

PUTKISTOSUUNNITTELU STANDARDI

Eräälle suunnittelutoimistolle

LAHDEN
AMMATTIKORKEAKOULU
Tekniikan ala
Kone- ja tuotantotekniikan
koulutusohjelma
Tuotantopainotteinen
mekatroniikka
Opinnäytetyö
kevät 2015
Mikko Multanen

Lahden ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

MULTANEN MIKKO: Putkistosuunnittelustandardi
Eräälle suunnittelutoimistolle

Tuotantopainotteisen mekatroniikan opinnäytetyö, 49 sivua, 2 liitesivua

Kevät 2015

TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyö käsittelee putkistosuunnitteluprosessia ja siihen liittyviä osa-alueita muodostaen oppaan putkistosuunnittelua varten Eräälle suunnittelutoimistolle.

Putkistosuunnittelu on laaja suunnittelualue, joka voidaan jakaa useampaan osa-alueeseen. Lisäksi putkiston tyypistä ja sovitusta suunnittelutarkkuudesta riippuen suunnitteluprojektit voivat olla hyvin erilaisia.

Ennen suunnittelun aloitusta putkistosuunnittelulle laaditaan aikataulu pääaikataulun pohjalta. Lisäksi määritellään käytettävät suunnitteluohjelmistot sekä projektin tekniset perusteet. Suunnittelu aloitetaan prosessisuunnittelulla lähtötietojen läpikäymisen jälkeen. Prosessisuunnitelmat eli ainakin toiminnankuvaus ja PI-kaavio toimivat pohjana putkiston sijoitussuunnittelulle. Tässä työssä on esitetty periaatteet putkiston koon, virtausnopeuksien ja painehäviöiden laskemiselle sekä myös pumppujen ja venttiilien valinnalle.

Putkiston komponentit valitaan putkiluokkastandardeista, jotka ovat valmiiksi painelaitelain mukaan laskettuja. Putkikoot taas on määritelty PI-kaaviossa. Projektin vaatimuksista riippuen putkiston sijoitussuunnittelu tehdään joko 2D- tai 3D-suunnitteluohjelmalla. Putkien suunnittelun jälkeen oma suunnittelun osa-alueensa on putkiston kannakointin suunnittelu.

Kannakointisuunnittelun jälkeen suunnitelmista tuotetaan tarvittavat dokumentit putkiston valmistusta sekä asennusta varten. Piirustussääntöjä, mittakaavoja, toleransseja, mitoittamista sekä hitsausmerkintöjä käsittelevät standardit on esitetty työkuvat-osiossa.

Asiasanat: putkistosuunnittelu, prosessisuunnittelu, putkiluokat, putkiston kannakointi

Lahti University of Applied Sciences
Degree Programme in production- oriented mechatronics

MULTANEN MIKKO: Piping design standard
for an engineering office

Bachelor's Thesis in production- oriented mechatronics 49 pages, 2 pages
of appendices

Spring 2015

ABSTRACT

This thesis concentrates in a piping design process, and sub-categories of piping design. The purpose of this thesis was to produce a piping design guide / standard for an engineering office.

Piping design is a wide area of design, which can be divided into several subcategories. Furthermore, depending on the type of piping and design accuracy agreed, piping design projects can be very different.

Before beginning the design, process- and piping design timetables based on the main time table should be created. Also design programs used in the project and technical design criteria should be agreed between the parties. After all initial data is clarified, planning starts with process design. Process design data; PI-diagram and functional description serve as basis for the placement design of piping. The principles for calculating the pipe sizes, flow velocity, and pressure losses, as well as defining the pumps and valves, are presented in this thesis.

Pipe components will be selected from pipe class standards. These components are calculated in compliance with the Act on Pressure Equipment. Pipe sizes are presented in the PI – diagram.

Depending on the project requirements, the designing of the pipes will be made either with a 2D- or 3D- program. After the piping design, a subcategory of piping design, pipe support design, will be executed.

After designing the pipe supports, required design documents will be produced. These documents are used by the manufacturer and the installer of piping. Standards concerning drafting rules, scales, tolerances, dimensioning and welding signs are presented in section 8.

Key words: Piping design, process design, pipe classes, pipe supporting

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	YRITYSESITTELY ERÄS SUUNNITTELUKÄSIRKASTO	2
3	YLEISET OHJEET PUTKISTOSUUNNITTELUUN	3
3.1	Putkistosuunnittelun asiakirjat	3
3.1.1	Putkistokaaviot / prosessikaaviot	3
3.1.2	Toiminnankuvaus	4
3.1.3	Layout-piirustukset	4
3.1.4	Osaluettelot	4
3.1.5	Valmistuspiirustukset	5
3.1.6	Rakennustehtäväpiirustukset	5
3.1.7	Lujuuslaskelmat ja tarkastuspöytäkirjat	5
3.2	Suunnittelujärjestys	6
3.3	Putkistosuunnittelussa huomioonotettavia asioita	7
3.3.1	Yleistä putkisuunnittelusta	9
3.3.2	Eristys	10
4	PROSESSITEKNISET LASKELMAT	12
4.1	Yleistä virtausteknisestä mitoitukselta	13
4.2	Putkikoon määrittäminen ja virtausnopeudet	14
4.2.1	Putkikoon määrittäminen	14
4.2.2	Standardin PSK 2401 mukaiset virtausnopeudet	15
4.3	Painehäviöiden laskeminen	15
4.3.1	Virtauslajit	15
4.3.2	Putkivirtauksen kitkahäviöt	16
4.3.3	Kertavastukset	19
4.3.4	Putkiston kokonaishäviö	20
4.3.5	Kaasuputken painehäviön laskenta	21
4.3.6	Höyryputken painehäviön laskenta	21
4.4	LämpötekniSET laskelmat	22
5	PUTKILUOKAT	23
5.1	Putkistojen luokitus	23
5.2	Laipat	25
5.3	Putkenosat	26

5.4	Muoviputket	27
6	VENTTIILIT JA LAITTEET	31
6.1	Pumppujen määrittäminen	31
6.2	Säätöventtiilien määrittäminen	34
6.3	Instrumentit	35
7	PUTKISTON KANNAKOINTI	36
7.1	Yleistä kannakoinnista	36
7.2	Putken liikkeet	36
7.2.1	lämpöpitenumä	36
7.2.2	Teräsputkien kannatusvälit	38
7.2.3	Muoviputkien kannatusvälit	38
7.2.4	Putkiston kannatusvälin ja jännityksen laskeminen	39
7.3	Kuormitukset	41
7.4	Kannaketyypit	41
8	TYÖKUVAT	45
8.1	Työkuvien tekemiseen liittyviä standardeja	45
8.2	Toleranssit	45
9	YHTEENVETO	47
	LÄHTEET	48
	LIITTEET	50

1 JOHDANTO

Tämän työn tarkoituksena on tuottaa Eräälle suunnittelutoimistolle tietopaketti ja suunnitteluohjeistus putkistosuunnittelua varten.

Toimeksiantona on siis yleispätevä putkistosuunnitteluopas, johon on koottu putkistosuunnittelun eri vaiheet ja standardit.

Suunnittelutoimistolla on toimeksiantoina paljon erityyppisiä putkistosuunnitteluprojekteja, kemian alan putkistoista käyttöhyödykeputkistoihin ja edelleen hygieenisiin elintarvikeputkistoihin, joten kaikkien erityyppisten putkistojen erityisvaatimusten huomioiminen ei ole tässä työssä tarkoituksenmukaista, vaan ne huomioidaan projektikohtaisesti.

Myös suunnitteluaste vaihtelee huomattavasti projektista ja projektin luonteesta riippuen: tarkimmillaan putkistosuunnittelu on esimerkiksi laitteisiin liittyvissä putkisuunnitteluprojekteissa, jolloin putkiston 3D-suunnittelu tehdään mahdollisesti mekaniikkasuunnittelun kanssa tiiviissä yhteistyössä. Joissakin projekteissa taas riittävä tarkkuus on saada laskettua putkimateriaalit kustannusarviota varten.

Eräs suunnittelutoimisto tarjoaa putkiston sijoitussuunnittelun lisäksi myös prosessisuunnittelua sekä putkiston jännitysanalyysijä, jolloin voidaan suunnittelun osalta tarjota laajempaa pakettia. Tässä työssä käsitellään näin ollen myös prosessisuunnittelua, lähinnä virtaustekniikan laskelmien ja komponenttien mitoituksen osalta.

2 YRITYSESITTELY ERÄS SUUNNITTELUTOIMISTO

Eräs suunnittelutoimisto on 20 vuotta toiminut, suunnittelu- ja konsultointipalveluita tarjoava yritys. Yrityksen päätoimintasektori on elintarviketeollisuus ja muu prosessiteollisuus, mutta referenssejä löytyy monelta eri toimialalta.

Päätoiminta-alueet ovat laitos- ja prosessisuunnittelu, materiaalinkäsittelyjärjestelmien suunnittelu, laitesuunnittelu sekä valvontatehtävät. Yrityksessä hyödynnetään myös verkostoja muiden suunnittelualojen asiantuntijoiden kanssa, jolloin voidaan tarjota kokonaisvaltaista pakettia.

Eräällä suunnittelutoimistolla on yksi toimipiste. Työntekijöitä yrityksessä on tällä hetkellä 9 henkilöä, henkilöstömäärä on vuosien varrella vaihdellut projekteista riippuen välillä 6-10.

Suunnittelutoimistolla on käytössä useita eri suunnitteluohjelmistoja: Autocad, Autodesk Inventor Professional, Solidworks Pro, Solidworks Premium, Vertex G4, Vertex Plant. Lisäksi löytyy erilaisia laskentaohjelmistoja, muun muassa lujuuslaskenta- ja virtaustekniset ohjelmistot.

Yrityksessä panostetaan työntekijöiden koulutukseen sekä työvälineisiin. Myös työntekijöiden jaksaminen ja terveys on yrityksessä tärkeää: yritys tarjoaa työntekijöilleen lääkäriedun sekä liikunta- ja kulttuuriseteleitä. (Eräs suunnittelutoimisto 2015)

3 YLEISET OHJEET PUTKISTOSUUNNITTELUUN

3.1 Putkistosuunnittelun asiakirjat

3.1.1 Putkistokaaviot / prosessikaaviot

Putkistosta laaditaan asianmukaiset kaaviot prosessisuunnittelun yhteydessä. Prosessikaavio on putkistosuunnittelun perusta joka kertoo prosessin toiminnan. Kaavioita ei piirretä mittasuhteeseen, vaan kaaviossa näytetään komponenttien ja putkihaarojen sijoitus toisiinsa nähden. Kaavioon on hyvä mahdollisuuksien mukaan lisätä myös sijoituksen kannalta paikallistavia tekijöitä kuten huonenumeroita sekä pilarinumeroita.

Prosessikaavio sisältää seuraavat asiat:

- kaikki laitteet ja varusteet positioneroinen
- putkilinjojen tunnuksot
- siirrettävät kemikaalit
- putkiston nimellissuurudet ja materiaalit
- maksimi- ja minimikäyttöarvot
- putkien paineluokat
- komponentit, niiden järjestys ja virtaussuunnat.

Kaavioita voidaan joutua täydentämään käytettyjen koodien ja merkkien selityksillä. (Tukes opas: Kemikaaliputkistot 2003.)

PI-kaaviot piirretään standardin PSK 3601 symbolikirjastoa käyttäen. Standardista löytyy piirrosmerkit yleisimmille komponenteille. Piirrosmerkki kertoo itsessään jo paljon tietoa komponentista, ja lisäksi piirrosmerkin alle voidaan lisätä tietoa attribuuttitietona. Attribuuttitiedot kaaviossa olevista komponenteista voidaan taas siirtää excel- taulukkoon kun tehdään

osaluetteloita. Kaavioissa tulee käyttää standardin mukaisia väliainetunnuksia, jotka on esitetty standardissa PSK 0901. (PSK Standardisointi 2011.)

3.1.2 Toiminnankuvaus

Pelkkä prosessikaavio ei vielä itsessään aina ole riittävä, jotta prosessin toiminta selviäisi lukijalle yksiselitteisesti. Putkistosuunnittelijoiden, valmistajien ja myöhemmin putkiston käyttäjien sekä huoltajien on ymmärrettävä prosessin toiminta mahdollisimman täydellisesti.

Toiminnankuvaus täydentää prosessikaaviota ja toimii myös automaatio suunnittelun ja putkisuunnittelun apuvälineenä.

Toiminnankuvauksessa on selvitetty tarkasti prosessin toiminta sanallisesti ilmaistuna, ja yhdessä kaavion kanssa hyvin tehty toiminnankuvaus antaa selkeän kuvan prosessin toiminnasta.

3.1.3 Layout-piirustukset

Layout-piirustuksilla tarkoitetaan putkiston sijoituksen piirustuksia, joista selviää tarkemmin putkiston sijainti laitoksen sisällä ja ulkona, mukaan lukien maanalaisen putkiston tarkka sijoitus. Piirustuksissa voidaan esittää putkiston kannakointi ja kallistukset. Tarkka sijoituspiirustus on syytä olla erityisesti putkistoista, jotka kulkevat maan alla. Piirustusta voidaan täydentää isometrisillä piirustuksilla, joista selviää putkiston sijoitus kolmiulotteisena. (Tukes opas: Kemikaaliputkistot 2003.)

