioitava laskettaessa kannakkeisiin kohdistuvia kuormia. Kannakesuunnittelussa on otettava huomioon myös muut ulkoiset kuormat kuten lumi- ja tuulikuormat. (Kuusijärvi 2018.)

Suuria putkistokuormia on yleensä mahdollista hallita kannakeväleillä, jos kuormat kohdistuvat kantaviin rakenteisiin tai rakennuksiin. Kuitenkin useasti putkistokannakkeet kiinnittyvät esimerkiksi korkeisiin säiliöihin, jolloin säiliön vahingoittumisen estämiseksi on kannakevoimien suuruutta rajoitettava. (PSK 7304 2018, 10.)

## 7 VIRTAUSTEKNINEN MITOITUS

### 7.1 Yleistä

Putkistosuunnittelun yhtenä osana ovat virtauslaskelmat, jotka jakautuvat usein alustaviin laskelmiin ja lopullisiin laskelmiin. Lopulliset laskelmat tehdään putkiston sijoitussuunnittelun yhteydessä. Yleisesti laitosten putkistoja mitoitettaessa pyritään optimoimaan taloudellisuus vertailemalla investointi- ja käyttökustannuksia.

Alustava mitoituslaskelma saadaan tehtyä määräämällä virtausnopeudeksi kirjallisuudessa annetut ohjearvot. Alustava mitoitus voi riittää lopulliseksi laskelmaksi, jos kohde koetaan merkitykseltään vähäiseksi. Lopullista mitoitusta tehdessä pitää laskea virtauksen painehäviö, jotta saadaan varmistettua, onko häviö hyväksyttävissä prosessin kannalta. Samalla voidaan mitoittaa myös pumput. Joskus putkiston lujuusteknisessä mitoituksessa saattaa ratkaisevana tekijänä olla virtaushäviöstä johtuva paine. (Kallio & Latvala 2018.)

PSK 2401 antaa ohjeellisia virtausnopeuksia eri aineille taulukoituina. Tarkempaa mitoitusta varten on painehäviölaskelmat tehtävä tapauskohtaisesti. Esitetyt virtausnopeuksien arvot ovat tavalliseen laskentatyöhön tarkoitettuja ohjeellisia arvoja. Ne on koottu alan kirjallisuudesta tai kokemusten kautta. Ohjearvot ovat pumpun painepuolen arvoja, ellei toisin ole mainittu. NPSH-vaatimusten (Net Positive Suction Head) takia imupuolen ohjearvot ovat 50-70% painepuolen arvoista. (PSK 2401 2009, 2.)

### 7.2 Virtausnopeus

Keskimääräinen virtausnopeus saadaan laskettua yhtälöstä  $v = \frac{4q_v}{\pi d^2}$ , missä virtausnopeus on  $v$  [m/s], tilavuusvirta on  $q_v$  [ $m^3/s$ ] ja putken sisähalkaisija on  $d$  [m] (PSK 2401 2009, 1).

Aineen tiheys on otettu huomioon tarkemmassa virtausnopeuden laskentakaavassa  $v = \frac{q_v}{A} = \frac{4q_m}{\pi d^2 \rho}$ , missä  $q_m$  on massavirta [kg/s],  $\rho$  on virtaavan aineen tiheys [kg/m<sup>3</sup>] ja  $A$  on putken poikkipinta-ala [m<sup>2</sup>].

Muita putkiston mitoituksessa käytettäviä perusyhtälöitä ovat Bernoullin yhtälö (energiayhtälö), jatkuvuusyhtälö ja impulssiyhtälö.

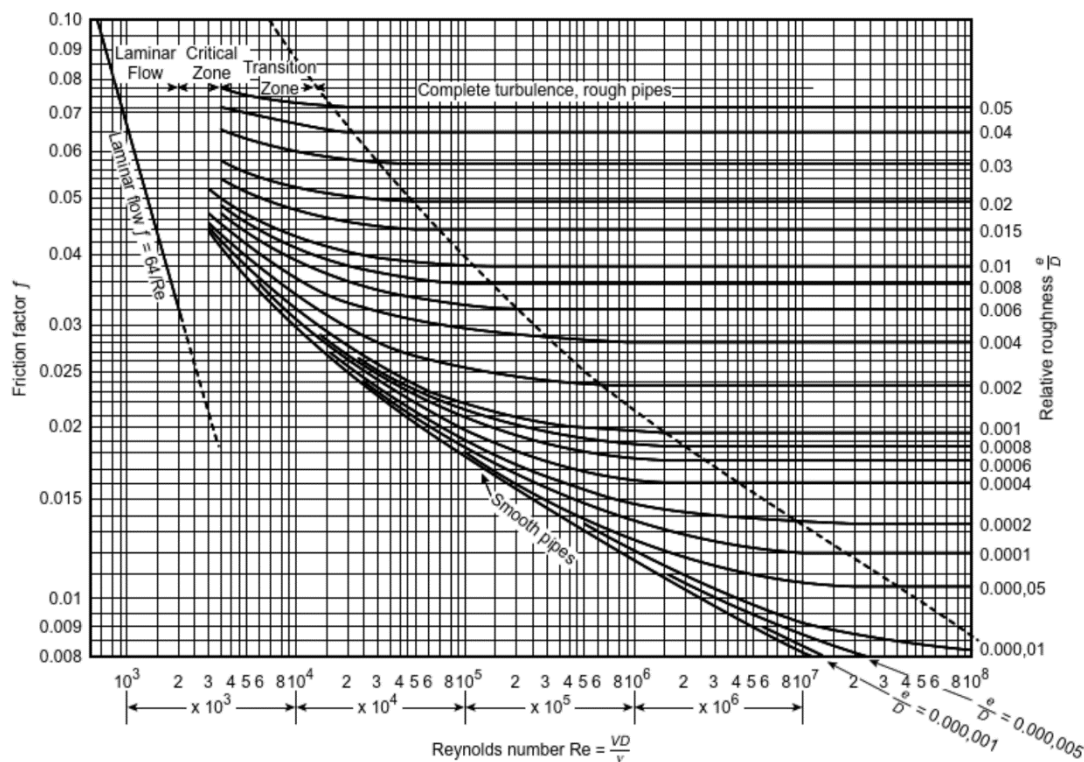
Esimerkkejä virtausnopeuksien valintaan vaikuttavista seikoista ovat kavitaatio, kuluminen, eroosio, värinä, laskeumat ja erottuminen, syöpyminen, tilankäyttö, vaihdettavuus ja paineiskujen dynaamiset voimat. Virtausnopeuksia määriteltäessä on muistettava myös laitteiden asettamat erityisvaatimukset ja osakuormat. Nestevirtauksessa virtausnopeus ei muutu painehäviöiden takia, koska tiheys on vakio. Höyry- ja kaasuputkissa virtausnopeus ja tiheys ovat riippuvaisia lämpötilasta ja paineesta. (Kallio & Latvala 2018.)

### 7.3 Virtaustyyppit ja painehäviö

Putkivirtausta esiintyy kahta erilaista päätyyppiä, laminaarinen ja turbulenttinen virtaus. Virtaus on laminaarinen eli kerroksittainen Reynoldsin luvun ollessa pienempi tai yhtä suuri kuin 2000. Tällöin virtausviivat eivät sekoitu ja pyörteitä ei muodostu. Kun Reynoldsin luku ylittää raja-arvon 2500, virtaus on pyörteistä eli turbulenttista. Näin ollen pyörteiden ja jatkuvan sekoittumisen takia virtausviivoja ei esiinny. Väliin jää siirtymäalue, jossa virtaus saattaa vaihdella tyyppien välillä. (Inkinen & Tuohi 1999, 336.) Virtausta pidetään kuitenkin aina laminaarisena kriittisen rajan ( $Re_{krit}=2320$ ) alapuolella. Reynoldsin luku  $Re = \frac{\rho v d}{\eta} = \frac{v d}{\nu}$ , missä  $\nu$  = kinemaattinen viskositeetti [m<sup>2</sup>/s] ja  $\eta$  = dynaaminen viskositeetti [Pa\*s]. Kaasujen viskositeetti riippuu lämpötilasta ja paineesta, kun taas nesteiden viskositeettiin vaikuttaa vain lämpötila.

Kitkakertoimet saadaan selvitettyä tarkastelemalla Moodyn käyrästä tai laskemalla. Laminaarisessa virtauksessa kitkakerroin ( $\xi$ ) on riippuvainen vain Reynoldsin luvusta,  $\xi = \frac{64}{Re}$ . Putken seinämän suhteellinen karheus on lisäksi otettava huomioon, jos

kyseessä on turbulenttinen virtaus,  $\xi^{-\frac{1}{2}} = -2 \lg \left( 2,5l * \xi^{\frac{1}{2}} + \frac{k}{3,72d} \right)$ , missä  $k$  on putken karheus. (Suonio & Kallio 2018.)



Kuva 10. Moodyn käyrästä. (Menon 2015, 199.)

Paikallisvastukset ovat putkistossa olevia epäjatkuuuskohtia, jotka lisäävät virtauksen pyörteisyyttä ja samalla painehäviötä. Useamman peräkkäisen paikallisvastuksen vaikutus on suurempi kuin osavastuksien summa, kuten peräkkäiset venttiilit. Tätä ei kuitenkaan tarkasteluissa yleisesti oteta huomioon. Yleisiä epäjatkuuuskohtia putkistossa ovat venttiilit, T-haarat, käyrät, sihdit, virtausmittarit ja putkien laajennukset. Venttiilien vastuskerroin riippuu sen tyypistä ja virtausaukon supistuksesta. Tyypillisiä paikallisvastuskertoimia on löydettävissä kirjallisuudesta tai valmistajien esitteistä. Erikoiset tapaukset on mahdollista laskea käyttämällä eri kirjallisuuslähteitä. (Kallio & Latvala 2018.)

Suoran putken painehäviö tulee kaavasta  $\Delta p = \xi * \frac{l}{d} * \rho * \frac{v^2}{2}$ , missä  $\xi$  on kitkakerroin ja  $l$  on putken pituus [m]. Painehäviö saadaan ilmoitettua myös vastuskorkeutena  $h_f = \frac{\Delta p}{\rho g}$ , missä  $h_f$  on painehäviö ilmoitettuna nestepatsaana [m].

Kertavastuksen painehäviö saadaan yleisesti laskettu yhtälöstä  $\Delta p = \zeta * \frac{\rho v^2}{2}$ , missä  $\zeta$  on paikallisvastuskerroin. Kitkakertoimen avulla kertavastuksen painehäviö voidaan ilmoittaa myös putken ekvivalenttipituutena [m],  $l_{ekv} = \frac{\zeta d}{\xi}$ .

Kokonaispainehäviö on suoran putken ja paikallisvastusten summa, joka saadaan yhtälöstä  $\Delta p = (\xi * \frac{l}{d} + \sum \zeta) * \frac{\rho v^2}{2}$ .

Paineilmaverkostossa painehäviö voidaan laskea yksinkertaistettua dimensioyhtälöä apuna käyttäen, jos paineenpudotus putkissa on pieni. Tyypillisesti paineilmaverkoissa kompressorin ja kauimmaisen kuluttajan välillä hyväksytään noin 0,1 bar painehäviö. Paineilmaverkon painehäviö voidaan laskea seuraavalla kaavalla

$$\Delta p = 1,6 * 10^{12} * q_v^{1,85} * \frac{l}{d^{5p}}$$

missä

$\Delta p$  on painehäviö [kPa]

$q_v$  on virtausmäärä [ $Nm^3/s$ ]

$p$  on alkupaine [kPa]

$l$  on putken pituus [m], johon sisältyy paikallisvastukset  
(Suonio & Kallio 2018.)

#### 7.4 Pumput

Pumput mitoitetaan vaadittavaa nostokorkeutta ja virtausmäärää varten. Tilavuusvirta tulee mitoittaa prosessin vaatimusten mukaisesti tai hieman ylöspäin pyöristettynä. Mitoituksen tulee olla sitä tarkempi, mitä suurempi pumppu on kyseessä.

Staattisesta ja dynaamisesta osasta muodostuu nostokorkeus, joka lasketaan kaavasta

$$H = \frac{p_{b2}}{\rho g} - \frac{p_{b1}}{\rho g} + h_2 - h_1 + h_{f1} + h_{f2}$$

missä

$H$  on nostokorkeus [m]

$p_{b1}$  on paine imusäiliössä [Pa]

$p_{b2}$  on säiliön poistopuolen paine [Pa]

$h_1$  on staattinen poistokorkeus [m]

$h_2$  on staattinen imukorkeus [m]

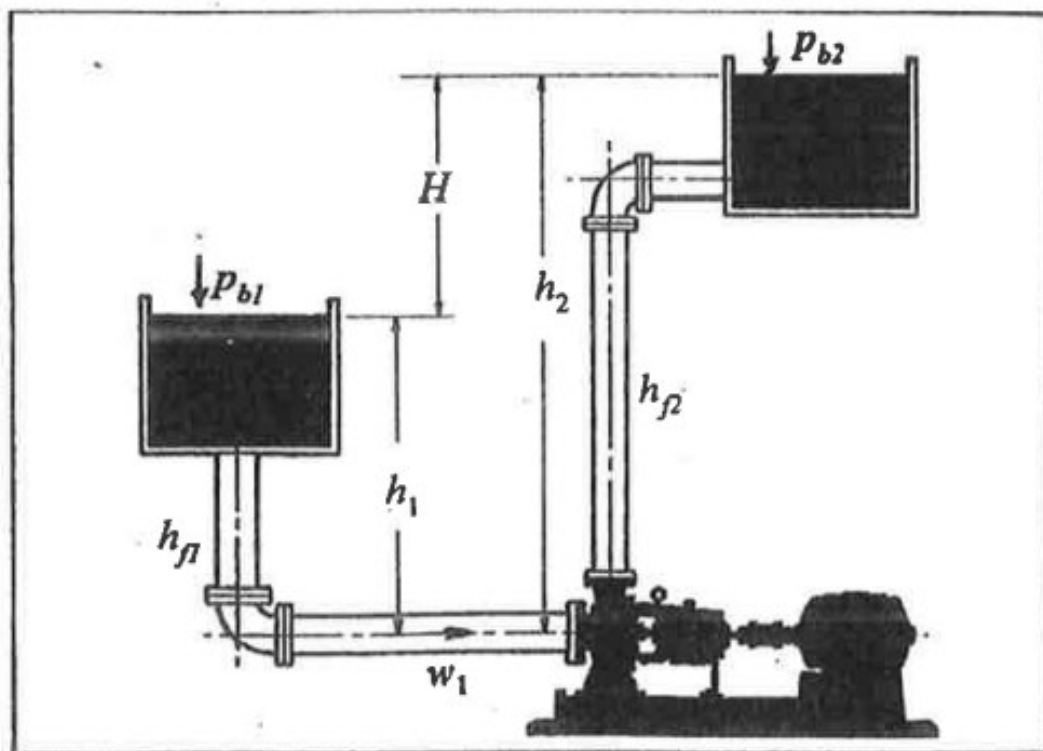
$h_{f1}$  on imupuolen virtaushäviöt [m]

$h_{f2}$  on painepuolen virtaushäviöt [m]

(Suonio & Kallio 2018.)

$NPSH_r$ -nimitystä (Net Positive Suction Head, required) käytetään tarvittavasta painekorkeudesta pumpun imupuolelle. Pumppuvalmistaja ilmoittaa jokaiselle pumpulle tämän minimipaineen, jolla pumpu ei kavitoi. Systemin antama imupuolen painekorkeus on  $NPSH_a$  (Net Positive Suction Head, available). Sen pitää olla aina isompi kuin  $NPSH_r$ . Imupuolen tarvittava painekorkeus voidaan laskea yhtälöstä

$$NPSH_r = h_1 + \frac{p_{b1}}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} - h_{f1} - \frac{p_v}{\rho g}$$
, missä  $v_1$  on imupuolen virtausnopeus [m/s] ja  $p_v$  on pumpattavan nesteen höyrystymispaine [Pa].



Kuva 11. Pumpun mitoituskaavan merkinnät havainnollistettuna.

Mitoituspisteen ohella on putkistoissa ja laitteissa otettava huomioon myös pumpun suurin nostokorkeus, joka esimerkiksi keskipakopumpuilla on yleisesti 30-50% suurempi kuin mitoituspisteen nostokorkeus. Muita huomioitavia asioita ovat muun muassa nostokorkeus, jonka systeemin täyttö vaatii sekä systeemin minimikierto, joka on yleensä noin 15% normaalista.

Putkiston investointikustannuksia ja painehäviön aiheuttamia kustannuksia pitää vertailla taloudellisessa putkihalkaisijan mitoituksessa. Yleisesti painehäviöstä aiheutuneet kustannukset sisällytetään pumppauskustannuksiin. Optimaalisena putkihalkaisijana pidetään sitä, jolla kuoletusajalla ja valitulla korolla saadaan halvin investointi- ja käyttökustannusten yhteissumma. Pumpulta vaadittava teho voidaan laskea yhtälöstä  $P = \frac{pghqv}{\eta}$ , missä P on tehontarve [W] ja  $\eta$  on pumpulle annettu höyrysuhde. (Suonio & Kallio 2018.)

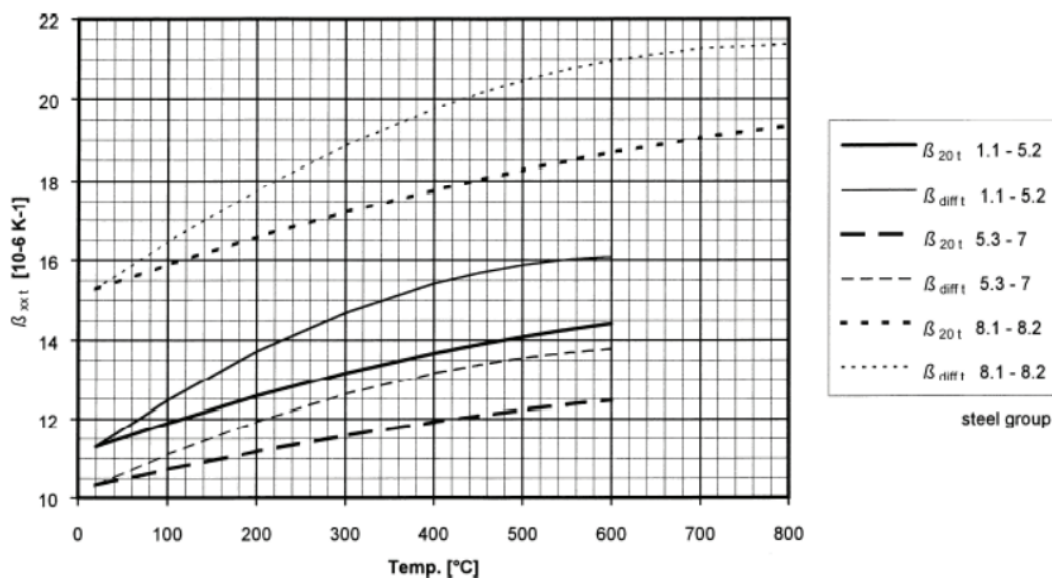
## 7.5 Paineiskut

Virtausnopeuden nopea muutos aiheuttaa paineiskun nesteputkissa. Pumpun käynnistyminen tai äkillinen pysähtyminen, venttiilin nopea sulkeutuminen tai paineiskuilta suojaavien laitteiden vääränlainen toiminta voivat aiheuttaa paineiskuja. Se heijastuu putkistossa äänennopeudella edestakaisin. Paineiskut vaimenevat muodonmuutoksen ja kitkan vaikutuksesta. Paineiskuihin voidaan vaikuttaa esimerkiksi lisäämällä putkistoon vaimennettuja takaiskuventtiileitä, putken paineluokan valinnalla, venttiilien sulkemisnopeudella tai pumppujen ohitusputkilla. (Kallio & Latvala 2018.)