3.1.4 Osaluettelot

Putkistossa käytetyt osat, kuten putket, käyrät, laipat, haaroitus-, laajennus- ja liitoselimet sekä niiden mitat ja materiaalit, esitetään osaluettelossa. Putkiston osien tarkka esittäminen on hyödyksi myös putkiston muutosten suunnittelussa, muun muassa vanhojen osien hitsattavuuden ja käyttöolosuhteiden selvittämisessä. Projektin yhteydessä tehdään tarvittaessa myös käsiventtiililuettelo, johon tulee tiedot

käsiventtiileistä, toimilaitte- ja säätöventtiililuettelo on/off toimilaitteventtiileistä ja säätöventtiileistä, laiteluettelo pumpuista, lämmönvaihtimista ja muista laitteista sekä instrumenttiluettelo kaikista instrumenteista (muun muassa paine, lämpötila, virtaus ja pinnankorkeus). Projekteissa käytetään suunnittelutoimiston omia luettelopohjia, joissa näkyy komponenttien position ja nimen lisäksi muun muassa niiden mitat, käyttöarvot ja materiaali. (Tukes opas: Kemikaaliputkistot 2003.)

3.1.5 Valmistuspiirustukset

Tarkempaa putkistosuunnittelua tehdään 3D-mallinnuksen avulla, jossa putkisto jaetaan kokoonpanoihin linjakohtaisesti. Kokoonpanon olisi suotavaa alkaa ja päättyä liitoselimeen (laippa, clamp-liitin, kierrelaitin), mikäli mahdollista. Linjakohtaisista kokoonpanoista tehdään projektista riippuen joko tarkat valmistuspiirustukset tai isometrikuvat.

Putkistopiirustukset laaditaan standardien PSK 5801, -5802 ja -5803 mukaan. (PSK Standardisointi 2011.)

3.1.6 Rakennustehtäväpiirustukset

Rakennustehtäväpiirustukset tehdään standardin SFS 4965 mukaan. Rakennustehtäväpiirustuksessa esitetään putkiston rakennuksille aiheuttamat voimat ja kuormat sekä rakennuksiin tehtävät muutokset, esimerkiksi läpiviennit. Läpiviennit suunnitellaan standardisarjan PSK 35 mukaan.

Laitteperustukset suunnitellaan seuraavien standardien SFS4631, SFS 4632, SFS4633, SFS4634, SFS4964, SFS 4965, SFS 5786 ja SFS 5787 mukaan. (PSK Standardisointi 2011.)

3.1.7 Lujuuslaskelmat ja tarkastuspöytäkirjat

Putkiston lämpöjännityslaskelmat tulee liittää toimitettaviin asiakirjoihin. Lämpöjännityslaskelmat sekä muut lujuuslaskelmat tehdään pääosin FINNSAP – ohjelmistolla EN 13480, SFS, RN tai ASME -normien mukaan.

Putkistöjärjestelmä on varsinkin säädösten vaatiessa tarkastettava ja testattava standardin EN 13480-5 mukaisesti. Tässä standardissa kuvataan tarkastus- ja testausvaatimukset standardissa EN 13480-1:2002 määritellyille teollisuusputkistoille toteutettuina yksittäisinä esivalmisteina tai putkistöjärjestelminä tuentoinen, jotka on suunniteltu standardien EN 13480-3 ja prEN 13480-6 (soveltuviissa tapauksissa) mukaan sekä valmistettu ja asennettu standardin EN 13480-4 mukaisesti. (SFS ry sales.sfs.fi)

3.2 Suunnittelujärjestys

Ennen suunnittelun aloitusta putkistosuunnittelulle laaditaan aikataulu pääaikataulun pohjalta. Lisäksi määritellään käytettävät suunnitteluohjelmistot sekä projektin tekniset perusteet esimerkiksi standardin PSK 2621 mukaisesti.

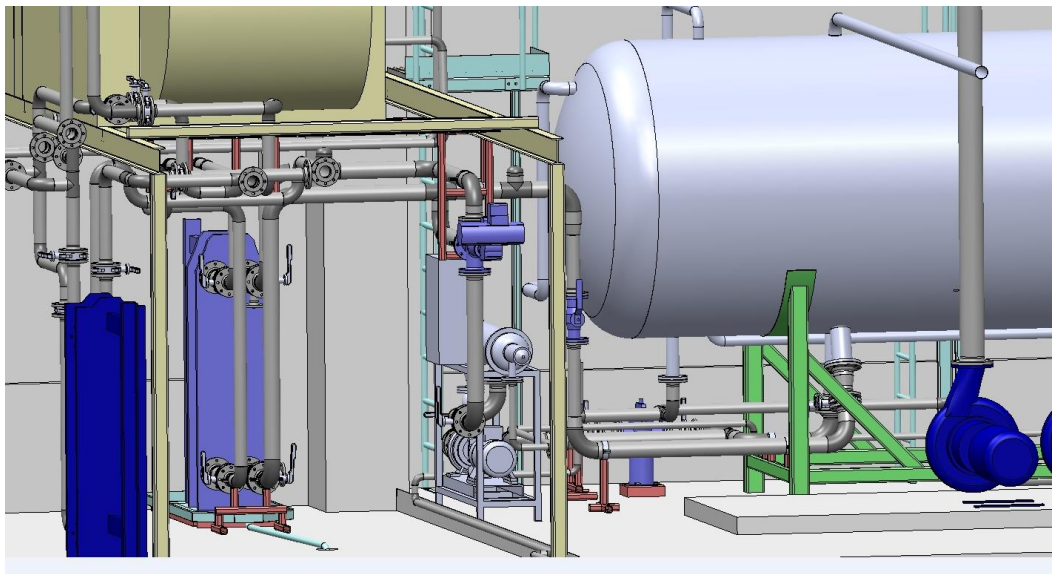
Suunnittelu aloitetaan prosessisuunnittelulla. Aluksi selvitetään prosessin lähtötiedot putkistoa varten, esimerkiksi vaadittu lämmitysteho, virtausmäärät, paineet, lämpötilat, virtaavat aineet. Tämän jälkeen tehdään prosessista toiminnankuvaus sekä PI-kaavio. Seuraavaksi valitaan prosessiin komponentit, eli pumput, toimilaitteventtiilit, säätöventtiilit, käsiventtiilit, instrumentit (esimerkiksi paine-, lämpötila- ja virtausanturit).

PI-kaavio toimii pohjana putkistosuunnittelulle. Kaaviota tulee noudattaa tarkasti putkiston sijoitussuunnittelua tehtäessä. Lähtötietoaineistona tulee olla myös laite-, venttiili-, putkimateriaali- ja instrumenttiluettelot. Näiden perusteella voidaan hakea 3D-mallit tai cad- piirustukset sekä komponenttien tiedot putkisuunnittelua varten.

Laiteluettelossa pumput, säiliöt, lämmönvaihtimet ja muut komponentit on määritelty yksiselitteisesti. Venttiililuettelossa on eritelty toimilaitteelliset on/off-venttiilit, toimilaitesäätöventtiilit sekä käsiventtiilit. Putkimateriaaliluettelossa on määritelty käytettävien putkien standardi, materiaali, koko, paineluokka, eristys, kannakointiin liittyvät asiat linjakohtaisesti. Nämä tiedot tulee perustua putkiluokkastandardiin mikäli mahdollista.

3D-mallinnusjärjestys:

1. Tilan mitoitus / mallinnus.
2. Pääkomponenttien (säiliöt, pumput) mallinnus ja sijoittelu tilaan.
3. Putkiston mallinnus, aloittaen suurimmista putkista. Venttiilit, instrumenttiyhteet. Kuvassa 1 on mallinnettu putkisto tähän vaiheeseen.
4. Putkiston kannakointi, primääri- ja sekundäärikannakkeet.
5. Kokoonpanorakenteet mahdolliset päivitykset
6. Työkuvien tekeminen. Isometrit, yksityiskohtaiset putkilinjakuvat, valmistettavat osat (pumppupedit, sekundäärikannakkeet, teetettävät putkiosat yms.)



KUVA1. 3D- ohjelmalla mallinnettua putkistoa laitteineen

3.3 Putkistosuunnittelussa huomioonotettavia asioita

Projektit, kuten myös putkiston vaatimukset ovat hyvin erilaisia, joten jokaisessa projektissa tulee ottaa huomioon eri asioita.

Steriileissä ja aseptisissä putkilinjoissa tulee suunnittelussa huomioida EHEDG-standardien vaatimukset sekä standardi PSK 6001.

Elintarvikeputkistoissa peseytyvyys ja puhdistettavuus ovat keskeinen lähtökohta suunnittelulle. Tuotteiden kanssa kosketuksiin joutuvia pintoja pestään joko kiertopesulla (CIP = Cleaning In Place), joka muodostaa keskeisen osan pesuista, tai käsinpesulla, jota tarvitaan erikoiskohteiden pesuun. Sterilointi voidaan suorittaa kemiallisesti, lämpöä käyttäen tai yhdistämällä mainitut toiminnot. Steriloinnin tulee tavoittaa kaikki tuotteen kanssa kosketuksissa olevat pinnat. Lämpösteriloinnissa lämpötilan tulee kaikilla pinnoilla olla yli 120 °C. Lisäksi putkistoon mahdollisesti otettavan korvausilman tulee olla steriiliä.

Lisäksi huomiota tulee kiinnittää seuraaviin asioihin:

- Putket asennetaan siten, että ne tyhjenevät haluttuun suuntaan.
- Putkistossa ei saa olla ”taskuja”, jotka eivät tyhjenny.
- Haaroitukset suunnitellaan ensisijaisesti ulosvedetyiksi haaroituksiksi.
- Suljetuille venttiileille, umpilaipoille ja instrumenttiyhteille johtavien haaroitusten tulee olla lyhyitä ja avoimia, jotta ne huuhtoutuvat prosessin ja pesun aikana. Markkinoilla on myös hygieenisiä T-venttiileitä (yleensä kalvoventtiileitä), joiden rakenne on sellainen, että huonosti peseytyviä taskuja ei jää.
- Vaakaputkistoissa käytetään epäkeskeisiä kartioita.
- Putkistoon asennetaan tarvittavat tyhjennysyhteet.
- Liitokset tiivistetään siten, että tiivisteiden pinta asettuu putken sisäpinnan tasoon, eli se ei saa muodostaa vaakaputkessa tyhjentymisestä eikä toisaalta saa muodostua huonosti puhdistuvia koloja tai välejä.
- Kierrelitokset tiivistetään pohjatiivisteellä.
- Hitsausliitoksen sovitteet, hitsausmenetelmät, -lisäaineet ja luokkavaatimukset tulee suunnitella ja valita siten, että valmistettaessa putken sisäpinnasta hitsauskohdassa tulee mahdollisimman yhtenäinen sekä huokoseton ja että hitsauksen aiheuttamat muutokset rakenneaineessa eivät aiheuta korroosiovaaraa. Pyritään käyttämään orbitaalihitsausta ja orbitaalihitsattavia putkenosia. (PSK Standardisointi 1992.)

Kun ollaan tekemisissä vaarallisten aineiden tai happojen kanssa, putkiston vaatimustasoon vaikuttaa oleellisesti putkistossa olevan kemikaalin kemikaalilainsäädännön mukainen vaarallisuusluokitus ja käyttölämpötila. Vaarallisuusluokitus löytyy käyttöturvallisuustiedotteesta tai sosiaali- ja terveysministeriön vaarallisten aineiden luettelosta (624/2001). Putkiston materiaalin täytyy soveltua putkistossa siirrettävälle kemikaalille kaikissa ennakoitavissa olevissa tilanteissa. Erilaisilla vaaranarvioinneilla tai riskikartoituksilla toiminnanharjoittaja selvittää ennakoitavissa olevat prosessihäiriötilanteet ja niissä mahdollisesti putkistoon joutuvat epäpuhtaudet sekä epäedullisimmat paine- ja lämpötilarasitukset. (Tukes opas: Kemikaaliputkistot 2003.)

Kemikaaliputkistot suunnitellaan KTMP 938/1999 (vastaa painelaite-direktiiviä 97/23/EY) liitteen 1 olennaisten turvallisuusvaatimusten mukaan. Vaarallisten aineiden putkistossa venttiiliä ei saa sijoittaa siten että mahdollisesti vuotava neste aiheuttaa vaaraa. (PSK Standardisointi 2011.)