## 8 LÄMPÖTILAEROJEN VAIKUTUKSET

### 8.1 Yleistä

Lämpötilan huomiointi on tärkeässä roolissa putkistosuunnittelussa. Se vaikuttaa kannakointiin, putkiston mitoitukseen ja korroosionopeuteen. Sillä on vaikutusta myös käytettävän putkimateriaalin fysikaalisiin ominaisuuksiin. Lämpötilan kasvaessa yleisimmin käytössä olevien materiaalien lujuus vähenee. Yli +20°C lämpötila pienentää kimmokerrointa hitaasti, kun taas saman rajan alle mentäessä kimmokerroin kasvaa suurin piirtein samaa vauhtia. Lämpötilan lasku alle nollan ei vaikuta hiiliterästen lujuuteen, mutta austeniittisilla teräksillä alhaiset lämpötilat kasvattavat lujuutta. Materiaalien lämpöpitenemiskerroin  $\alpha$  kasvaa hitaasti lämpötilan noustessa. (Joronen 2018b.)



Kuva G.3-2 Lineaarisen lämpölaajenemisen kerroin  $\beta_t$

Kuva 12. Standardin SFS-EN 13480-3 liitteessä G on esitetty käyrät materiaaliryhmille (SFS-EN 13480-3 2017, 228.)

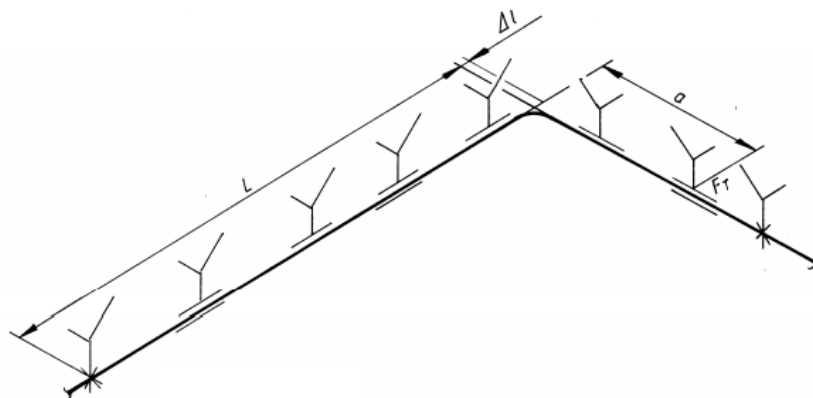
Putken taivutusjäykkyyttä laskettaessa käytetään yleistä kaavaa  $k = C \frac{EI}{L^3}$ , missä C on tuentatavasta riippuva vakio. Kaavasta voi nähdä jäykkyyden olevan suoraan verrannollinen kimmokertoimen suuruuteen. Näin ollen lämpötilan noustessa koko putkiston



jäykkyys pienenee, minkä takia taipuma ja muut muodonmuutokset kasvavat. (Joronen 2018b.)

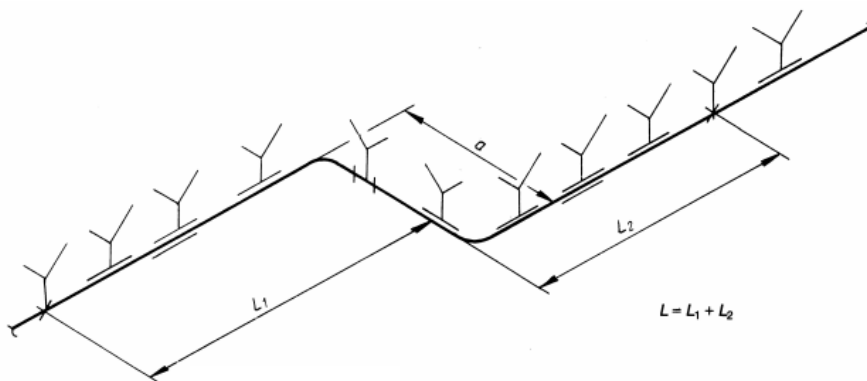
Putkiston eliniän aikana putkistossa virtaavan aineen ja ympäröivien tilojen lämpötilat vaihtelevat. Usein asennuslämpötila on putken käyttölämpötilaa matalampi, jonka takia putkeen aiheutuu lämpöpitenemistä. Toisaalta putkiston käyttölämpötilan laskiessa asennuslämpötilan alle putki lyhenee. Kannakesuunnittelun onnistumisen kannalta on tärkeää tietää riittävän tarkka lämpöliikkeen suuruus oikeissa kohdissa. (PSK 7302 2018, 4.)

Eriyisesti korkeapaine- ja prosessiputkistojen mekaanisessa suunnittelussa tärkeimpänä tekijänä on lämpölaajenemisen vaikutus putkistoon. Lämpölaajeneminen saa aikaan putkistossa isoja liikkeitä ja voimia. Jännitysten pienentämiseksi on laajeneminen yritettävä ohjata aina putken taivutukseksi. Voimia ja jännityksiä tulee putkistoon vain, jos lämpölaajenemista yritetään rajoittaa tai estää. Putkistoon suunnitellaan jous-tolenkkejä lämpöliikkeiden takia, jotta putken jännitykset kannakkeissa ja laitteissa pystytään pitämään sallituissa rajoissa. Ohjausten ja kiintopisteiden käyttäminen putkistossa on edellytyksenä lämpöliikkeiden hallinnalle. Niiden avulla voidaan liike ohjata haluttuun suuntaan eli putkivarsien poikittaiseksi taivutukseksi. (Joronen 2018b.)



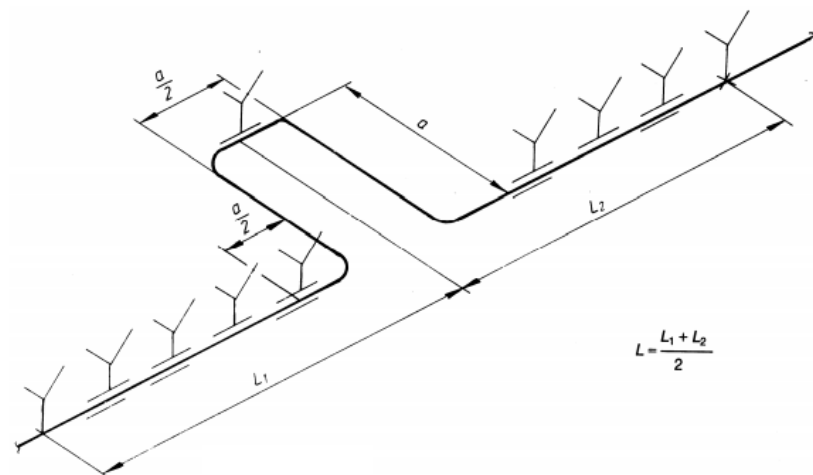
Kuva 7 L-tasaaja

Figure 7 'L' offset



Kuva 8 Z-tasaaja

Figure 8 'Z' offset



Kuva 9 U-tasaaja

Figure 9 'U' offset

Kuva 13. Erilaisilla tasaajilla on mahdollista hallita joustoja (PSK 7370 2019, 10.)

## 9 PUTKISTOSUUNNITTELUN DOKUMENTIT

### 9.1 PI-kaavio

Viranomaisia, suunnittelua, kunnossapitoa ja käyttöä varten tehtävän putki- ja instrumenttikaavion (PI-kaavio) esittää kaaviomuodossa prosessin tietosisällön yksityiskohteisesti. Siitä saa perustiedot putki-, instrumentointi-, asennus- ja sähkösuunnitelmien laatimiseen ja se esittää putkistoon kuuluvien osien sijainnin suhteessa toisiinsa. Se on osa prosessin käyttöohjetta ja helpottaa prosessiin perehtymisessä niin suunnittelijaa kuin käytön ja kunnossapidonkin henkilöstöä. Kaavio tarkentaa laitetietoja ja toimii pohjana laitteiden jatkosuunnittelulle. Sitä voi käyttää apuna kustannusarvioiden teossa. (PSK 3603 2012, 3-4.) Putkistosuunnittelun näkökulmasta tarkasteltuna tärkeimpien, PI-kaaviosta löytyvien, putkilinjojen ja venttiilien tarkemmat tiedot on esitetty putkilinja- ja venttiililuetteloissa.

Putkiston grafiikan vähimmäisvaatimuksena ovat suhteellinen sijainti ja piirrosmerkki. Putkiston esityksessä on suositeltavaa käyttää tunnusta, joka sisältää seuraavat attribuuttitiedot: linjanumero, putkiluokka, nimelliskoko, prosessiaine, eristystarve ja saattotyyppi sekä muita tarvittavia prosessiarvoja. (PSK 3602 2008, 9.)

### 9.2 Piirustukset

#### 9.2.1 Isometrinen piirustus

Isometrinen piirustus on yksinkertainen työpiirustus, jota on helppo tarkastella. Siinä on kuvattu putkisto ja sen varusteet yläviistosta kolmiulotteisen vaikutelman aikaan saamiseksi. (PSK 5803 2003, 2.) Isometri toimii apuna putkilinjan materiaali- ja laitehankinnoissa, valmistuksessa ja asennuksessa. Putkiston pienten osien erottumisen helpottamiseksi, ei isometrissä piirustuksessa yleisesti käytetä mittakaavaa. Osaluettelossa esitetään putkilinjan valmistuksen sekä asennuksen näkökulmasta tärkeät putkiston osat, niiden materiaalit ja määrät. Putkilinjan sijainnin, ympäristön ja isometrin kokonaisuuden tulkinnan apuna voidaan käyttää kolmiulotteista tietokonemallia tai siitä otettuja näyttökuvia. (Pere 2012, 32.)

PSK 5803 määrittää isometrisessä piirustuksessa esitettäviä asioita:

- putkiston sijainti sopivista mitoituskohdista mitoitettuna
- laiteliitännät mitoitettuina
- putkilinjan varusteet mitoituksineen
- tunnistetiedot putkiston osille
- vietot
- virtaussuunnat
- varusteiden asennot
- toimitusrajat
- sijaintimitat ja tunnukset kannakkeille
- hitsaustiedot
- pintakäsittely ja eristys
- viranomaisvaatimukset
- tarkastusmenetelmät ja -vaatimukset
- putkiluokka
- liittyvien putkilinjojen tunnukset
- koeponnistuspaine ja väliaine
- numerot liittyvistä luetteloista ja piirustuksista

Isometrejä tehdään yleensä yksi putkilinjaa kohden ja niissä on mainittava erikseen sovitut asiat sekä tarpeen vaatiessa yksityiskohtaisia lisäkuvantoja.

(PSK 580 2003, 2-3.)