3.3.1 Yleistä putkisuunnittelusta

Putkistosuunnittelun luonnetta määräävät seuraavat asiat:

- virtaava aine, aineen vaarallisuus ja olomuoto
- hygienia / steriiliysvaatimukset
- prosessissa käytettävät paineet ja lämpötilat
- putkiston laajuus ja tila, johon putkisto asennetaan. Kun suunnitellaan pienempään tilaan asennettavaa tiivistä putkistoa, on suunnittelun luonne erilaista kuin jos suunnitellaan tehtaan laajuista, putkisilloilla kulkevaa putkistoa (esimerkiksi käyttöhyödykeputkistot). Pienempään tilaan asennettava tiivis putkisto tulee suunnitella 3D-ohjelmalla.

Projektin alkumäärittelyihin kuuluu:

- yksityiskohtainen putkistosuunnittelu-aikataulu, joka laaditaan pääaikataulun pohjalta.
- suunnittelubudjetti

- suunnittelussa käytettävä järjestelmä ja ohjelmistoversio
- yrityskohtaiset piirustusstandardit, muun muassa tasomäärittelyt
- prosessin halutun toiminnan tarkka läpikäyminen.

Standardi PSK 2621 määrittelee teollisuusprojektin tekniset suunnitteluperusteet eri osapuolten kannalta. Sitä käytetään osapuolten välisen tiedonvaihdon määrittelyyn ja suunnittelun laadunvarmistukseen. (PSK Standardisointi 2011.)

Putkiston sijoitussuunnittelun alkaessa tulee varmistaa että tarvittavat lähtötiedot ovat saatavilla ja pitävät paikkansa. Tilasta johon putkisto tulee, tulee selvittää, onko saatavana cad- tiedostoja ja pitävätkö ne paikkansa. Projektin alussa on suotavaa tehdä tarkistusmittaukset tilasta ja samalla lisäillä lähtötietolayoutiin tilassa jo olevat laitteet ja muut oleelliset asiat. Käytettävät putkiluokat sekä laitteet ja komponentit tulee olla määriteltynä putkien sijoitussuunnittelun alkaessa.

Prosessin mahdollinen kapasiteetin nosto otetaan huomioon putkiston mitoituksessa ja sen perusteet sovitaan. (PSK Standardisointi 2011.)

Komponentteja sijoitellessa tulee huomioon ottaa riittävät kulkutiet, huoltotilat laitteille, riittävät tilat asennuksen ja paikalle tuonnin kannalta. Sijoitussuunnittelussa pitää myös miettiä komponenttien sijoitukset niin, että vältetään turhaa putkivetoa, eli saadaan putkilinjat mahdollisimman lyhyiksi (ellei ole jotain tärkeää syytä tehdä toisin, kuten esimerkiksi tulevaisuuden tilavaraukset). Kun putkia ruvetaan mallintamaan, komponenttikirjastosta tulee löytyä kaikki putkimateriaaliluettelossa määritellyn putkiluokan mukaiset putkistokomponentit: putkiprofiili, käyrät 90 ja 45, t-kappaleet, supistukset, laipat, tiivisteet yms käytettävät putkikomponentit.

3.3.2 Eristys

Putkiston eristämiseen on erilaisia syitä. On tehtävä selväksi mitä eristetään ja miksi eristetään. Eristys voi määräytyä prosessiteknisillä perusteilla, taloudellisuuden mukaan, hikoilueristyksenä

(kosteusvaurioiden ehkäisy), suojaeristyksenä (korkeat lämpötilat), jäätymissuojaeristyksenä, paloeristyksenä tai ääniteknisillä perusteilla. (Aarno Partanen 2006)

Eristys suunnitellaan SFS-käsikirjan 132 mukaan. Eristyspaksuuksien mitoitukseen voi käyttää standardia SFS 3977. Standardiin SFS 3977 sisältyy myös excelillä tehty eristyspaksuuden laskentaohjelma, joka löytyy suunnittelutoimiston serveriltä Y:\suunnittelu\eristys-kansion alta. Ohjelma laskee tarvittavat eristepaksuudet standardin SFS 3977 mukaisesti seuraavilla lähtötiedoilla:

- energian hinta (Eur/MWh)
- käyttöaika (h/a)
- laskentakorko (%)
- pitoaika (a)
- putkistotyyppi (voimalaitosputkisto, prosessiputkisto tai putkisillat)

Eristysten hankinnassa voidaan käyttää standardin PSK 3701 liitteinä olevia teknisten erittelyjen pohjia. (PSK Standardisointi 2011.)

Tähän standardiin sisältyy putkiston eristysten sekä säiliöiden ja laitteiden eristysten tarjouspyyntöihin tarvittavat excel-taulukot, jotka löytyvät suunnittelutoimiston serveriltä Y:\suunnittelu\eristys-kansion alta.

4 PROSESSITEKNISET LASKELMAT

Mitoituksissa käytettävät suureet:

L_p	putken pituus	[m]
d	putken sisähalkaisija	[m]
r	putken sisäsäde	[m]
A	putken poikkipinta-ala	[m ²]
g	putoamiskiihtyvyys	[m/s ²]
H	tarvittava nostokorkeus	[m]
$NPSH_a$	käytettävissä oleva pumpun imukorkeus	[m]
$NPSH_r$	vaadittu pumpun imukorkeus	[m]
q	tilavuusvirta	[m ³ /s]
Re	Reynoldsin luku	[-]
v	virtausnopeus	[m/s]
v_{max}	maksimi virtausnopeus	[m/s]
Δp	painehäviö	[Pa]
Δp_v	putkiston + rakenneosien virtausvastus	[Pa]
η	dynaaminen viskositeetti	[Ns/m ²]
ν	kinemaattinen viskositeetti	
ρ	virtausaineen tiheys	[kg/m ³]
λ	putkivastuskerroin	[-]
ζ	paikallisvastuskerroin	[-]

4.1 Yleistä virtausteknisestä mitoituksesta

Yleisnimitys virtaaville aineille on fluidi. Fluidi on sellainen aine, joka pysyvästi vastustaa muodonmuutosta ja jossa lepotilassa ei ole leikkausjännityksiä.

Putkiston virtausteknisessä mitoituksessa tärkeä jako on:

- Kokoonpuristumattomat fluidit
 - Tiheys ρ ei muutu (nesteet).
- Kokoonpuristuvat fluidit
 - Tiheys ρ muuttuu (kaasut).

Nestevirtauksen laskeminen on oleellisesti yksinkertaisempaa kuin kaasuvirtauksen. (Laiho 1991, 6)

Virtaustekniikan käsitteitä:

Tilavuusvirta. Putken poikkileikkauksen läpi aikayksikössä virrannut, tilavuusyksikössä ilmoitettu nestemäärä, jossa A on putken poikkileikkauksen pinta-ala ja v nesteen keskimääräinen virtausnopeus.

Tilavuusvirran yhtälö:

$$q_V = \frac{\Delta V}{\Delta t} = Av$$

Jatkuvuusyhtälö. Putken pinta-alan ja virtausnopeuden suhde on vakio.

Jatkuvuusyhtälö voidaan ilmaista seuraavalla kaavalla:

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

Viskositeetti. Kokeellisesti on havaittu, että virtauksessa olevan kappaleen pinnalla virtausnopeus on nolla. Tämä pitää paikkansa sekä sisäpuoliselle että ulkopuoliselle virtaukselle. Kun nestepartikkelit pyrkivät liikkumaan toistensa suhteen, aiheutuu molekyylien välisistä voimista leikkausjännitys:

$$\tau = \eta \frac{dw}{dy}$$

jossa:

η = dynaaminen (l. absoluuttinen) viskositeetti [Ns/m²= PI (Poiseville)]

dw = kahden toisiaan lähellä olevan nestekerroksen välinen nopeusero

dy = ko. kerrosten välimatka

Kinemaattinen viskositeetti määritellään yhtälöllä:

$$\nu = \frac{\eta}{\rho}$$

Kinemaattisen viskositeetin SI-yksikkö on m²/s. Toinen yleisesti käytetty yksikkö on cSt =mm²/s. (Lappeenrannan teknillinen yliopisto 2007.)

4.2 Putkikoon määrittäminen ja virtausnopeudet

4.2.1 Putkikoon määrittäminen

Seuraavassa mainituista kaavoista on suunnittelutoimistolla käytössä excel- taulukko jonka avulla saadaan laskettua mm. virtausnopeudet, painehäviöt ja pumpulta vaadittava teho (Liite 1).

Lisäksi Pressure drop- ohjelmalla voidaan laskea mm. linjan painehäviöt (Liite 2). Ohjelman etuna on että sen tietokannasta löytyy valmiina eri virtausaineiden ominaisuudet eri lämpötiloissa ja paineissa joka nopeuttaa laskemista.

Yleinen tilanne putkikokojen määrittelyssä on että tiedetään tilavuusvirta ja halutaan tämän perusteella valita soveltuva putkikoko. Tässä tilanteessa määritellään tai valitaan standardista kyseiselle putkistolle sopiva virtausnopeus. Tämän jälkeen putken sisähalkaisija voidaan määrittää seuraavalla kaavalla:

$$d = \sqrt{\frac{4q}{\pi v}}$$

Kun putkikoko on tiedossa ja putkireitit suunniteltu, lasketaan vielä painehäviöt kohdan 4.4 mukaisesti.

Tilanteessa jossa tiedetään putkikoko ja tuilavuusvirta, voidaan virtausnopeus määrittellä kaavalla:

$$v = \frac{4Q}{\pi d^2}$$

4.2.2 Standardin PSK 2401 mukaiset virtausnopeudet

Ellei toisin ole mainittu, virtausnopeudella tarkoitetaan tässä mitoitusarvoa joka esiintyy pumpun painepuolella. Imupuolen ohjearvo on yleensä 50-70% painepuolen virtausnopeuden ohjearvosta johtuen NPSH –vaatimuksesta.

Annetut virtausnopeudet ovat ohjeellisia ja tapauskohtaisesti painehäviölaskelmat tehdään tarkempaa mitoitusta varten.

Virtausnopeudet ovat kokemusperäisiä ja alan kirjallisuudesta koottuja ohjearvoja.

Standardissa PSK 2401 on annettu suositellut virtausnopeudet vesihöyryille, ilmoille, palaville ja palamattomille kaasuille, nesteytetyille kaasuille, vesille ja lauhteille, palaville nesteille, öljyille, bitumeille, hapoille, emäksille, sulpulle sekä kiintoaineen ja nesteen seoksille.

Sakeuden kasvaessa tulee virtausnopeutta pienentää johtuen kasvavasta painehäviöstä. (PSK Standardisointi 2009.)

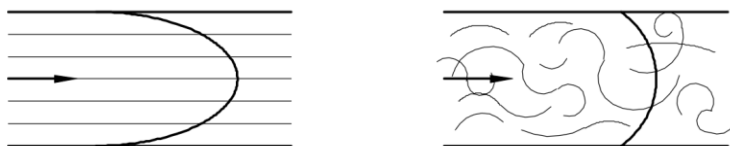
4.3 Painehäviöiden laskeminen

4.3.1 Virtauslajit

Virtaus voi olla luonteeltaan joko laminaarista tai turbulentiasta.

Laminaarisessa virtauksessa virtaus on virtaviivaista, jolloin nesteosasten liike seuraa virtaviivojen suuntaa. Turbulenttisessa virtauksessa

nesteosaset liikkuvat umpimähkäisesti, kuitenkin keskimääräisesti tiettyyn virtaussuuntaan



KUVA 2. Laminaarinen ja turbulenttinen virtaus

Virtauslajit voidaan erottaa toisistaan laskemalla Reynoldsin luku, joka määritellään yhtälöllä

$$Re = \frac{wd}{\nu}$$

missä

w = nesteen virtausnopeus

d = virtaustien halkaisija

ν = kinemaattinen viskositeetti

Nyrkkisääntönä voidaan sanoa että virtaus on laminaarista kun $Re < 2300$ ja turbulenttista kun $Re > 4000$. (Lappeenrannan teknillinen yliopisto 2007.)

Taulukossa 1 on esitetty Re_k :n ohjearvoja.