Isometrinen piirustus luodaan suoraan 3D-mallista, joka sisältää suurimman osan tarvittavista tiedoista, mikä nopeuttaa piirustuksen tekoa ja ehkäisee virheen mahdollisuutta. Erikseen piirustukseen lisättäviä kohtia ovat huomautukset, lisäkuvannot, tarkastustiedot ja liittyvät luettelot sekä piirustukset. Liittyviä piirustuksia voivat olla kannakepiirustukset ja detaljipiirustukset. Yksinkertaisissa tapauksissa erillistä kannakepiirustusta ei tarvitse tehdä vaan kannaketyypin ja paikan merkitseminen isometriin tai putkiston sijoituspiirustukseen riittää. Normaalina käytäntönä on tehdä detaljipiirustus kaikista standardoimattomista osista. (Hämäläinen 2018b.)

Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös painelaitteista (938/1999) vaatii valmistuspiirustusten olemassaolon I-III-luokkien mukaisesti valmistetuille putkistoille. Jos

putkistossa virtaava aine on luokiteltu vaaralliseksi kemikaaliksi, vaatii valtioneuvoston asetus vaarallisten kemikaalien teollisen käsittelyn ja varastoinnin turvallisuusvaatimuksista (856/2012) myös tuottamaan valmistuspiirustukset.

### 9.2.2 Putkireittipiirustus

Putkiston kustannusarvion laadinnan apuna käytettävää yksinkertaistettua esitystä pääputkireiteistä kutsutaan putkireittipiirustukseksi tai putkilayout-piirustukseksi. Sitä voidaan hyödyntää putkiston tilantarpeen arvioinnissa, jossa huomioitavaa on kokonaisvaltainen putkiston tilavaatimus sisältäen putkistovarusteet, eristys ja kannakkeet. Reittipiirustus toimii lähtötietona toteutussuunnittelulle. (PSK 5801 2003, 1.)

### 9.2.3 Taso- ja leikkauspiirustus

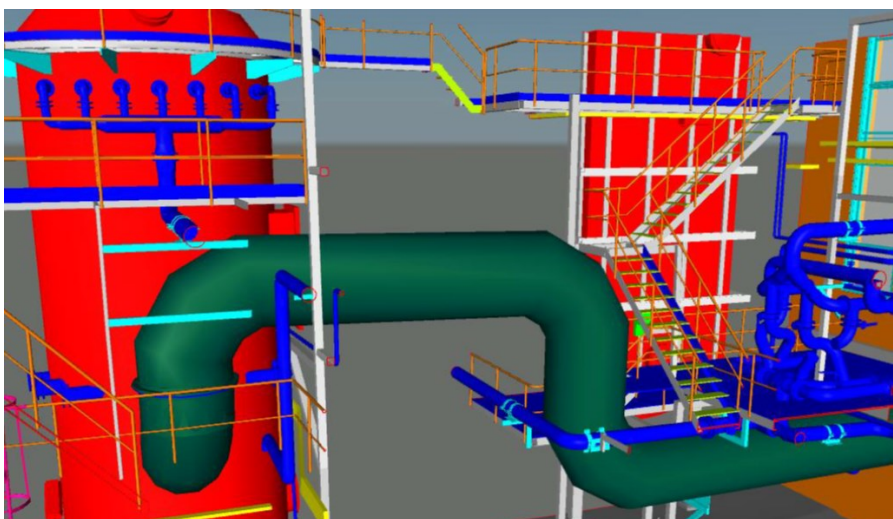
Putkiston sijoittumista ympäröiviin laitteisiin ja rakenteisiin suhteutettuna esitetään selkeämmin taso- ja leikkauspiirustuksissa. Leikkauspiirustus selventää tietyn putkiston osuuden paikkaa pystysuunnassa, kun taas tasopiirustus esittää kohdan yläkuvantona. Tarvittaessa havainnollistamisen helpottamiseksi voi piirustuksia selkeyttää poistamalla läheiset putket tai rakenteet näkyvistä. Leikkauspiirustusten kuvannot ovat suunnattu usein edestä tai sivulta, esimerkiksi kannakkeen kohdalta, jolloin se on paremmin ymmärrettävissä. (Pere 2012, 62.) Taso- ja leikkauspiirustuksissa yleisesti esitetään putket varusteineen ja yhteineen, korkotiedot, putkilinja- ja laitetunnukset, eristykset sekä ympäröivät rakenteet. (PSK 5802 2003, 3).

### 9.2.4 Muita piirustuksia ja dokumentteja

Kokonaisuuksien havainnoinnin helpottamiseksi voidaan putkistosta tarvittaessa tehdä piirustus, missä putkilinja on esitetty aksonometrisessä kuvannossa. Aksonometrisellä kuvannolla pyritään samaan aikaan hyvä vaikutelma syvyydestä kohteessa. Siinä esiintyy viivoja kolmeen suuntaan: pystyyn, vakaan ja viivoja, jotka ovat 45° kulmassa.

Putkistoon voidaan syystä tai toisesta joutua asennuksen aikana tekemään muokkauksia. Tällöin lakien ja asetusten vaatimusten täyttämiseksi ja vaadittavien dokumenttien aikaan saamiseksi on tehtävä niin kutsutut punakynäpiirustukset eli as-built-piirustukset, jotka kuvaavat toteutunutta rakennetta. Samalla saadaan 3D-malli päivitettyksi mahdollisimman lähelle todellista tilaa, joka saattaa estää mahdolliset virheet, kun samaan tilaan suunnitellaan seuraavia putkilinjoja tai teräsrakenteita.

Purkukuvia voidaan tuottaa purettavasta putkistosta. Purkukuvissa käytetään apuna mallin katseluohjelmaa, missä voi olla esiteltynä myös uusittu putkireitti purettavan ohessa. Pääasiallisesti purkukuvia tehdään helpottamaan asiakkaan ja urakoitsijan havaintoja purettavasta kohteesta, ja näin ne toimivat myös apuna kustannusarvion teossa. Purkukuvasta on tarkoitus nähdä nopeasti putkiston purettavat osat tai uudelleen reititetyt osuudet sekä niiden ympäristö, joten kuvakulmat ja tarvittava sisältö tulee miettiä tarkkaan selkeyden varmistamiseksi. Kuvassa tulee näkyä ympäröivät rakennukset ja rakenteet, lähellä olevat laitteet sekä päämittoja ja korkomerkitöjä. Kuvan hahmottamisen helpottamiseksi on käytettävä selvästi toisistaan erotettavia värejä. Purkukuvat voidaan koota yhteen tiedostoon valokuvien kanssa.



Kuva 14. Esimerkki katseluohjelmassa esitettävästä purkukuvasta.

## 10 SUUNNITTELUN VAIHEET

### 10.1 Lähtötiedot

Putkistosuunnittelun toteuttamisen perustana olevia, suunnitteluun vaadittavia dokumentteja kutsutaan lähtötiedoiksi. Suurteollisuuspuistossa putkistosuunnittelun lähtötietoja ovat PI-kaavio, laitetiedot sekä putkilinja- ja venttiililuettelot.

Tärkeimpänä lähtötietona putkistosuunnittelun kannalta toimii PI-kaavio. Katselmoimalla suunnittelukohde saadaan samalla varmistettua, että PI-kaavio on päivitetty ja vastaa nykyistä toteutusta. PI-kaavio yhdessä työmaakatselmoinnin kanssa toimivat hyvinä välineinä suunnittelijan ja muiden osapuolien perehtymiselle kohteeseen.

Suurteollisuuspuiston putkistosuunnittelun lähtötietoina tarvitaan myös putkilinja- ja venttiililuettelot. Luetteloihin tulee olla dokumentoitu PI-kaavioissa esitetyt putkistot ja venttiilit tunnuksineen. Luettelot ja PI-kaavio saattavat olla putkistosuunnittelun alkaessa vielä keskeneräisiä tai niihin saattaa suunnittelun edetessä tulla muutoksia. Niiden päivittäminen kuuluu suunnittelijan tehtäviin. Muutoksia voivat aiheuttaa esimerkiksi venttiilien saatavuus tai hinta.

Venttiililuettelon merkinnät:

- linjanumero
- koko
- paineluokka
- linjatunnus
- virtaava aine
- suunnittelulämpötila ja -paine
- suunnitellut pH-arvot
- venttiilin tyyppi
- valmistaja ja tyyppi numero
- rungon, tiivisteiden ja kara materiaalitiedot
- laipan tyyppi
- liittyvän kaavion numero

Putkilinjaluettelon merkinnät:

- linjanumero
- liittyvän kaavion numero
- virtaava aine
- linjan selvitys mistä – mihin
- koko
- suunnittelulämpötila ja -paine
- käyttölämpötila ja -paine
- materiaali
- putkiluokka
- eristystiedot
- putkilinjatunnus

Laitetiedoista selviää instrumenttien asettamat vaatimukset putkistolle. Niitä ovat esimerkiksi tiedot putkiston ja laitteen välisistä liitospinnoista ja kohdassa 10.3.4. esitelty mahdolliset varusteiden vaatimukset sijoituksen suhteen.

## 10.2 Suunnittelun aloitus

### 10.2.1 Alkusuunnittelukatselmus (Aloituspalaveri):

Suunnittelun lähtökohtien valinnan jälkeen pidetään lähtötietoja tarkentava alkusuunnittelukatselmus, jonka sisältöön kuuluu:

- asiakkaan tuotteelle antamat odotukset
- tuotteen määrittäminen sekä sen toiminnot
- vaatimusten priorisointi
- tarpeellisten dokumenttien tarkastaminen
- putkistosuunnittelussa hyödynnettävät standardit
- mahdollinen lainsäädännön vaikutus suunnitteluun
- projektin suunnittelualojen rajat
- odotetut kustannustavoitteet
- koko toteutuksen aikatauluvaatimukset vaiheittain



- putkiston käyttöolosuhteiden arviointi
- mahdollisen kapasiteetin noston huomioiminen putkistomitoituksessa
- vertailu edeltäviin samankaltaisiin projekteihin
- mahdolliset riskit ja laitteiden väärinkäytön estäminen
- tarkastetaan yhteensopivuus vanhaan putkistoon
- sovitaan vaatimukset putkiston tarkastuksille ja testauksille

(Salminen 1990, 117-118.)

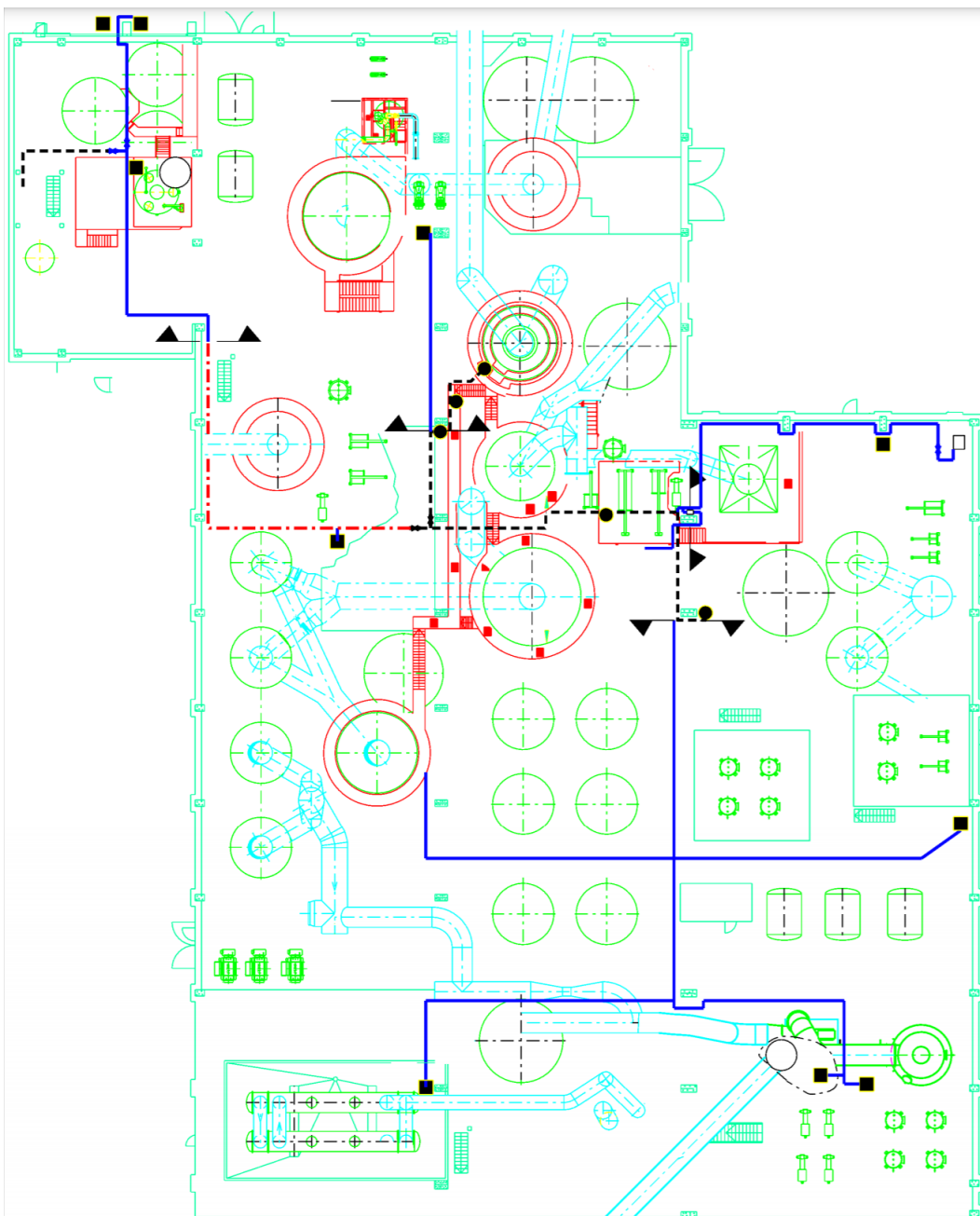
### 10.2.2 Suunnittelun kehykset

Putkistosuunnittelulle raameja tuovien PI-kaavion, laitetietojen, putkilinja- ja venttiililuetteloiden lisäksi suunnittelijan tulee tutustua projektin alussa määriteltyihin standardeihin ja muihin mahdollisiin lisävaatimuksiin. Suurteollisuuspuiston projektit pohjautuvat yleensä EN-standardeihin.

## 10.3 Putkistosuunnittelun eteneminen

### 10.3.1 Alustava putkireittisuunnitelma

Usein putkistosuunnittelu alkaa esisuunnitteluvaiheessa layout-suunnittelulla, johon kuuluu putkiston sijoittaminen halutulle alueelle. Jo layout-suunnitteluvaihe vaatii tiivistä yhteistyötä eri suunnittelulajien kesken, jotta kaikki mahdolliset muiden alojen huomioidut ja vaatimukset huomioitaisiin jo alussa. Layout-suunnittelulla, sen yksinkertaisen esitystavan avulla, saadaan eri putkireittivaihtoehdot esiteltävä katselmuksissa eri tahoille. Layout-piirustukset saadaan tuotettua suoraan 2D-muotoisena tai siirtämällä tasomuotoiseksi 3D-mallista. Piirustuksissa suositeltavaa on käyttää apuna standardissa esitettyä tasojen jakoa havainnoinnin parantamisen takia. Esisuunnittelun olennaisimpana tuloksena on tiedon tuottaminen kustannusarvioita varten. Samalla rakennussuunnittelu saa tiedot omien vaatimustensa tutkimiseen.



Kuva 15. Esimerkki putkiston layout-piirustuksesta.

### 10.3.2 Putkiston 3D-mallinnuksen aloittaminen

3D-suunnittelua aloitettaessa etsitään tietokannasta oikeat suunnittelun pohjamallit, referenssit, johon putkiston mallinnus voidaan tehdä. Tarvittavan mallitiedoston puuttuessa, on suunniteltavan kohteen tila mallinnettava joko kenttämittausten perusteella tai laserkeilausta hyödyntäen. Putkiston 3D-mallinnus aloitetaan yleisesti putken luonnilla. Putkiluokan (Piping spec) valinta ja sen nimeäminen tehdään PI-kaavion



- Putkireittejä suunniteltaessa on varattava tilaa mahdolliselle putkilinjojen määrän kasvulle.
- Kunnossapitotöiden suorittamista varten on putkien keskinäiset etäisyydet valittava ottaen huomioon eristyspaksuudet ja laippojen halkaisijat. PSK 2410 esittää putkivälisuosituksia.
- Putkireitit pyrittävä sijoittamaan rakennusten pääakselien suuntaisiksi. Eri suuntaan kulkevat putkisillat suositellaan sijoitettaviksi eri korkeuksille risteyskohtien yksinkertaistamiseksi.
- Putket on pyrittävä reitittämään siten, että lattiaan tai seinään tehtävien aukkojen määrä ja koko saadaan minimoitua.
- Putket, joiden virtaava aine on kuumaa, syövyttävää tai liuottavaa, on pyrittävä sijoittamaan kauas kulku- ja kaapelireiteistä.
- Standardeissa SFS-EN 1090-2 ja PSK 4701 annetut vaatimukset työskentelytasolle, portaille, tikkaille ja kulkuteille on huomioitava suunniteltaessa putkireittiä.
- Putkiston kannakointi on huomioitava putkireittiä suunniteltaessa.

#### 10.3.4 Putkistovarusteet ja niiden sijoitus

Putkistovarusteita ovat esimerkiksi säätö-, sulku ja varoventtiilit, suodattimet, lauhteenpoistimet, staattiset sekoittimet, kääntösokeat, letkut ja palkeet. Varusteiden valintaan vaikuttavat sijoituspaikat ja linjoissa virtaavat aineet. (PSK 2402 2021, 15.) Varusteet tulisi sijoittaa siten, että niiden kunnossapito ja käyttö olisivat mahdollisimman turvallista. Linjoihin, joissa on jäätymisvaara, on suunniteltava tarpeelliset tyhjennykset tai ohitukset.

Venttiililuettelosta ilmenee eri putkiluokissa ja eri väliaineiden kanssa käytettävät venttiilit. Jos kyseessä on sulkuventtiili, sen nimelliskoko vastaa usein putkilinjan kokoa. Kauko-ohjattu tai säätöventtiili on yleensä pienempi kuin linjakoko. Säännöllisesti käytettävien venttiilien sijainti on suunniteltava niin, että niille on pääsy kiinteiltä hoitotasoilta. Suljetun venttiilin yläpuolelle kertyvä nestetasku vältetään pyrkimällä aina sijoittamaan venttiili putkilinjan vaakaosuudelle. Venttiilit on sijoitettava mahdollisimman pitkälle putkikäyrästä, ettei lämpölaajenemisesta aiheutuvat

muodonmuutokset vaikuttaisi venttiilin rungon muotoon tai heikentäisi laippaliitoksen tiiveyttä. Varoventtiili on asennettava aina jousi ylöspäin. Sulkuventtiiliä ei saa sijoittaa suojeltavan kohteen ja varoventtiilin väliin. Varoventtiili onkin pyrittävä sijoittamaan mahdollisimman lähelle sen suojelemaa kohdetta. (Pere 1994, 63.)

Toiminnoiltaan virtaussuunta- tai asentoriippuvaiset varusteet on otettava erikseen huomioon. Kaikkia takaiskuventtiilejä ei saa asentaa pystyputkeen, niiden ominaisuudet ovat erilaiset eri asennoissa. Virtausmittarit voivat vaatia molemmin puolin laitetta suorat putkiosuudet, joten ne on aina selvitettävä. Kaasutaskuilta ja lian kertymiseltä vältytään sijoittamalla painemittariliitännät vaakasuoran putken sivuun. Putkilinjoihin, jotka sisältävät kuumaa höyryä tai nestettä, liitettävät painemittarit on yhdistettävä putkistoon vesilukkoputken avulla. Lämpömittareiden suojataskut on pyrittävä sijoittamaan putkiston suunnanmuutosten kohdille, mieluiten t-haaraan tai käyrään virtausvastuksen minimoimiseksi. Alle DN 50-kokoisille putkille tehdään suojataskun kohdalle laajennus. (Pere 1994, 63-64.)