	Re_k
Pyöreät sileäseinäiset putket	2000 ... 2300
Keskeinen sileäpintainen rengasrako	1100
Epäkeskeinen sileäpintainen rako	1000
Keskeinen rako, jossa uurteita	700
Epäkeskeinen rako, jossa uurteita	400
Karaventtiilien ohjausurat	260
Taso- ja kartioistukkaventtiilit	20 ... 100
Kääntöluistiventtiilit	400

TAULUKKO 1. arvo Re_k :n ohjearvoja

4.3.2 Putkivirtauksen kitkahäviöt

Putkivirtauksen kitkahäviö voidaan laskea yhtälöstä

$$\Delta p = \lambda \frac{l}{d} \frac{\rho w^2}{2}$$

jossa:

λ = kitkavastuskerroin
 l = putken pituus, jolla häviö syntyy
 d = putken sisähalkaisija
 w = keskimääräinen virtausnopeus
 ρ = nesteen tiheys

Painehäviökerroin voidaan laskea colebrookin kaavan mukaan

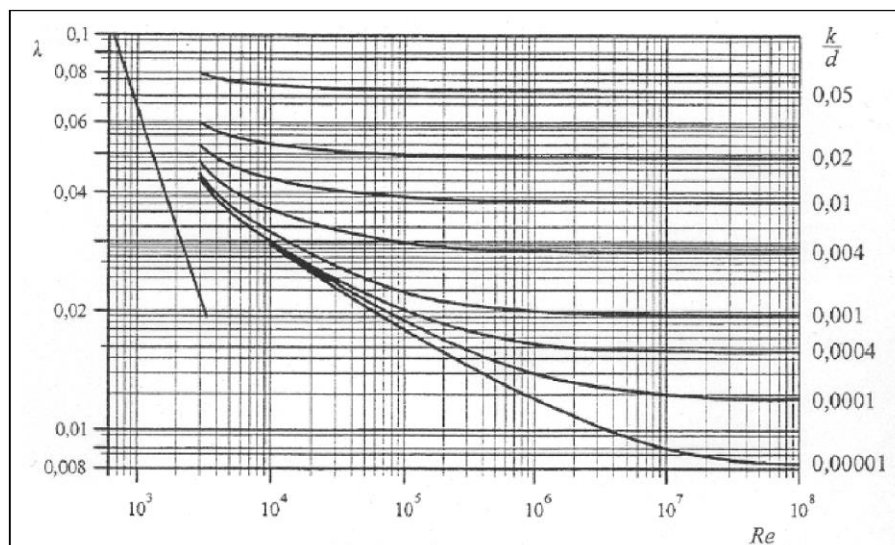
Laminaarisessa virtauksessa kitkavastuskerroin riippuu Reynoldsin luvusta isotermissessä eli vakiolämpöisessä virtauksessa:

$$\lambda = \frac{64}{Re}$$

Jos lämpötila vaihtelee huomattavasti, saadaan kitkavastuskerroin yhtälöstä:

$$\lambda = \frac{75}{Re}$$

Turbulenttisessa virtauksessa kitkavastuskerroin riippuu Reynoldsin luvusta sekä putkenpinnan karheudesta k . Kitkakertoimen arvo voidaan arvioida helpoiten moodyn käyrästä (kuva 3) reynoldsin luvun ja suhteen k/d perusteella:



KUVA 3. Moodyn käyrästä

Sileäpintaisille putkille joiden hydraulinen sileys s on alle 65, voidaan kitkahäviö laskea Blasiuksen yhtälöllä (kun $2300 < Re < 10^5$):

$$s = Re \frac{k}{d} < 65 \quad \Rightarrow \quad \lambda = 0,3164 Re^{-0,25}$$

jossa:

k = putken pinnankarheus

d = putken sisähalkaisija (Lappeenrannan teknillinen yliopisto.2007.)

Nikuradsen yhtälö, kun $10^5 < Re < 5 \cdot 10^6$: $\lambda = 0,0032 + 0,221 \cdot Re^{-0,237}$

Prandtin ja Kàrmànin yhtälö, kun $Re > 10^6$: $\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 \cdot \lg(R_e \cdot \sqrt{\lambda}) - 0,8$

Hydraulisesti karheat putket ($Re \cdot k/d > 1300$):

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 \cdot \lg \frac{d}{k} + 1,14$$

Moodyn yhtälö (ehto: $Re \cdot k/d > 1300$)

$$\lambda = 0,0055 + 0,15 \cdot \sqrt[3]{\frac{k}{d}}$$

Lisäksi voidaan erottaa ns. ylimenoalue, jolla on ehtona $65 < Re < 1300$.

Tällöin kitkavastuskerroin saadaan colebrookin yhtälöstä:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \cdot \lg \left[\frac{2,51}{Re \cdot \sqrt{\lambda}} + \frac{k}{d} \cdot 2,69 \right] \quad (\text{Heikki Paavilainen 2009.})$$

Painehäviökerrointa ei voida suoraan ratkaista kaavasta, vaan ratkaisemiseksi tarvitaan iterointia.

Putken halkaisija D esiintyy kaavoissa kolmessa kohtaa – itse painehäviön yhtälössä ja painehäviökertoimen kaavassa kahdessa kohtaa, joita ovat itse kaava ja sen sisällä oleva reynoldsin lukua esittävä osa. Erityisesti laskettaessa pieniläpimittaisten putkien painehäviötä on oltava huolellinen,

koska halkaisijalla on yllättävän suuri vaikutus painehäviöön. Pienellä putkella jonka virtausnopeus on sama kuin suurella putkella, painehäviö on suurempi.

Putken karheuden osalta on huomioitava että on käytettävä tehollista karkeuskerrointa, jossa huomioidaan putken ikääntymisestä ja likaantumisen aiheutuva pinnan karkeuden lisääntyminen. Lisäksi todellisessa putkilinjassa on liitoskohtia joiden epäjatkuvuus lisää tehollista karkeutta.

Jos ei ole syytä käyttää erityisesti tiettyä karkeuskerrointa, on hyviin tuloksiin päästy materiaalista riippumatta karkeuskertoimella $k = 0,2$ mm colebrookin mukaista kaavaa noudattamalla. (Martti Pulli 2009, 86)

4.3.3 Kertavastukset

Kertavastuksen arvo voidaan laskea yhtälöstä:

$$\Delta p = \zeta \frac{\rho w^2}{2}$$

jossa:

ζ =kertavastuskerroin

ρ = nesteen tiheys

w = keskimääräinen virtausnopeus

suunnittelutoimiston oletuksena käyttämiä teoreettisia kertavastuskertoimien arvoja. Venttiilien kertoimiin vaikuttaa venttiilin kv-arvo.

- Istukkaventtiili: 0,3
- Kalvoventtiili: 2,5
- Takaisku: 0,5
- Luistiventtiili: 0,5
- Lämpäventtiili: 0,8
- Palloventtiili: 0,8
- 90° käyrä $r=1$: 0,51
- 90° käyrä $r=1,5$: 0,4
- 90° käyrä $r=2$: 0,3
- 90° käyrä $r=4$: 0,23
- 90° käyrä $r=6$: 0,18

- Putkeen virt. 1
- Putkesta virt. 0,5
- Supistus 0,4
- T-haara 0,5.

Tavallisesti virtaus on näissä rakenne-osissa turbulenttista ja kirjallisuudessa annetut yhtälöt ja arvot ovat siten voimassa vain turbulenttisella virtauksella.

4.3.4 Putkiston kokonaishäviö

Putkiston kokonaishäviö on suorien putkenosien kitkahäviöiden ja putkiston kertavastushäviöidensumma eli:

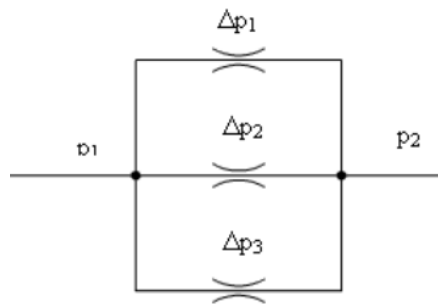
$$\Delta p = \Delta p_{\text{kitka}} + \Delta p_{\text{kerta}} \quad (\text{Lappeenrannan teknillinen yliopisto 2007.})$$

Virtausvastukset ja sähkötekniikan vastukset käyttäytyvät matemaattisesti tarkasteltuna samalla tavoin. Ne voivat olla kytkettynä sarjaan tai rinnan.

Sarjaan kytkettynä kokonaispainehäviö on osapainehäviöiden summa.

$$\Delta p_{\text{kok}} = \Delta p_1 + \Delta p_2 + \Delta p_3$$

Rinnan kytkettynä virtaus jakaantuu siten että kuhunkin haaraan muodostuu yhtä suuri painehäviö.



Kuva 4. Rinnan kytketty putkivastus

Kuvan tapauksessa kokonaispainehäviöksi muodostuu:

$$\Delta p_{\text{kok}} = \Delta p_1 = \Delta p_2 = \Delta p_3 = p_1 - p_2$$

Haluttaessa laskea useamman rinnan kytketyn vastuksen

$$R_i = \frac{\Delta p_i}{Q_i}$$

kokonaispainehäviö, määritellään virtausvastus:

jossa painehäviö Δp_i on kuristuskohdan painehäviö ja Q_i on sen läpi virtaava tilavuusvirta.

$$\frac{1}{R_{\text{kok}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

Kokonaisvastus saadaan laskettua yhtälöstä:

(Heikki Paavilainen 2009.)

4.3.5 Kaasuputken painehäviön laskenta

Kaasujohdoille voidaan kirjoittaa:

$$p_1^2 - p_2^2 = \frac{16 * \xi * l * z * R * T * \rho_0^2 * V_0^2}{\pi^2 * d^5 * M}$$

jossa:

p_1 = paine alkupäässä, Pa (abs)

p_2 = paine loppupäässä, Pa (abs)

ξ = kitkakerroin, 1

l = putkipituus, m (sis. paikallisvastukset)

d = putken halkaisija, m

z = reaalikaasukertoimen keskiarvo

R = yleinen kaasuvakio = 8314 J/kmolK

M = molaarinen massa, kg/kmol

T = lämpötilan keskiarvo, K

ρ_0 = tiheys (101,325 Pa; 273,15 K), kg/m³

V_0 = tilavuusvirta (101,325 Pa; 273,15 K), m³/s

(Juha Kallio 2006.)

4.3.6 Höyryputken painehäviön laskenta

Lämpöeristetyille höyryjohdolle (vesihöyry), jolloin entalpia on vakio, voidaan kirjoittaa

$$\frac{p_1^2 - p_2^2}{2} = 0,81 * \frac{pv}{d^5} (\xi * 1 + d * \sum \zeta) * \dot{m}^2$$

Kun tunnetaan paineet p_1 ja p_2 , voidaan ylläolevasta kaavasta laskea m tai d . (Juha Kallio 2006.)

4.4 Lämpötekniset laskelmat

Usein joudutaan selvittämään putkiston tilaan aiheuttama lämpökuorma, jota tarvitaan mm. tilan ilmastoinnin suunnittelussa. Eritettyjen putkien lämpöhäviöt voidaan laskea SFS käsikirjan 132 mukaan. Pumppujen moottorien lämpökuormat saadaan valmistajilta.

Saattolämmitystä putkissa käytetään, kun putken sisälämpötilan pitää pysyä vakiona kaikissa käyttötilanteissa, mm. kiteytyvillä virtausaineilla tai kun on olemassa jäätymisvaara. Saattotapoina käytetään vesivaippaa, saattoputkea tai sähkökaapelilämmitystä. Lämmitysteho voidaan laskea SFS käsikirjan 132 mukaisesti.

5 PUTKILUOKAT

5.1 Putkistojen luokitus

Standardissa EN 13480-1 määritellään putkiston luokka virtausaineen, paineen ja putkikoon mukaan painelaitedirektiivin 97/23/EY mukaisiin luokkiin I, II ja III, tai ns. hyvän konepajakäytännön mukaisiin putkistoihin. Putkiston luokitus tarkastettava suunnittelun alussa. Huomattakoon että uusi painelaitedirektiivi 2014/68/EU tulee voimaan 1.6.2015 / 19.7.2016 alkaen. (Suomen standardisoimisliitto 2002.)

Painelaitospäätöstä sovelletaan putkistoihin, jotka on yhdistetty paineelliseen järjestelmään ja joiden sallittu käyttöpaine on yli 0,5 bar. (Teuvo Blomberg, 2006)

Putkiluokalla tarkoitetaan myös samaan putkilinjaan soveltuvien putkien ja putkenosien valikoimaa, jossa mitat ja materiaalit on määritetty.

Putkiluokkaan kuuluvia putkenosia ovat suorat putket, putkikäyrät, putkikartiot, T-putket, T-haarat, putkikaulukset, laipat, päädyt, kierteelliset putkenosat, ruuvit, mutterit, aluslaatat ja tiivisteet. Putkien ja putkenosien mitat ja muut vaatimukset esitetään putkiluokakohtaisissa mittastandardeissa. Putkilinjan putkiluokka valitaan virtaavan aineen, korroosio-olosuhteiden, paineen ja lämpötilan perusteella.

Putkiluokan täydellinen merkintä sisältää sanan putkiluokka, putkiluokkastandardin, kirjaimen E, nimellispaineen lukuarvon (bar), materiaalitunnuksen ja lisätunnuksen.

Esimerkki:	Putkiluokka	PSK 4233	E	16	H1	A
Nimi						
Standardi						
EN-viite ¹⁾						
Nimellis-paine						
Materiaalitunnus						
Lisätunnus						

¹⁾ Osoittaa, että putkiluokka perustuu EN-standardeihin.

Kaavioissa, luetteloissa ja vastaavissa voidaan käyttää lyhennettyä tunnusta, esim. E16H1A

Alipaineputkistojen putkiluokan nimellispaineesta käytetään lukuarvoa 0.

KUVA 5. Putkiluokan merkintä (PSK standardisointi 2013.)

Putkiluokissa käytetään standardin PSK 4201 taulukon 1 mukaisia materiaalitunnuksia. (PSK standardisointi 2013.)

Putkiluokka tulee valita heti projektin alkuvaiheessa. Putkiluokka määrittelee käytettävät putkenosat, ja putkiston sijoitussuunnittelija voi hakea putkiluokkastandardin mukaiset komponentit suunnitelmiinsa. Putkiluokkakohtaiset standardit löytyvät PSK- käsikirjasta 7.

Putkiluokat käsikirjassa 7 ovat valmiiksi painelaitelain mukaisesti laskettuja. Mikäli standardin PSK 4201 putkiluokkiin tehdään pienikin muutos, silloin putkiluokissa ei saa käyttää standardin mukaisia tunnuksia. (PSK standardisointi 2013.)

Paineluokat ilmoittavat putkiluokan kestämän ylipaineen. Sen sijaan ulkopuolisen ylipaineen ja mahdollisen putken sisäisen alipaineen aiheuttaman lisäkuormituksen suhteen on oltava varovainen. Alipainetilanteissa erityisesti T-kappaleet saattavat helposti lommahtaa jos putkisto on mitoitettu ainoastaan paineluokkastandardin mukaisesti. (Martti Pulli 2009, 98)

Nyrkkisääntönä suoralle teräsputkelle pätee ohje, jonka mukaan putki kestää täyden alipaineen, jos seinämäpaksuus on 1% halkaisijasta.

Tarvittaessa mitoitus voidaan tehdä tarkemmin käsikirjojen ja standardien mukaan. (Martti Pulli 2009, 98)

Lisäksi PSK – käsikirjasta 7 löytyy putkiluokkien alipaineenkestävyydet 150°C lämpötiloissa.

5.2 Laipat

Putkiluokkakohteisissa PSK- standardeissa käytetään pääosin laippastandardia EN 1092-1. Tässä vielä katsaus laippastandardiin:

- Hitsilaipat: EN1092-1, type B11. Standardista löytyy paineluokat PN 6 – PN100. Kirjain B kertoo tiivistepinnan muodon ja luku 11 laipan tyyppin (11= hitsilaippa). Tämä standardi on korvannut vieläkin käytetyt standardit DIN 2632 (PN 10), DIN 2633 (PN 16) ja DIN 2635 (PN 40).
- Kauluslaipat paksulla kauluksella : Irtolaippa EN1092-1, type B02. Kaulus EN 1092-1 type 21. Saatavilla paineluokat PN6-PN40.
- Kauluslaipat kauluksella : Irtolaippa EN1092-1, type B04. Kaulus EN 1092-1 type 32. Saatavilla paineluokat PN6-PN40.
- Umpilaipat: EN1092-1, type B05. Saatavilla paineluokat PN6-PN100.
- Putken päälle hitsattavat ”Slip-on”- laipat: EN1092-1, type B01. Saatavilla paineluokat PN6-PN40.

Laippojen paineluokkaa määriteltessä on otettava huomioon että Kaikki laippatyypit kestävät nimellispaineen PN lämpötilaan 50 ° C saakka. Laippoja voidaan käyttää korkeammissa lämpötiloissa kuin 50 ° C.Näitä korkeampia lämpötiloja varten paineenkesto p/t on laskettava. (Suomen standardisoimisliitto 2007.)

Suurin sallittu paine tarkasteltavassa lämpötilassa riippuu nimellisen suunnittelujännityksen ja vertailujännityksen 140 Mpa suhteesta siinä lämpötilassa ja se on:

$PS = PN * f_t / 140 \text{ Mpa.}$ (Suomen standardisoimisliitto 2007.)

Tiivistepintana käytetään muotoa B ellei projektiohje / putkiluokka toisin määrää. Putkiluokkakohtaiset laippatyypit on annettu PSK-putkiluokkastandardeissa.

PSK-putkiluokkien mukaisten laippaliitosten tiivisteet ja kiristysmomentit valitaan standardista PSK 6403. (PSK Standardisointi 2011.)

5.3 Putkenosat

PSK- putkiluokkastandardit määräävät käytettävät putkenosat, ja putkenosien valinta perustuu pääosin niihin. Tässä osiossa on kuitenkin tarkempaa tietoa standardin EN 10253 mukaisista putkenosista. (Suomen standardisoimisliitto 2007.)

EN 10253-1: Päittäishitsattavat putkenosat, osa 1. Taottu hiiliteräs yleiseen käyttöön ilman erityisiä tarkastusvaatimuksia. (Suomen standardisoimisliitto 2007.)

EN 10253-2: Päittäishitsattavat putkenosat. Osa 2: Toimituseräkohtaisesti tarkastettavat seostamattomat teräkset ja ferriittiset seosteräkset. Standardin EN 10253 tässä osassa määritellään tekniset toimitusehdot saumattomille ja hitsatuille päittäishitsattaville putkenosille (putkikäyrille, keskeisille ja epäkeskeisille supistuskappaleille, T-kappaleille ja supistaville T-kappaleille, päädyille), jotka on valmistettu seostamattomasta teräksestä tai seosteräksestä ja jotka on tarkoitettu paineenalaiseen käyttöön huoneenlämpötilassa, matalassa lämpötilassa tai korotetussa lämpötilassa sekä nesteiden ja kaasujen siirtämiseen ja jakeluun. (Suomen standardisoimisliitto 2007.)

EN 10253-3: Päittäishitsattavat putkenosat. Osa 3:

Valmistusmenetelmäkohtaisesti tarkastettavat austeniittiset ja austeniittis-ferrittiset (duplex) teräkset. Eurooppalaisen standardin EN 10253 tässä osassa määritellään tekniset toimitusehdot valmistusmenetelmäkohtaisille tarkastettaville saumattomille ja hitsatuille päittäishitsattaville putkenosille (putkikäyrille, keskeisille ja epäkeskeisille supistuskappaleille, T-kappaleille ja supistaville T-kappaleille, päädyille), jotka on valmistettu austeniittisestä tai austeniittis-ferrittisestä (duplex) ruostumattomasta teräksestä. Standardissa määritellään teräslajit, mekaaniset ominaisuudet, mitat ja toleranssit, tarkastus- ja testausvaatimukset, ainestodistukset, merkintä, suojaus ja pakkaaminen. (Suomen standardisoimisliitto 2007.)

EN 10253-4: Päittäishitsattavat putkenosat. Osa 4: Toimituseräkohtaisesti tarkastettavat austeniittiset ja austeniittis-ferrittiset (duplex) teräkset.

Tässä eurooppalaisessa standardissa määritellään tekniset toimitusehdot saumattomille ja hitsatuille päittäishitsattaville putkenosille (putkikäyrille, keskeisille ja epäkeskeisille supistuskappaleille, T-kappaleille ja supistaville T-kappaleille, päädyille), jotka on valmistettu austeniittisestä tai austeniittis-ferrittisestä (duplex) ruostumattomasta teräksestä ja jotka on tarkoitettu paineenalaiseen käyttöön korroosionkestävyyttä vaativiin sovelluksiin huoneenlämpötilassa, matalassa lämpötilassa tai korotetussa lämpötilassa. (Suomen standardisoimisliitto 2007.)

Standardin osat 1 ja 3 koskevat putkenosia jotka eivät täytä painelaitedirektiivin (97/23/EC) vaatimuksia. Standardin osat 2 ja 4 taas täyttävät nämä vaatimukset.

5.4 Muoviputket

Mikäli projektiohjeet eivät toisin määrää, käytetään pääosin Georg Fischerin putkikomponentteja, sillä näistä on hyvin saatavilla teknistä tietoa, suunnitteluohjeita sekä 3D-malleja tai mittapiirustuksia.

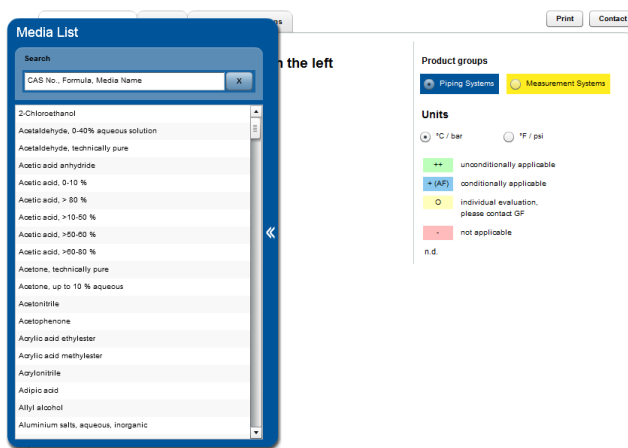
Muoviputkien suunnittelussa tulee huomioida teräsputkia suurempi lämpölaajenemiskerroin. Muoviputkistojen suunnittelun apuna voi käyttää

teosta Georg Fischer piping systems: Planning fundamentals for industrial piping systems.

Materiaalin valinnassa tärkeä tekijä on käytettyjen kemikaalien (virtausaineen) kestävyys. GF:n putkiosien soveltuvuuden käytetyille kemikaaleille voi varmistaa ChemResPlus-työkalulla (kuva 6).

Kemikaalikestävyys

Vuosisikymmenten kokemuksen ansiosta asiantuntijaryhmämme ovat erittäin hyvin perillä materiaalien kemikaalikestävyydestä. Verkkotyökalu ChemRes PLUS tarjoaa käyttöösi tärkeimpiä perustietoja.



KUVA 6. Kemikaalikestävyuden laskentatyökalu (Georg Fischer 2015)

Sivustolta löytyvät myös seuraavat työkalut:

Paine- ja lämpötilakaavio (kuva 7), jolla voi tarkastella putkiluokan paineenkestoa eri lämpötiloissa. Kaavio ilmoittaa myös putkiston odotetun eliniän.



KUVA 7. Paine- ja lämpötilakaavio (Georg Fischer 2015)

Jäähdytyslaskentatyökalu, jonka avulla voi laskea kaikki putkiston jäähdytyksen kannalta olennaiset parametrit kuten painehäviön, lämpösäteilyn, supistumisen ja lämpöhukan.

Lisäksi sivuilta löytyy muita hyödyllisiä työkaluja kuten venttiililaskin, pulttien pituudet ja kiristysmomentit sekä venttiilin mitoitus työkalu osoitteesta:

http://www.gfps.com/content/gfps/country_FI/fi/support_and_services/online_tools.html

Muoviputkien materiaalit:

- PVC-U: Mittastandardit DIN EN ISO 15493, DIN 8062. Yleisimmin käytetty putkistomateriaali. Sitä käytetään useissa erilaisissa kohteissa, kuten kemikaalien käsittely, vesilaitokset jne. PVC-U soveltuu käytettäväksi lämpötiloissa 0 - 60°C. Liitostapoina liimaus tai hitsaus. <http://www.vink.fi/fi-FI/Hinnastot/PVC-putket-ja-osat.aspx>

PVC-C: Mittastandardit DIN 8079, EN ISO 15493. Vähemmän käytetty materiaali putkistoissa. Yleensä sitä käytetään kohteissa, joissa vaaditaan korkeampaa lämpötilan kestoja (+80°C). Osien valikoima on merkittävästi pienempi, kuin PVC-U:lla.

<http://www.vink.fi/fi-FI/Hinnastot/PVC-putket-ja-osat.aspx>

- PP-H: (GF:n Progef – sarja). Mittastandardi DIN 8077, Materiaali SIN 8078. Erityisesti kemian teollisuus käyttää PP:a paljon. Myös elintarviketeollisuus käyttää hyödykseen PP:n ominaisuuksia: PP kestää erilaisia nesteitä, liuotainaineita sekä kemikaaleja, joita käytetään elintarviketeollisuudessa. PP:llä on hyvä lämmönkesto, sitä voidaan käyttää jopa 110 °C:seen saakka jos kuormitus ei ole suuri. Yleisin ja nykyaikaisin liitostapa putkistoissa on IR-hitsaus. http://www.tuotteet.vink.fi/media/tuotteet/pp/vink_pp_esite_a4_web.pdf

- PVDF: (GF:n Sysgef – sarja). PVDF on näistä muoveista kallein. PVDF:a käytetään erityisesti silloin, kun tarvitaan kemiallista kestävyyttä ja mekaanisen rasituksen sekä lämpökuormituksen kestävyyttä.

http://www.tuotteet.vink.fi/media/tuotteet/pvdf/vink_pvdf_esite_a4_w eb.pdf

6 VENTTIILIT JA LAITTEET

6.1 Pumppujen määrittäminen

Usein prosessissa virtausaineina ovat viskoottiset, ei-newtonilaiset nesteet. Yleisesti keskipakopumppua voidaan käyttää, kun viskositeetti on alle 500 cP. Viskoottisemmilla nesteillä käytetään syrjäytyspumppuja kuten lohkoroottori- ja ruuvipumppuja.

Pumppu mitoitetaan tiettyä toimintapistettä, virtausmäärää ja nostokorkeutta varten. Nostokorkeus muodostuu staattisesta ja dynaamisesta (painehäviöt) osasta. Nostokorkeus lasketaan seuraavan yleisen yhtälön mukaan:

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

jossa

H = Nostokorkeus, m

P_{b1} = Paine imusäiliössä, Pa

P_{b2} = Paine poistupuolen säiliössä, Pa

h_1 = staattinen poistokorkeus, m

h_2 = staattinen imukorkeus, m

h_{f1} = imupuolen virtaushäviöt, m

h_{f2} = painepuolen virtaushäviöt, m

(Juha Kallio 2006.)