### 10.3.5 Laipat

Vain eurooppalaisen painelaitelainsäädännön turvallisuusvaatimukset täyttävistä materiaaleista valmistettuja kauluksia ja laippoja saa käyttää painelaitteissa (SFS-EN 1092, 11). Laipan valinnassa tärkeimpinä kriteereinä ovat paineluokka ja DN-koko. Yleisimmin käytettyjä laippoja ovat levy-laippa, umpilaippa, kauluslaippa ja eri tyyppiset irtolaipat (Pystynen 2018).

Putkiston osuuden vaihtamisen helpottamiseksi käytetään niissä laipallisia osia. Laippaliitosten käytöllä saadaan mahdollistettua putkiston osuuden purkaminen, jos se on tarpeellista esimerkiksi puhdistuksen takia. Laippaliitosten sijoittamista on pyrittävä välttämään kulkuteiden yläpuolelle, jotta henkilöstö ei vaarantuisi mahdollisten vuotavien liitosten takia. Sijoitettaessa laippaliitosta ahtaaseen paikkaan on selvitettävä tilantarve työkalujen käytölle. Laippaliitosten oikeantyyppisellä sijoittamisella saadaan mahdollistettua putkiston koeponnistus vaadituilta osin.

### 10.3.6 Tiivisteen valinta

Saatujen prosessitietojen perusteella on pääteltävä tiivistetilan vallitseva olosuhde, joka vaikuttaa tiivisteen valintaan. Liitoksen kaikki osatekijät ja niiden oleelliset vaatimukset on tarkasteltava suunnittelussa. Yleisesti tiivisteen valintaan vaikuttavat laippatyyppi, tiivistepinnan karheus, ja tiivisteen puristusaine. PSK 6401 standardissa on taulukoituna sopivat tiivistemateriaalit eri väliaineille. Taulukko ei kuitenkaan huomioi samaan aikaan vaikuttavaa sisällön paineen ja lämpötilan suhdetta keskenään. Lämpötilan muutosten ollessa nopeaa on suositeltavaa käyttää täysmetallitiivisteitä. Putkiston paineen ollessa iskumaista, on pyrittävä valitsemaan metallitiiviste. Sykkivässä paineessa paras kesto on täysmetalli- ja spiraalitiivisteillä. Suositeltavaa on varmistaa oikea valinta valmistajalta, jolta pitää olla saatavissa myös tiivisteiden sallitut paine-lämpötila-alueet taulukoituna tuotteittain. (PSK 6401 2012, 2-10.)

Tiivistetiedot voivat olla sisällytettynä putkiloukissa. Laitoskohtaiset erikseen sovitut vaatimukset tiivisteille on kuitenkin aina varmistettava.

### 10.3.7 Kannakesuunnittelu

Putkistosuunnittelun viimeisimpiä vaiheita on kannakkeiden suunnittelu, koska lopullista kannakointia ei voi suunnitella ennen putkilinjojen suunnittelua. Suunnittelijan on määritettävä kannakointikohtien tyyppi ja sijainti sekä arvioitava joustokohdat. Sijoitussuunnitelmaa tehdessä ja putkireittiä suunnitellessa täytyy pitää mielessä putkiston kannakointi. Reitit tulisi suunnitella niin, että kannakoinneissa pystytään hyödyntämään mahdollisimman paljon valmiina olevia rakenteita. Valmiiden rakenteiden käyttäminen kannakepisteissä vähentää asennuskohteessa tehtävää työtä, kuten hitsaus ja maalaus. On kuitenkin melko yleistä, että rakenteisiin joudutaan muutoksia tekemään. Kannakesuunnitteluun vaikuttaa laitevalmistajien vaatimukset liitännäiskohtiin kohdistuvista voimista ja momenteista sekä asiaan kuuluvat standardit ja muut ohjeet. Putkistossa virtaavat aineet yhdessä prosessin käyttö- ja suunnitteluarvojen kanssa on otettava huomioon kannakointia suunnitellessa. (Kuusijärvi 2018.)

Kannatuskohtien ja -tyyppien valintaa tehdessä päähuomion tulisi kohdistua vaaka- ja pystysuuntaisiin kuormituksiin, lämpöliikkeisiin, viettoihin, käytettävissä olevaan

tilaan, eristykseen ja ympäristötekijöihin. Vaakasuuntaisia kuormia syntyy lämpöliikkeen vaikutuksesta joustokuormituksen ja ohjauspisteissä liikettä vastustavana kitka-kuormituksen. Pystysuuntaisena kuormituksen huomiodaan useimmiten vain painokuorma, joka on tavallisesti määritettävissä jakamalla putki yksinkertaisilla mekaanikan vipusäännöillä eri kannakekohtien kesken. Tuulen ja virtaavan aineen vaikutukset ovat yleensä niin pieniä, ettei niitä tarvitse huomioida.

Kiintopisteen tarkoituksena on estää putken liike sekundäärikannakkeeseen nähden. Se sijoitetaan usein keskelle suoraa putkea, jotta lämpöpiteneminen saadaan purettua molempiin suuntiin. Tarvittaessa voidaan kiinteä kannake sijoittaa putkiston liikkeen kannalta tarkoituksenmukaisempaan kohtaan. Joustolenkki sijoitetaan kahden kiintopisteen välille, ettei putkiston lämpöliikkeet kuormita kannatusta tai putkea liikaa.

Liukukannaketta käyttämällä mahdollistetaan putken lämpöliike haluttuun suuntaan. Kynsiohjatulla liukukannakkeella saadaan tarvittaessa estettyä putken poikittaisliikkeet. Kynsiohjausta ei voi käyttää putkiston kulmakohdassa, koska putken on päästävä liikkumaan vapaasti. Kulmakohdian sekundäärikannakkeet tulee suunnitella tarpeeksi pitkiksi, jotta putki ei pääse putoamaan kannakkeelta. Kynsiohjausta ei voi käyttää haaroituskohdassakaan lämpöliikkeiden kompensoinnista johtuvien siirtymien takia. Eristyspaksuus määrittää käytetäänkö korkeaa vai matalaa liukukannaketta. (Kuusi-järvi 2018.)

### 10.3.8 Välisuunnittelukatselmus

Välisuunnittelukatselmuksia pidetään sopivin väliajoin pitkin suunnitteluprosessia, tarvittaessa useammin kuin ennalta on arvioitu. Välisuunnittelukatselmusten tarkoituksena on selvittää ovatko sovitut asiat toteutuneet ja pysyykö suunnittelu annetussa aikataulussa. Katselmusten aikana syvennyttään putkiston mekaaniseen suunnitteluun. Selvitetään, onko putkiston valmistaminen ylipäätään mahdollista sellaisenaan kuin se on siihen mennessä suunniteltu. Arvioidaan syvemmin kokoonpanon ja asennuksen vaatimuksia putkistolle. Tarkastellaan alkusuunnittelussa annettuja vaatimuksia ja tarvittaessa tarkennetaan niitä. Suunnitteluprosessin aikana voi olla joko asiakkaalle tai suunnittelijalle tullut eteen asioita, jotka saattavat tuottaa ongelmia annettujen

vaatimusten täyttämiseksi. Suunnittelun edetessä on varmistuttava mahdollisista henkilöstön koulutusvaatimuksista tai ohjeiden tarpeellisuudesta ennen putkiston käyttöönottoa. (Salminen 1990, 118.)



## 11 ASENNUSVAIHEEN JA KUNNOSSAPIDON HUOMIOINTI

### 11.1 Yleistä

Aikataulujen ollessa usein kireitä korostuu suunnittelijan ja putkiurakoitsijan yhteistyön vaikutus suunnitteluun ja lopputuotteeseen. Yhteistyön avulla kyetään ennakoimaan vielä keskeneräisten suunnitelmien pohjalta jo työssä tarvittava materiaalmäärä ja tarvittaessa niihin liittyvä vertailu materiaalivalintojen ja työkustannusten kesken. Työkohteessa tehtävien katselmusten tuloksena saattaa suunnittelija saada urakoitsijalta toisen näkökulman toteutukselle, joka voi vaikuttaa lopulliseen suunnitelmaan optimoiden asennus- tai materiaalikuluja. Urakoitsijoilta löytyy omista työmenetmistään paras kokemus, jota on hyvä hyödyntää, vaatimukset huomioiden, parhaan lopputuloksen saamiseksi. Toimitusrajat ja tehtävä työ on saatava selville suunnitelmista, jotta asennus voi edetä toteutukseen asti. PED:n, muiden viranomaisvaatimusten, materiaalihankintojen, esivalmistuksen ja asennuksen asettamien vaatimusten kautta määräytyy suunnittelun taso. (Hämäläinen 2018c.)

Käytön ja kunnossapidon toiminnan mahdollistamiseksi on otettava huomioon luoksepäästävyys, kun tehdään sijoitussuunnittelua putkiston varusteille ja laitteille. Jos ennakkoon on tiedossa putkistovarusteen vähäinen käyttöaste, voidaan se sijoittaa paikkaan, minne pääsy on vain siirrettäviltä telineiltä tai työtasoilta. Näistä ratkaisuista on keskusteltava aina käyttöhenkilöstön kanssa. Perusajatuksena on putkivarusteiden ja venttiilien sijoittaminen lähelle kiinteitä hoitotasoja tai lattiaa. (PSK 2402 2021, 16.) Kannakoinnin huolellisella suunnittelulla ja varusteiden oikeanlaisella sijoittelulla varmistetaan mahdollisuus niiden turvalliseen käyttöön.

### 11.2 Asennukseen vaadittavat dokumentit

Isometrien, kannakepiirustusten ja muiden asennuskohteessa vaadittavien dokumenttien koko pitää arvioida sellaiseksi, että niitä pystyy tulkitsemaan vielä A3-kokoon pienentämisen jälkeen. Kun piirustukset on hyväksytty tuotantoon, on isometrien

lehtijako, kannakenumerointi ja hitsaussaumanumerointi ehdottomasti lukittava. Revisioidit dokumentteihin tehdään vain ennalta sovitun muutosmenettelyn kautta.

Asennukseen tarvittavia dokumentteja kohteesta riippuen voivat olla:

- putkistoisometrit
- taso- ja leikkauspiirustukset
- kannakepiirustukset
- laitesijoituspiirustukset
- instrumenttiluettelot
- laitepiirustukset
- työohjeet

(Hämäläinen 2018c.)

## 12 TUOTANTOVAIHEESEEN SIIRTYMINEN

### 12.1 Suunnitelmien varmistaminen

Ennen loppusuunnittelukatselmusta ja valmistusta tulisi varmistaa suunnitelmista seuraavat kohdat:

- riittävä lujuus putkistossa ja kannakkeissa
- käyttökohteeseen soveltuva materiaalivalinta (kemiallinen kestävyys, kuluminen, sitkeys)
- lämpölaajeneminen on hallinnassa
- putkiston vesitykset, ilmaukset ja vietot ovat oikein huomioitu
- käyttöohjeissa on eritelty riittävän tarkasti jäljelle jääneet vaarat

(Hämäläinen 2018a.)

### 12.2 Piirustusten tuottaminen

Kun suunnitelmat on varmistettu, tuotetaan isometrit ja muut piirustukset vaatimusten mukaan. Lopulliset piirustukset ja dokumentit pyritään tuottamaan mahdollisimman automaattisesti suoraan 3D-mallista. Piirustuksen ollessa yhteydessä malliin, on sen päivittäminen mahdollista muokkaamalla mallia.

Isometrinen piirustus on tuotettavissa lähes valmiiksi asti automaattisesti. Admin-käyttäjä on luonut valmiit asetukset isometriaajoa varten. Asetuksissa määräytyvät asiakkaan haluamat piirustuslomakkeet ja otsikkotaulut. Osaluettelo täydentyy automaattisesti. (Ilomäki 2018.) Taulukkoon käsin lisättäviä tietoja ovat koeponnistuspaine, väliaine, liittyvien luetteloiden ja piirustusten numerot. Myös tiedot suunnittelupaineesta ja -lämpötilasta sekä käyttöpaineesta ja -lämpötilasta tulisi ilmetä taulukosta. Suositeltavia lisätietoja ovat tiedot mahdollisesta eristyksestä ja saatosta sekä putkiston kulkumistä – mihin.

Taso- ja leikkauspiirustustuotannossa valitaan kuvattava malli tai osa siitä ja määritetään kuvantojen suunnat. Piirustusten muokkaamista ja täydentämistä käsin tulisi välttää. Jos piirustusta on muokattava, olisi tärkeää kyetä erottamaan jälkikäteen

täydennetty tieto suoraan tietokannasta tulleesta. Tähän voidaan vaikuttaa käyttämällä eri tasoja tai referenssejä. Näin helpotetaan piirustuksen mahdollista uudelleen muokkaamista. (Ilomäki 2018.)

### 12.3 Loppusuunnittelukatselmus

Loppusuunnittelukatselmus on pyrittävä pitämään ennen putkiston asennusta, vaikka putkistosuunnittelun aikataulut ovatkin usein tiukat.

Loppusuunnittelukatselmuksessa varmistutaan piirustusten luettavuudesta ja niiden laadusta sekä varmistetaan, että putkiston toteutus tulee olemaan halutunlainen ja arvioidaan putkistotuote kokonaisuutena. Katselmuksessa tarkastetaan asennusta varten tehtyjen ohjeiden laatu ja paikkansapitävyys. Samalla voidaan päivittää mahdolliset ohjeet käyttö- ja kunnossapitohenkilöstöille. (Salminen 1990, 118.)

### 12.4 Asennustöiden jälkeiset toimenpiteet

Valmiisiin suunnitelmiin voidaan joutua tekemään muutoksia asennusvaiheessa. Suositeltavaa on päivittää piirustukset toteutuneiden rakenteiden mukaisiksi. Tärkeää on tarkkojen as-built-dokumentaatioiden laatiminen, jotta laitosten tiedot ja tietomallit vastaavat todellisuutta ja ovat näin ajan tasalla. As-built-piirustuksista on hyvä löytyä tiedot toteutuneesta projektin osasta ja muutoksista, joita on jouduttu tekemään alkuperäisiin suunnitelmiin. Näitä tietoja voivat olla lisätyöt, piirustusten muokkaus tai asennusaikana tehdyt muutokset laitteisiin, koneisiin tai rakenteisiin. Päivityksiä voi tehdä niin asennusvaiheessa kuin huoltotoimenpiteiden yhteydessäkin. Pääasia on mahdollisimman aikaisessa vaiheessa toimiminen mahdollisten ongelmien estämiseksi tulevilla projekteilla. (Etteplanin [www-sivut](http://www.etteplan.com) 2021.) Toteutumapiirustusta tehdessä pitää noudattaa yrityksen käytäntöjä dokumentin revisioinnista.

Isompien muutoksien yhteydessä voidaan kohde laserkeilata. Toteutumamallien tiedot toimivat apuna koontimallien luotettavuutta ja sijaintitarkkuutta tarkastettaessa. As-built-mallit ovat osa jatkuvaa suunnittelun laadunvarmistusta.

## 13 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tarkoituksena oli saada tietopaketti putkistosuunnittelusta. Kokonaisuus piti laatia suunnittelijan tiedonhaun helpottamiseksi. Opinnäytetyössä viitataan putkistosuunnittelua ohjaaviin standardeihin ja määräyksiin, joista tarkentavaa tietoa voi tarvittaessa hakea. Rajauksia oli tehtävä jo heti alussa, koska Suurteollisuuspuiston suunnittelijan tehtäväalue on laaja. Työhön päätettiin sisällyttää perusajatukset suunnittelun ohjauksesta, suunnittelun kulusta ja putkistoista.

Yleisesti alueella suunnittelutyötä tekevä ei keskity ainoastaan putkistosuunnitteluun. Suunnittelijan toimenkuvaan voi kuulua putkisto- ja teräsrakennesuunnittelun lisäksi muun muassa asennusvalvonta ja kustannusarvioiden laatiminen. Tyypillisenä piirteenä Suurteollisuuspuiston projekteissa on vaihtelu niiden laajuuksissa. Projekti voi sisältää uuden putkilinjan suunnittelun valmiiseen laitokseen tai vain pienen muutoksen valmiissa putkilinjassa. Siihen voi kuulua jokin kokonaisuus, johon sisältyy säiliö pumppuineen ja niihin liittyvät putkistot. Isommissa projekteissa hankkeeseen voi sisältyä uuden tehtaan tai sen osan suunnittelu, jolloin työskentely tapahtuu tiimissä, mahdollisesti yhteistyössä uuden teknologian toimittajan kanssa. Tämän takia työssä keskitytään suunnitteluprosessiin ja putkistosuunnittelun perusteisiin. Suunnittelukohdekohtaiset erityisvaatimukset vaihtelevat jonkin verran eikä kaikkea tietoa ole vielä virallisesti tiedotettu, joten niihin on viitattu työssä vain huomioitavina.

Opinnäytetyön laatijalla oli ehtinyt kertyä hieman käytännön kokemusta suunnittelu-prosessista, joten suunnittelun ohjaukseen käytettävien menetelmien aiheet olivat pääpiirteittäin tiedossa. Teoriaa aiheesta löytyi jonkin verran. Standardissa esitetään suunnittelukatselmusten sisältö monelle alalle sopivaksi. Kirjallisuutta ja kokeneempien suunnittelijoiden tietotaitoa hyödyntämällä saatiin koottua aiheita putkistosuunnittelukatselmuksiin. Kenttämittausten tärkeyttä ja niiden mahdollisuutta onkin yrityksen sisällä korostettu pitkään, joten tiedot niiden hyödyistä oli saatavilla muilta työntekijöiltä. Kenttämittaukset ovatkin erittäin suositeltu toimenpide erityisesti, jos suunnitellaan jo olemassa oleviin tiloihin. Uuden tehtaan suunnittelussa kenttämittaukset voivat olla hankalampia toteuttaa.

Työssä esitetyt ohjeet opastavat suunnittelijaa putkistosuunnittelun perusteissa, kuten putkilinjojen nimeämisessä, kannakoinnissa ja putkiston osien sijoituksessa. Opinnäytetyössä esitetään Suurteollisuuspuistossa putkistosuunnittelun vaatimat ja suunnittelijalta vaaditut dokumentit, joiden tunteminen on suunnittelun vaatimusten täyttämisen kannalta olennaista. Eri standardit ja määräykset ohjeistavat ottamaan huomioon asennusvaiheen sekä käytön ja kunnossapidon vaatimuksia, jonka takia ne käytiin läpi omassa osiossaan.

Opinnäytetyöhön saatiin koottua tarvittavat ohjeet ja vaatimukset, joiden avulla pystyy toteuttamaan perustason putkistosuunnittelua. Opinnäytetyön kirjoittajalle uusia asioita ilmeni runsaasti, mitä pidemmälle työn kanssa edettiin. Ohjeistuksen laatimista hankaloitti eurooppalaisten vaatimusten täyttävää putkistosuunnittelua koskevan kirjallisuuden vähäisyys. Vaatimusten ja määräysten määrä on valtava, joten niistä yleisimpien valitseminen oli ajoittain vaikeaa. Koska putkistosuunnittelua ohjaa runsas määrä standardeja, lakeja, asetuksia ja muita vaatimuksia, vaatii suunnittelun laadukas ja vaatimukset täyttävä toteuttaminen erittäin syvällistä tuntemusta niistä. Vaatimuksia päivitetään aika ajoin, joten kaiken huomioimiseen tarvitaan suunnittelutiimin hyvää yhteistyötä ja kokemuksen tuomaa varmuutta. Näiden avulla saadaan putkistosuunnittelun laatu pidettyä tasalaatuisena ja korkeatasoisena.

## LÄHTEET

Etteplanin www-sivut. Viitattu 1.2.2021. <https://www.etteplan.com/fi>.

HTS 21372. Putkiluokat. 2003. Harjavallan Suurteollisuuspuisto Tehdasstandardi.

Hämäläinen, J. 2018a. Putkistosuunnittelu pähkinänkuoressa. Luento AEL Insko-seminaarit Teollisuusputkistot 2018 – suunnittelu ja valmistus 31.1.-1.2.2018.

Hämäläinen, J. 2018b. Isometrisen piirustuksen laadinta. Luento AEL Insko-seminaarit Teollisuusputkistot 2018 – suunnittelu ja valmistus 31.1.-1.2.2018.

Hämäläinen, J. 2018c. Asennusvaiheen huomiointi suunnittelussa. Luento AEL Insko-seminaarit Teollisuusputkistot 2018 – suunnittelu ja valmistus 31.1.-1.2.2018.