Pumpun imupuolelle tarvittavasta painekorkeudesta käytetään nimitystä $NPSH_r$ (Net Positive Suction Head, required). Tämä on kullekin pumpulle valmistajan ilmoittama minimipaine jolla pumppu ei kavitoi. (Juha Kallio 2006.)

$NPSH_a$ (Net Positive Suction Head, available) on systeemin antama imupuolen painekorkeus. $NPSH_a$ tulee aina olla suurempi kuin $NPSH_r$. Varmuusmarginaaliksi käytetään yleisesti 1-2 mvp. (Juha Kallio 2006.)

$$NPSH_r = h_1 + \frac{P_{b1}}{\rho g} + \frac{w_1^2}{2g} - h_{f1} - \frac{P_v}{\rho g}$$

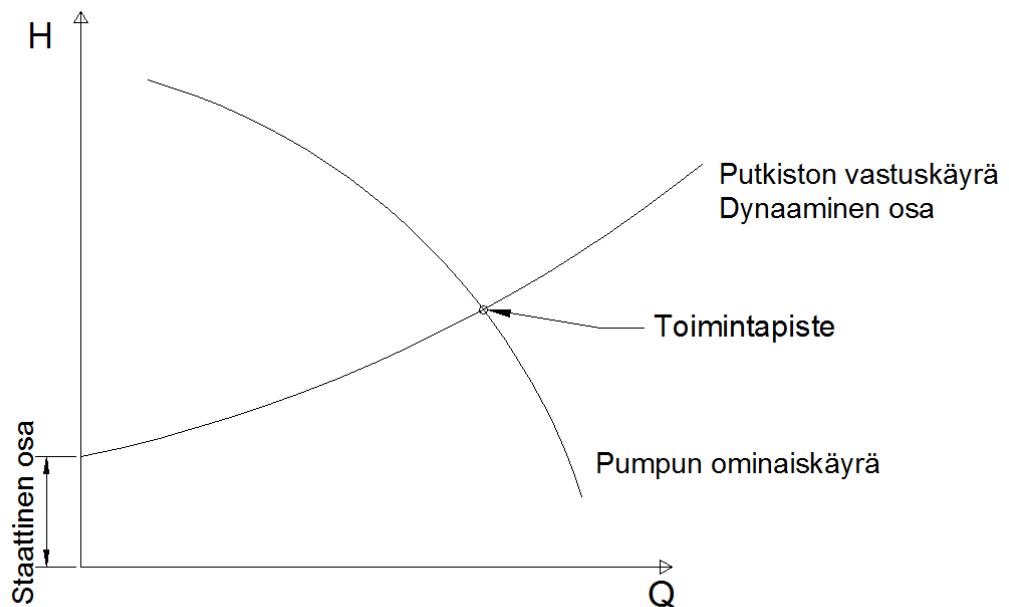
jossa

w_1 = virtausnopeus imupuolella, m/s

P_v = pumpattavan nesteen höyrystymispaine, Pa

(Juha Kallio 2006.)

Pumpun ominaiskäyrä (kuva 8) ilmoittaa pumpun toimintaa prosessissa (pumpun nostokorkeus tilavuusvirran funktiona).



KUVA 8. Pumpun ominaiskäyrä, putkiston vastuskäyrä ja toimintapiste

Jos pumppausjärjestelmän nostokorkeus muodostuu ainoastaan virtauksesta johtuvista painehäviöistä, on kierroslukusäätö erinomainen ratkaisu. Jos taas toisena ääripäänä pumppausjärjestelmän nostokorkeus muodostuu vain staattisesta nostokorkeudesta, on kierroslukusäätö hyötysuhteen kannalta huono ratkaisu. Tällöin eri tuottoarvoja vastaavat hyötysuhteet vaihtelevat. Tässä tapauksessa vakionopeuspumput rinnakkain käytettynä ovat varteenotettava ratkaisu, koska pumppujen

tuotot samalla nostokorkeudella voidaan laskea aritmeettisesti yhteen ja hyötysuhde pysyy tällöin vakiona. Käytännössä pumppausjärjestelmät ovat edellä mainittujen tapausten välimuotoja. Nyrkkisääntönä voidaan sanoa että nostokorkeuden muodostuessa yli 50 % staattisesta korkeudesta, ei kierroslukusäätö ole enää energiataloudellisesti kannattava. (Martti Pulli. 2009, 65-67)

Peruskäyrän tuottoa, nostokorkeutta ja tehonkulutusta vastaava toimintapiste muutetulla kierrosluvulla (vastinpiste, jossa hyötysuhde on sama kuin peruskäyrän piste) voidaan laskea seuraavasti:

Affiniteettisääntöjen mukaan $n/nu = Q/Qu$ ja $(n/nu)^2 = H/Hu$. Yhtälöistä voidaan ratkaista seuraava kaava:

$Hu = H/Q^2 \cdot Qu^2$, jossa:

n = alkuperäinen kierrosluku

nu = muutettu kierrosluku

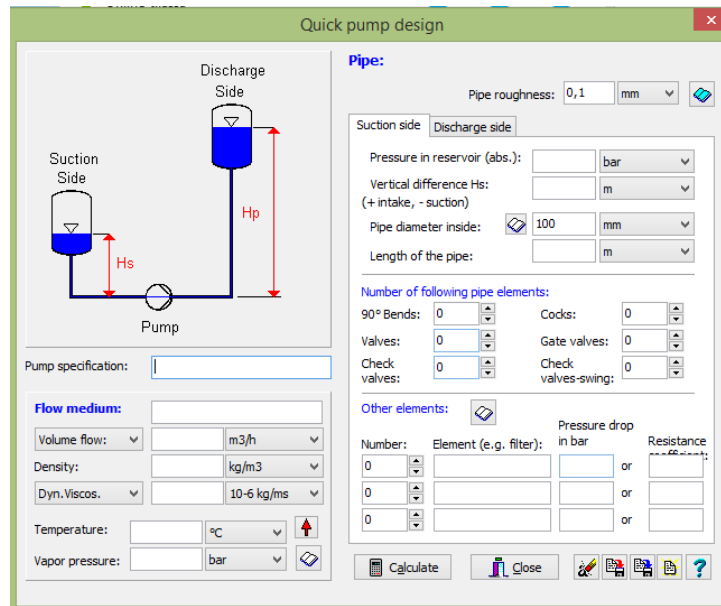
Q = alkuperäinen tuottopiste ja H = sitä vastaava nostokorkeus

Qu = muutetulla kierrosluvulla laskettu tuoton vastinpiste

Hu = vastaava nostokorkeus.

(Martti Pulli. 2009, 65-67)

Pumppujen määrittelyssä suunnittelutoimistolla on apuna Quick pump design- työkalu, jolla voidaan määrittää NPSH, vaadittava nostokorkeus sekä pumpun teho annettujen lähtötietojen perusteella. Lähtötietoja ovat mm. virtaava aine, lämpötila, imupuolen paine ja nestepatsaan korkeus, painepuolen vastapaine ja nestepatsaan korkeus. Työkalu myös laskee imu- ja painepuolen putkiston painehäviöt annettujen putkikomponenttien perusteella.



KUVA 9. Quick pump design-työkalu.

6.2 Säätöventtiilien määrittäminen

Säätöventtiili mitoitetaan yleisesti (alustavasti) siten, että sen painehäviö on 30 – 50 % systeemin dynaamisesta painehäviöstä. Systeemillä tässä tarkoitetaan kiertopiiriä tai putkilinjaa. Aina tätä arvoa ei päästä määrittämään, vaan paine-ero säätöventtiilin yli muodostuu prosessiarvoista, jotka ovat muista syistä määriteltä. (Juha Kallio 2006.)

Säätöventtiilien toimittajilla on käytössään venttiilien laskentaohjelmistot, jolloin toimittajat pystyvät määrittämään venttiilin KV-arvon, virtaaman sekä piirin painehäviön perusteella. (Juha Kallio 2006.)

Muita säätöventtiilin määriteltäviä asioita ovat venttiilityyppi, materiaali, toimilaitteen tyyppi (sähköinen/sähköpneumaattinen), liitännätapa (yleensä laipoin), ohjaustapa (paikallinen / valvomokäyttö), asennoitin.

Venttiilin runkotyyppien valinnassa apuna voidaan käyttää standardia PSK 0201: Teollisuusventtiilit. Valinta ja käyttösuositus.

6.3 Instrumentit

Putkistossa käytettäviä instrumentteja ovat muun muassa lämpötila- paine- ja virtausanturit, pinnankorkeusanturit (hydrostaattista painetta mittaavat, induktiiviset, kapasitiiviset, ultraääni), sekä erilaiset pitoisuusmittaukset. Instrumenttien valinta on usein harmaalla alueella, ja projektista riippuen joko prosessisuunnittelija tai automaatio suunnittelija määrittelee käytettävien instrumenttien tyypit.

Instrumenttien sijoitussuunnittelussa on huomioitava käyttäjäystävällisyys sekä kunnossapito, eli luoksepäästävyys. Paikallisten instrumenttien (esim. lämpömittari) osalta on huomioitava hyvä näkyvyys. On otettava huomioon myös instrumentin vaatima tila putken sisällä. Instrumenttien sijoitussuunnittelua tehtäessä tulisi aina käydä ainakin kyseisen instrumentin manuaalin sijoitteluun liittyvä osio läpi asennusvaatimusten selvittämiseksi. Varmistettava asia on instrumenttiyhteen paineluokka siltä varalta, että instrumentin määrittelijä onkin määritellyt instrumenttiyhteen, joka ei vastaa putkiston paineluokkaa. Virtausmittauksissa on otettava huomioon, että ne eivät saa tyhjentyä, sekä näiden vaatimat suorat osuudet ennen/jälkeen mittauksen.

7 PUTKISTON KANNAKOINTI

7.1 Yleistä kannakoinnista

Putkiston kannatuksen ensisijaisena tarkoituksena on painokuormituksen vastaanottaminen kannatuspisteissä. Kannatuksen tehtävänä on myös putkiston liikkeiden ohjaus, siihen liittyvien arkojen laitteiden suojaus, heilahdusten estäminen ja värähdysten vaimentaminen. Teollisuusputkiston kannatus joudutaan ennakolta suunnittelemaan ja ottamaan huomioon jo putkiston sijoitussuunnitelmaa tehdessä. Suunnittelussa tulee noudattaa viranomaismääräyksissä annettuja ohjeita.

Putkiston kannatukset jaetaan primääri- ja sekundäärikannakkeisiin. Primäärikannakkeita ovat putkeen kiinnitettävät kannakeosat, esimerkiksi putkisangat ja liukukannattimet sekä riippukannattimien standardisoidut rakenteet standardin PSK 7340 mukaan. Lisäksi primäärikannakkeisiin kuuluvat kynsiohjaimet ja estopalat.

Sekundäärikannakkeet ovat putkiston kannatuksen osia, jotka kiinnitetään rakennukseen tai rakenteisiin, kuten esimerkiksi ulokkeet ja portit.

PSK-standardien mukaiset kannatusratkaisut esittävät teollisuusputkistojen kannatuksen perusvaatimustason. (PSK standardisointi 2014)

SFS-käsikirja 107 antaa ohjeita kannakoinnin suunnitteluun ja sisältää peruskannakkeet. Putkisto on tuettava siten että laitteet voidaan poistaa ilman lisätuentaa. Kannakointisuunnittelun taso on sovittava tilaajan ja toimittajan kesken. (PSK Standardisointi 2011.)

7.2 Putken liikkeet

7.2.1 lämpöpitenevä

Putken liikkeessä huomioonotettava seikka on lämpöpitenevä. Lämpölaajeneminen tarkoittaa materiaalin tilavuuden muuttumista lämpötilan muuttuessa. Aineen lämpölaajenemista kuvaa

lämpölaajenemiskerroin. Lämpölaajenemiskerroin kertoo kappaleen koon muutoksen suhteessa lämpötilan muutokseen. Lämpöpitenevä tarkoittaa tässä putken laajenemista aksiaalisessa suunnassa.

Suorilla putkiosuuksilla lämpöpiteneminen on määriteltävissä, kun tiedetään vaikuttava lämpötilaero ja tarkastelukohdan etäisyys putken kiintopistekohdasta. Liikkeen suuruutta määritettäessä pitää ottaa huomioon, että kiintopiste- tai ohjaukskohdalla voi olla lämpötilan muutoksesta johtuvaa liikettä, joka joko lisää tai vähentää putken omaa tarkasteltavaa lämpöliikettä. Värähteleviin laitteisiin liittyvien putkien kannakointi on aina tarkistettava erikseen. (PSK standardisointi 2014)

Kappaleen (suoran putken) pituuden muutos ΔL voidaan ratkaista kaavasta

$$\Delta L = \alpha \Delta T L_0$$

jossa:

L_0 = kappaleen alkuperäinen pituus

α = materiaalin lineaarinen lämpölaajenemiskerroin

ΔT = lämpötilan muutos ($^{\circ}C$ tai K)

On tiedettävä riittävän tarkasti lämpöliikkeen suuruus kussakin kannatuskohdassa, jotta kannatus voidaan oikein valita, suunnitella ja mitoittaa. (PSK standardisointi 2014)

Taulukossa 2 annetaan tavallisimpien rakenneaineiden keskimääräinen lämpöpitenevä metriä kohti erilaisilla lämpötilan muutosväleillä.