Ilomäki, P. 2018. Laitos- ja putkistosuunnittelu 3D-tietokantojen avulla. Luento AEL Insko-seminaarit Teollisuusputkistot 2018 – suunnittelu ja valmistus 31.1.-1.2.2018.

Inkinen, P. & Tuohi, J. 1999. Momentti 1: Insinöörifysiikka. 4.p. Helsinki: Otava.

Joronen, O-P. 2018a. PSK-putkiluokat. Luento AEL Insko-seminaarit Teollisuusputkistot 2018 – suunnittelu ja valmistus 31.1.-1.2.2018.

Joronen, O-P. 2018b. Putkistojen lämpötilamuutokset. Luento AEL Insko-seminaarit Teollisuusputkistot 2018 – suunnittelu ja valmistus 31.1.-1.2.2018.

Kallio, J. & Latvala, M. 2018. Putkiston virtaustekninen mitoitus. Luento AEL Insko-seminaarit Teollisuusputkistot 2018 – suunnittelu ja valmistus 31.1.-1.2.2018.

Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös painelaitteista. 1999. P 938/1999.

Kuusijärvi, L. 2018. Kannakointi ja laiteliitännät. Luento AEL Insko-seminaarit Teollisuusputkistot 2018 – suunnittelu ja valmistus 31.1.-1.2.2018.

Lecklin, O. 1999. Laatu yrityksen menestystekijänä. 3. p. Helsinki: Kauppakaari.

Menon, E. S. 2015. Transmission pipeline calculations and simulations manual. Waltham, Massachusetts; Oxford, England: Gulf Publishing Company.

Metso Outotec:n intranet. 2021 Viitattu 13.1.2021.

Niemi, T. 2021. Suunnittelupäällikkö, Metso Outotec Finland Oy. Harjavalta. Haastattelu 9.2.2021.

Opas: Kestomuoviset kemikaaliputkistot. 2019. Turvallisuus- ja kemikaalivirasto (Tukes). Viitattu 19.1.2021.

<https://tukes.fi/documents/5470659/11781251/Kestomuoviset+kemikaaliputkistot+2019/d681cbea-1cf2-fec7-08f4-0d45a0fe2cc1/Kestomuoviset+kemikaaliputkistot+2019.pdf/Kestomuoviset+kemikaaliputkistot+2019.pdf?version=1.1>

Painelaitedirektiivi 2014/68/EU. 2014. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi painelaitteiden asettamista saataville markkinoilla koskevan jäsenvaltioiden lainsäädännön yhdenmukaistamisesta. Euroopan unionin virallinen lehti 27.6.2014.

Pere, A. 2012. Koneenpiirustus 1 & 2. Espoo: Kirpe.

Pere, A. 1994. Koneenpiirustus: 1 (5. p.). Espoo: Kirpe.

Pesonen, H. 2007. Laatu! Asiantuntijaorganisaation laatuopas. Juva: Infor Oy.

PRP-Plasticin www-sivut. 2021. Viitattu 14.1.2021 <http://www.prpplastic.fi/>

PSK 2401. Putkiston virtausnopeudet. Flow Velocities in Piping. 2009. PSK Standardisointiyhdistys ry. Helsinki: PSK. Viitattu 5.2.2021 <https://psk-standardisointi.fi>

PSK 2402. Teollisuuden putkistot. Putkistosuunnittelun perusteet. Industrial piping. Principles for piping design. 2021. PSK Standardisointiyhdistys ry. Helsinki: PSK. Viitattu 14.1.2021 <https://psk-standardisointi.fi>



PSK 3402. Laserkeilauksen ja mallinnuksen hankinta teollisuudessa. Procurement of industrial laser scanning and modelling. 2013. PSK Standardisointiyhdistys ry. Helsinki: PSK. Viitattu 14.1.2021 <https://psk-standardisointi.fi>

PSK 3602. PI-kaavion tietosisältö. Data content of P&I diagram. 2008. Standardisointiyhdistys ry. Helsinki: PSK. Viitattu 25.1.2021 <https://psk-standardisointi.fi>

PSK 3603. PI-kaavion esitystapa ja merkitsemisohje. Presentation and marking instructions of P&I diagrams. 2012. Standardisointiyhdistys ry. Helsinki: PSK. Viitattu 25.1.2021 <https://psk-standardisointi.fi>

PSK 4201. Putkiluokat. Määrittely. Pipe classes. Definition. 2017. 4. p. PSK Standardisointiyhdistys ry. Helsinki: PSK. Viitattu 13.1.2021 <https://psk-standardisointi.fi>

PSK 5801. Putkistopiirustukset. Putkireittipiirustus. Pipe drawings. Pipe Route Drawing. 2003. Standardisointiyhdistys ry. Helsinki: PSK. Viitattu 25.1.2021 <https://psk-standardisointi.fi>

PSK 5802. Putkistopiirustukset. Taso- ja leikkauspiirustus. Pipe drawings. Plan and section drawing. 2003. Standardisointiyhdistys ry. Helsinki: PSK. Viitattu 25.1.2021 <https://psk-standardisointi.fi>

PSK 5803. Putkistopiirustukset. Isometrinen piirustus. Pipe drawings. Isometric drawing. 2003. PSK Standardisointiyhdistys ry. Helsinki: PSK. Viitattu 22.1.2021 <https://psk-standardisointi.fi>

PSK 6401. Teollisuuden putkistot ja laitteet. Tasotiivisteiden valinta laippaliitoksessa. Industrial piping and equipment. Selection of flat gaskets for flange connections. 2012. 2. p. PSK Standardisointiyhdistys ry. Helsinki: PSK. Viitattu 15.1.2021 <https://psk-standardisointi.fi>

PSK 7302. Putkiston kannakointi. Kannakestandardien käyttö. Pipe supporting. Introduction of standard pipe supports. 2018. 3. p. PSK Standardisointiyhdistys ry. Helsinki: PSK. Viitattu 13.1.2021 <https://psk-standardisointi.fi>

PSK 7304. Putkiston kannakointi. Teräspuutket. Putkien suositeltavat kannakevälit. 2018. 3. p. PSK Standardisointiyhdistys ry. Helsinki: PSK. Viitattu 13.1.2021 <https://psk-standardisointi.fi>

PSK 7370. Putkiston kannakointi. LM- ja LM/KM-putkien kannakointi. Suunnitteluohjeita. Pipe supporting. Supporting of GRP and GRP/thermoplastic pipe. Design instructions. 2019. PSK Standardisointiyhdistys ry. Helsinki: PSK. Viitattu 14.1.2021 <https://psk-standardisointi.fi>

PSK 7390. Putkiston kannakointi. Ulokekannatin. Pipe supporting. Console support. 2018. PSK Standardisointiyhdistys ry. Helsinki: PSK. Viitattu 21.1.2021 <https://psk-standardisointi.fi>

PSK 7391. Putkiston kannakointi. Porttikannatin. Pipe supporting. Gate support. 2018. PSK Standardisointiyhdistys ry. Helsinki: PSK. Viitattu 21.1.2021 <https://psk-standardisointi.fi>

Purje, J. 2018. Putkiston suunnittelu, valmistus ja tarkastus painelaitesäädösten mukaan. Luento AEL Insko-seminaarit Teollisuusputkistot 2018 – suunnittelu ja valmistus 31.1.-1.2.2018.

Pystynen R. 2018. Putkistomateriaalit – hankintaprosessi toimittajan näkökulmasta. Luento AEL Insko-seminaarit Teollisuusputkistot 2018 – suunnittelu ja valmistus 31.1.-1.2.2018.

Salminen, P. 1990. Tuotteiden ja toiminnan laadun kehittäminen. Helsinki: Metalliteollisuuden kustannus.

SFS-EN 1092-1:2018 Laipat ja liitokset. Pyöreät laipat putkille, venttiileille, yhteille ja varusteille, PN-mitotetut. Osa 1: Teräslaipat. 2018. Suomen Standardisointiliitto SFS. Helsinki: SFS. Viitattu 15.1.2021. <http://www.sfs.fi/>

SFS-EN 13480-3:2017. Metalliset teollisuusputkistot. Osa 3: Suunnittelu ja laskenta. Metallic industrial piping. Part 3: Design and calculation. 2017. Suomen Standardisoimisliitto SFS. Helsinki: SFS. Viitattu 19.1.2021. <http://www.sfs.fi/>

SFS-EN 13480-5:2017. Metalliset teollisuusputkistot. Osa 5: Tarkastus ja testaus. Metallic industrial piping. Part 5: Inspection and testing. Viitattu 3.2.2021. <http://www.sfs.fi/>

SFS-EN ISO 9001. Laadunhallintajärjestelmät. Vaatimukset. Quality management systems. Requirements (ISO 9001:2015). 2015. Suomen Standardisoimisliitto SFS. Helsinki: SFS. Viitattu 18.1.2021. <http://www.sfs.fi/>

SFS-EN ISO 9004. Laadunhallinta. Organisaation laatu. Ohjeita jatkuvan menestyksen saavuttamiseen. Quality management. Quality of an organization. Guidance to achieve sustained success (ISO 9004:2018). 2018. Suomen Standardisoimisliitto SFS. Helsinki: SFS. Viitattu 22.1.2021. <http://www.sfs.fi/>

SFS-ISO 16792. Tekninen tuotedokumentointi. Digitaalista tuotemäärittelytietoa koskevat käytännöt. Technical product documentation. Digital product definition data practices. (ISO 16792:2015) 2016. Suomen Standardisoimisliitto SFS. Helsinki: SFS. Viitattu 18.1.2021. <http://www.sfs.fi/>

Suonio, T. & Kallio, J. 2018. Putkiston virtaustekninen mitoitus. Luento AEL Inskoseminaarit Teollisuusputkistot 2018 – suunnittelu ja valmistus 31.1.-1.2.2018.

Suurteollisuuspuiston www-sivut. 2021. Viitattu 13.1.2021. <http://www.suurteollisuuspuisto.com>.

TUKES:n www-sivut. 2021. Viitattu 18.1.2021. <https://tukes.fi>.

Valtioneuvoston asetus vaarallisten kemikaalien teollisen käsittelyn ja varastoinnin turvallisuusvaatimuksista. 2012. 20.12.2012/856.