Materiaali Material	Lämpöpitenevä, mm/m Temperature-dependent lengthening, mm/m			
	Lämpötilan muutosalue / Alteration range of temperature			
	20...100 °C	20...200 °C	20...300 °C	20...480 °C
Hiiliteräs tai niukkaseosteinen teräs Carbon steel or unalloyed steel	1,1	2,4	3,6	6,5
Austeniittinen teräs 18/8 Austenitic steel	1,7	3,5	5,0	8,6
Kupari Copper	1,7	3,4	4,5	
Alumiini Aluminium	2,5			
Lujitemuovi Reinforced thermoplastic	2...4			
PVC	8			
Polyeteeni, HD, LD Polyethylene, HD, LD	15...30			

TAULUKKO 2. Lämpöpitenevät (PSK standardisointi 2014)

7.2.2 Teräsputkien kannatusvälit

Teräsputkistojen suositellut kannatusvälit on esitetty standardissa PSK 7304. Putkiston kannatus. Suositeltavat kannatusvälit. Tämä standardi on tarkoitettu kannatusvälien valintaohjeeksi DN 10 –1200 kokoisille eristämättömille tai eristetyille teräsputkille, joiden sisältönä on neste tai kaasu. Ohjearvot annetaan asennustilassa sekä 120 °C ja 250 °C lämpötiloissa toimiville putkille. Kannatusvälien valinta perustuu sallitun taipuman suuruuteen.

7.2.3 Muoviputkien kannatusvälit

Muoviputkistoilla on suuremman lämpölaajenemisen vuoksi keskimäärin pienemmät kannatusvälit verrattuna teräsputkiin.

Muoviputkien kannatusvälit löytyvät teoksesta Georg Fischer: Planning fundamentals for industrial piping systems.

Ohessa esimerkki PP-H putkistojen kannatusväleistä (kuva 10).

Pipe bracket spacing for PP-H for liquids with a density of 1 g/cm³

d mm	Pipe bracket intervals L for SDR 11 pipes in mm at pipe wall temperature:					
	≤20 °C	30 °C	40 °C	50 °C	60 °C	80 °C
16	650	625	600	575	550	500
20	700	675	650	625	600	550
25	800	775	750	725	700	650
32	950	925	900	875	850	750
40	1100	1075	1050	1000	950	875
50	1250	1225	1200	1150	1100	1000
63	1450	1425	1400	1350	1300	1200
75	1550	1500	1450	1400	1350	1250
90	1650	1600	1550	1500	1450	1350
110	1850	1800	1750	1700	1600	1400
125	2000	1950	1900	1800	1700	1500
140	2100	2050	2000	1900	1800	1600
160	2250	2200	2100	2000	1900	1700
180	2350	2300	2200	2100	2000	1800
200	2500	2400	2300	2200	2100	1900
225	2650	2550	2450	2350	2250	2000
250	2800	2700	2600	2500	2400	2150
315	3150	3050	2950	2850	2700	2450

KUVA 10. PP-putkistojen kannakevälit (Georg Fischer 2011.)

7.2.4 Putkiston kannatusvälin ja jännityksen laskeminen

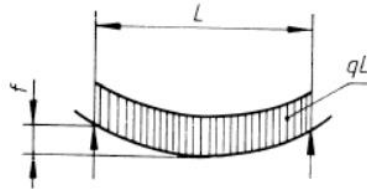
Suosittelut kannatusvälit teräsputkille löytyvät standardin PSK 7304 taulukoista 1 - 6. Kannakevälit on määritelty seuraavin perustein:

- Teräsputkien seinämäpaksuudet ovat standardin SFS-EN 10220 mukaiset.
- Austeniittisten teräsputkien seinämäpaksuudet ovat standardin SFS-EN10217-7 mukaiset.
- Eristyspaksuudet ovat standardin SFS 3977 taulukon B.5 mukaiset ja käyttölämpötilat 120 °C ja 250 °C.
- Eristeen tiheys on 90 kg/m³.
- Päällysteen pinta-alamassa on 3,9 kg/m².
- Nesteen tiheys on 1000 kg/m³.
- Putken suurin sallittu taipuma on 3 mm, kun nimelliskoko ≤ DN 50 ja 6 mm, kun nimelliskoko > DN 50. (PSK standardisointi 2015)

Kannakevälit on laskettu seuraavilla kaavoilla:

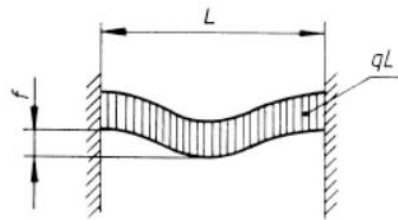
Päistään vapaasti tuetun putken kannatusväli (kaava 1) ja jännitys (kaava 2)

$$L = \sqrt[4]{\frac{384 E I f}{5 q}} \quad (1) \quad \sigma = \frac{q L^2}{8 W} \quad (2)$$



Kiinteästi tuetun putken kannatusväli (kaava 3) ja jännitys (kaava 4).

$$L = \sqrt[4]{\frac{384 E I f}{q}} \quad (3) \quad \sigma = \frac{q L^2}{12 W} \quad (4)$$



joissa:

L	Kannatusväli	[mm]
E	Kimmomoduuli	[N/mm ²]
I	Pintahitautsmomentti	[mm ⁴]
W	Taivutusvastus	[mm ³]
f	Taipuma	[mm]
σ	Jännitys	[N/mm ²]
q	Jatkuva kuormitus	[N/mm]

(PSK standardisointi 2015)

Monimutkaisemmissa tapauksissa lämpöjännitykset lasketaan FINNSAP – ohjelmalla. FINNSAP on yleinen FEM -lujuuslaskentaohjelmisto koneenrakennuksen, teräsrakentamisen, laitossuunnittelun ja rakennusalan sovellutuksiin. (Femdata 2015)

7.3 Kuormitukset

Putken oma paino sisältöineen on tärkein kannatukseen kohdistuva kuormitus. Tämän kuormituksen määrittämiseen voidaan käyttää standardia SFS 5363. Putken liikkeistä ja jousto- ominaisuuksista johtuvat kuormitukset kohdistuvat kiintopisteisiin ja ohjaaviin kannakkeisiin. Putkeen kohdistuvaa kuormitusta aiheuttaa myös putken liikettä kannatuskohdissa vastustava kitka. Kitkakertoimina voidaan käyttää:

- Teräs/teräs, sisätilat tai edulliset olosuhteet: $\mu = 0,3$
- Teräs/teräs, ulkotilat tai epäedulliset olosuhteet: $\mu = 0,5$
- Teräs/PTFE, $\mu = 0,15$

Lisäksi putkeen kohdistuvia kuormituksia arvioitaessa tulee huomioida seuraavat kuormituksia aiheuttavat seikat:

- Mahdollisen vesipainekokeen aiheuttama kuormitus
- Lauhteen aiheuttama kuormituslisä (esim. höyryputkistot)
- Paineiskut. Putkissa joissa paineiskuja voi esiintyä, on kannatusrakenteet tehtävä sellaisiksi että ne kestävät ja vaimentavat niitä.
- tuuli-, lumi-, ja muut ulkoiset kuormat (Suomen standardisoimisliitto 2000)

7.4 Kannaketyypit

Ohjaukset ja kiintopisteet

Ohjaukset ja kiintopisteet on tarkemmin esitelty standardissa PSK 7306. Putkiston kannatus. Ohjaukset ja kiintopisteet. Kiintopiste estää putken kaiken liikkeen tukemiskohtaansa nähden. Ohjauspiste rajoittaa putken

liikkeitä ohjaukskohdassa. Jos putkeen liittyy arkoja laitteita ja on odotettavissa iskumaisia kuormituksia, on arat laitteet suojattava sopivilla kiintopiste- tai ohjausrakenteilla. (PSK standardisointi 2014)

Kynsiohjaimet

Kynsiohjaimet on tarkemmin esitelty standardissa PSK 7360. Putkiston kannatus. Kynsiohjain. Tässä standardissa esitetyt kynsiohjaimia käytetään standardien PSK 7320 – PSK 7326 mukaisten liukukannattimien aksiaalisina ohjaimina. (PSK standardisointi 2014)

Estopalat

Estopalat on tarkemmin esitelty standardissa PSK 7362. Putkiston kannatus. Estopala. Standardin esittämiä estopaloja käytetään estämään putken liukuminen kiinto- ja ohjauspisteissä sekä pystyputken ohjaus- ja kannatuskohdissa. (PSK standardisointi 2014)

U – sanka

U – sanka on tarkemmin esitelty standardissa PSK 7312. Putkiston kannatus. U - sanka. (PSK standardisointi 2014)

Putkisangat

Putkisankoja käytetään riippu- ja liukukannattimien sekä ohjaus- ja kiintopistekohtien rakenneosina. Putkisangat on tarkemmin esitelty standardeissa PSK 7307, PSK 7308, PSK 7309 sekä PSK 7311. (PSK standardisointi 2014)

Liukukannakkeet

Liukukannatus on teollisuusputkistojen suositeltavin kannatustapa. Se sallii putkelle suuret liikkeet. Putkiryhmien kannatuksessa esim. putkisilloilla ja -tunneleissa se on melkein ainoa mahdollinen kannatustapa. Liukukannatuksessa esiintyvä kitka vaimentaa mahdollisia dynaamisia häiriöitä. Liukukannakkeet tarkemmin esiteltynä standardeissa

PSK 7320, PSK 7321, PSK 7322, PSK 7323, PSK 7324, PSK 7325, PSK 7326, PSK 7327 ja PSK 7328. (PSK standardisointi 2014)

Riippukannakkeet

Riippukannatus on monesti edullinen kannatusmuoto, koska siinä sekundäärikannatusosien tarve on vähäinen ja kiinnityspisteet voivat olla kaukana putken yläpuolella. Kannatusmuoto sallii putken herkkäliikkeisyyden, mutta jättää putken alttiiksi värähtelylle.

Kannatusmuotoa ei voi suositella kohtiin, joissa esiintyy suuria putken liikkeitä. Riippukannakkeet tarkemmin eriteltynä standardeissa välillä PSK 7340 – PSK 7350. (PSK standardisointi 2014)

Jousikannakkeet

Jos putkella on kannatuskohdassa pystysuuntaista liikettä, kannatetaan putkea joustavasti käyttämällä joko jousi- tai vakiovoimakannatusta. Jousikannatusta voi käyttää, jos putken pystyliikkeen seurauksena suurimman ja pienimmän jousivoiman suhde on enintään 1,25.

Jousikannakkeet ovat tarkemmin eriteltynä standardissa PSK 7353. (PSK standardisointi 2014)

Tasokannakkeet

Tasokannattimia käytetään pääasiallisestikannatustason yläpuolella olevien ja joissakin tapauksissa myös pystysuuntaisten putkien kannatukseen silloin, kun putken liike on vähäinen. Niitä käytetään esimerkiksi pumpun imuputken käyrän alla ottamaan vastaan putken paino. Tasokannattimet ovat tarkemmin eriteltynä standardissa PSK 7364. (PSK standardisointi 2014)

Lujitemuoviputkiston kannakkeet

Standardia PSK 7370 käytetään lujitemuoviputkiston ja lujitemuovilla vahvistetun kestumuoviputkiston kannakoinnin suunnitteluun. Kannakkeiden tarkemmat erittelyt löytyy standardeista välillä PSK 7372 – PSK 7381. (PSK standardisointi 2014)

Sekundäärikannakkeet

Sekundäärikannakkeet kiinnitetään rakenteisiin hitsaamalla tai ruuvi-kiinnityksin. Kiinnityksessä on otettava huomioon rakennuksen tai rakenteen kestävyys niin, että niihin kohdistuva kuormitus pysyy sallituissa rajoissa. Mahdollinen värähtely on myös otettava huomioon. (PSK standardisointi 2014)

8 TYÖKUVAT

8.1 Työkuvien tekemiseen liittyviä standardeja

Yleiset piirustussäännöt on ilmoitettu standardissa SFS-ISO 128. Mittojen toleranssimerkinnät on ilmoitettu standardissa SFS-ISO 406.

Piirustuksissa sallitut mittakaavat on löytyvät standardista SFS EN ISO 5455. Mitoittaminen on ohjeistettu standardissa SFS-ISO 129.

Hitsausmerkinnöissä ja hitsauksen suunnittelussa käytetään seuraavia standardeja:

- hitsauksen lujuuslaskenta SFS2373
- hitsattujen rakenteiden yleistoleranssit SFS-EN-ISO 13920
- hitsausmerkinnät *SFS-EN 22553*.

8.2 Toleranssit

Pelkkä mittaluku ilman toleranssia on melko tulkinnanvarainen. Tolerointi tulisi esittää piirustuksissa täydellisenä, jotta voitaisiin varmistua siitä että kaikkien elementtien koko ja geometria hallitaan, eikä mitään jää epäselväksi tai valmistuksen tai tarkastuksen arvioitavaksi. Käyttämällä mitan ja muodon yleistoleransseja voidaan yksinkertaisesti varmistaa että tämä vaatimus on täytetty. (Suomen standardisoimisliitto 1993)

Standardissa SFS-EN 22678-1 määritellään neljä yleistoleranssiluokkaa ilman toleranssimerkintää oleville pituus- ja kulmamitoille.

Mikäli joillekin elementeille vaaditaan pienempiä toleransseja tai suuremmat toleranssit ovat sallittuja ja taloudellisempia, on tällaiset toleranssit merkittävä kyseisten nimellismittojen viereen.

Merkintä piirustukseen: Otsikkoalueeseen tai sen läheisyyteen on tehtävä seuraavat merkinnät:

- a) "ISO 2768";
- b) standardin ISO 2768 tämän osan mukainen toleranssiluokka.

ESIMERKKI: ISO 2768-m

Taulukossa 3 annetaan pituusmittojen yleistoleranssit:

		Arvot mm							
Toleranssiluokka Tunnus	Kuvaus	Sallitut poikkeamat nimellismitta-alueella							
		$> 0,5^{1)}$ ≤ 3	> 3 ≤ 6	> 6 ≤ 30	> 30 ≤ 120	> 120 ≤ 400	> 400 $\leq 1\ 000$	$> 1\ 000$ $\leq 2\ 000$	$> 2\ 000$ $\leq 4\ 000$
f	hieno	$\pm 0,05$	$\pm 0,05$	$\pm 0,1$	$\pm 0,15$	$\pm 0,2$	$\pm 0,3$	$\pm 0,5$	–
m	keskikarkea	$\pm 0,1$	$\pm 0,1$	$\pm 0,2$	$\pm 0,3$	$\pm 0,5$	$\pm 0,8$	$\pm 1,2$	± 2
c	karkea	$\pm 0,2$	$\pm 0,3$	$\pm 0,5$	$\pm 0,8$	$\pm 1,2$	± 2	± 3	± 4
v	erittäin karkea	–	$\pm 0,5$	± 1	$\pm 1,5$	$\pm 2,5$	± 4	± 6	± 8

¹⁾ Nimellimitoille $< 0,5$ mm, eromitat tulee merkitä vastaavan nimellismittan viereen.

TAULUKKO 3. Pituusmittojen yleistoleranssit

Taulukossa 4 annetaan viistettyjen kulmien sallitut poikkeamat:

		Arvot mm		
Toleranssiluokka Tunnus	Kuvaus	Sallitut poikkeamat nimellismitta-alueella		
		$> 0,5^{1)}$ ≤ 3	> 3 ≤ 6	> 6
f	hieno	$\pm 0,2$	$\pm 0,5$	± 1
m	keskikarkea			
c	karkea	$\pm 0,4$	± 1	± 2
v	erittäin karkea			

¹⁾ Nimellimitoille $< 0,5$ mm, eromitat tulee merkitä vastaavan nimellismittan viereen.

TAULUKKO 4. Viistettyjen kulmien sallitut poikkeamat

Taulukossa 5 annetaan kulmamittojen sallitut poikkeamat:

		Arvot mm		
Toleranssiluokka Tunnus	Kuvaus	Sallitut poikkeamat nimellismitta-alueella		
		$> 0,5^{1)}$ ≤ 3	> 3 ≤ 6	> 6
f	hieno	$\pm 0,2$	$\pm 0,5$	± 1
m	keskikarkea			
c	karkea	$\pm 0,4$	± 1	± 2
v	erittäin karkea			

¹⁾ Nimellimitoille $< 0,5$ mm, eromitat tulee merkitä vastaavan nimellismittan viereen.

TAULUKKO 5. Kulmamittojen sallitut poikkeamat

Geometrisessä toleroinnissa voidaan käyttää yleistoleransseja standardin SFS-EN 22768-2 mukaisesti.

9 YHTEENVETO

Tämän työn tarkoituksena oli tuottaa yleispätevä suunnitelustandardi Eräälle suunnittelutoimistolle. Tavoitteena oli, että työssä olisi mahdollisimman paljon suunnittelutyössä tarvittavaa tietoa nopeasti löydettävissä. Tämä työ toimii sekä aloittelevien putkistosuunnittelijoiden perehdytysoppaana että työskentelyn apuvälineenä kokeneemmille putkistosuunnittelijoille.

Tämän työn tekemisessä minua auttoi se, että minulla jo kertynyt jonkin verran kokemusta putkistosuunnittelusta, mutta uuttakin tietämystä kertyi työtä tehdessä, varsinkin prosessitekniisten laskelmien osalta.

Työn aihe on todella laaja, ja olen pyrkinyt ottamaan mukaan putkistosuunnittelun kannalta kaikki olennaisimmat asiat.

Suunnitteluprojekteissa tulee edetä mahdollisimman pitkälti standardien ja säädösten mukaan, joten standardeja on käytetty paljon tämän työn lähdetietona. Työn laajuudesta johtuen osa asioista on esitetty melko lyhyesti vain viittaamalla standardiin, jotta sivumäärä ei kasvaisi liikaa. Lisäksi monessa kohdassa tieto asiaan liittyvästä standardista riittää.

LÄHTEET

Blomberg, Teuvo. Direktiivit ja säädökset putkistosuunnittelussa: AEL Insko-seminaarit. Luentokansio (V0644/061): Helsinki:AEL

Femdata 2015. [viitattu 8.4.2015] Saatavissa

<http://personal.inet.fi/yritys/femdata/>

Georg Fischer 2015. Georg Fischer online tools. [viitattu 12.4.2015]

Saatavissa:

http://www.gfps.com/content/gfps/country_FI/fi/support_and_services/online_tools.html

Georg Fischer piping systems. 2006. Planning fundamentals for industrial piping systems. Germany:MediaCockpit.

Kallio, Juha. Putkiston virtaustekninen mitoitus: AEL Insko-seminaarit. Luentokansio (V0644/061): Helsinki:AEL

Laiho, E-M. 1991. Putkijohtojen virtausteknisen mitoituksen perusteet. Mikkeli:MTOL.

Lappeenrannan teknillinen yliopisto. 2007. Hydrauliiikka.Ko4210000 Mekatroniikan peruskurssi, luentomateriaali. [viitattu 11.4.2015].

Saatavissa:

https://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&ved=0CCsQFjAC&url=https%3A%2F%2Fnoppa.lut.fi%2Fnoppa%2Fopintojako%2Fbk60a0001%2Flisatty%2Fhydrauliteknikka.pdf&ei=ADq3VduNC-rMygO68YCwAg&usq=AFQjCNHJ1ECX94fP_VEIUfkydFeEitNnxA&bvm=bv.91071109,d.bGQ&cad=rja

Eräs suunnittelutoimisto 2015. [viitattu 8.4.2015]

Paavilainen,H.2009. Hydrauliiikka luentomoniste 1.Helsinki: Metropolia. [viitattu 11.4.2015]. Saatavissa:

<https://wiki.metropolia.fi/display/koneautomaatio/Luentomoniste>

Partanen, Aarno. Eristäminen ja lämpösaatot: AEL Insko-seminaarit.
Luentokansio(V0644/061): Helsinki:AEL

PSK Standardisointi. 2009. Standardi PSK 2401, Putkiston
virtausnopeudet. Helsinki:PSK Standardisointiyhdistys ry.

PSK Standardisointi. 2011. Standardi PSK 2640, Teollisuuden kone- ja
laitehankinnat. Putkistosuunnittelun toteutusperiaatteita. Helsinki:PSK
Standardisointiyhdistys ry.

PSK standardisointi. 2013. Standardi PSK 4201, Putkiluokat.Määrittely.
Helsinki:PSK Standardisointiyhdistys ry.

PSK Standardisointi. 2014. Standardi PSK 7302, Putkiston kannatus.
Kannakestandardien käyttö. Helsinki:PSK Standardisointiyhdistys ry.

PSK Standardisointi.1992. Standardi PSK 6001, Teollisuuskoneiden ja –
laitteiden elintarvikelaatu. Helsinki:PSK Standardisointiyhdistys ry.

Pulli,M. 2009. Virtaustekniikka. Vedensiirtojärjestelmien toiminnallinen
suunnittelu nykyaikaisin menetelmin. Tampere:Tammertekniikka.

Suomen standardisoimisliitto SFS.2002. Standardi SFS-EN 13480-
1.Metalliset teollisuusputkistot. Osa1:Yleistä. Helsinki:SFS

Suomen standardisoimisliitto SFS.2007. Standardi SFS-EN 1092-1.Laipat
ja laippaliitokset. Pyöreät laipat putkille, PN-mitoitetut.
Osa1:Teräslaipat.Helsinki:SFS

Suomen standardisoimisliitto SFS.2009. Standardi SFS-EN 10253-3.
Päittäishitsattavat putkenosat. Osa3: Valmistusmenetelmäkohtaisesti
tarkastettavat austeniittiset ja austeniittis-ferriittiset (duplex) teräset.
Helsinki:SFS

Tukes opas: Kemikaaliputkistot.2003. [viitattu 10.4.2015]. Saatavissa:
http://www.tukes.fi/tiedostot/vaaralliset_aineet/esitteet_ja_opaat/kemikaaliputkistot.pdf

LIITTEET

LIITE 1. Erään suunnittelutoimiston käyttämä virtaustekniikan laskentataulukko.

PROSESSIOLOSUHTEET		Virtaava aine	vesi	vesi
			Mitoitus 2	Mitoitus 3
Lämpötila	°C	20	20	20
Tiheys	kg / m ³	1000	1000	1000
Viskositeetti	cP	2	2	2
Höyrynpaine PT:ssä	kPa			
Virtausmäärä	m ³ / h	10,00	20,00	27,00
Likaantumiskerroin		1	1	1
I MULINJA				
Min. staattinen korkeus	m			
Paine nesteen pinnalla	kPa			
Putken sisähalkaisija	mm			
Putken karheus	mm			
Putken pituus	m			
∑ kertavastukset				
Laitteiden Δp, imulinja	kPa	0	0	0
- virtausmäärä (Δp)	m ³ / h			
Virtausnopeus	m / s	0,00	0,00	0,00
Reynolds luku		0	0	0
Putkivastus	kPa	0,0	0,0	0,0
Kertavastukset	kPa	0,0	0,0	0,0
Laitteiden Δp	kPa	0,0	0,0	0,0
Linjan painehäviö	kPa	0,0	0,0	0,0
PAINELINJA				
Max. staattinen korkeus	m	0		
Paine nesteen pinnalla	kPa			
Putken sisähalkaisija	mm	38	38	56,3
Putken karheus	mm	0,1	0,1	0,1
Putken pituus	m	4	100	100
∑ kertavastukset		6,2	6,20	6,2
Laitteiden Δp, painelinja	kPa			
- virtausmäärä (Δp)	m ³ / h			
Säätöventtiilin Δp	kPa			
Virtausnopeus	m / s	2,45	4,90	3,01
Reynolds luku		46 545	93 091	84 823
Putkivastus	kPa	8,9	844,7	199,9
Kertavastukset	kPa	18,6	74,4	28,1
Laitteiden Δp	kPa	0,0	0,0	0,0
Linjan painehäviö	kPa	27,5	919,1	228,1
PUMPPU				
Virtausmäärä	m ³ / h	10	20	27
	l / s	2,78	5,56	7,50
	kg / h	10 000	20 000	27 000
Imupaine	kPa	0	0	0
Poistopaine	kPa	27	919	228
Nostokorkeus	kPa	27	919	228
Nostokorkeus	m	2,8	93,7	23,3
NPSHa	kPa	0	0	0
NPSHr	m	0,0	0,0	0,0
Hydraulinen teho	kW	0,1	5,1	1,7
Hyötysuhde	%	70	70	70
Tehontarve	kW	0,1	7,3	2,4

LIITE 2. Kuva pressure drop-ohjelmistosta.

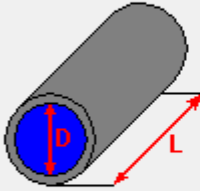
File Table Flow Medium Pipe Calculate Extras Help

Element of pipe

Number of elements: 1

Straight pipes - circular

Pipe identification:



Diameter of pipe D: mm

Length of pipe L: m

Pipe roughness: mm

Flow medium

Flow medium:

Volume flow: m³/h

Flow branching pipe: m³/h

Density: kg/m³

Dyn. Viscos.: 10⁻⁶ kg/ms

Condition: liquid gaseous

Additional data for gases

Pressure (inlet, abs.): bar

Temperature (inlet): °C

Temperature (outlet): °C

Output table: