LAB University of Applied Sciences

Prosessiputkiston kustannusarvion muuttujat

LAB-ammattikorkeakoulu
Konetekniikan Insinööri (AMK)
2023
Riina Aakio

Tiivistelmä

Tekijä(t)	Julkaisun laji	Valmistumisaika
Aakio, Riina	Opinnäytetyö, AMK	2023
	Sivumäärä	
	33	

Työn nimi

Prosessiputkiston kustannusarvion muuttujat

Tutkinto ja koulutusala

Insinööri (AMK), konetekniikan koulutus

Toimeksiantajaorganisaatio

AFRY Finland Oy

Tiivistelmä

Opinnäytetyössä tutkittiin prosessiputkiston kustannusarvion muuttujia ja sitä mitkä niistä ovat kriittisimpiä tekijöitä kustannuksien kasvun suhteen. Tutkimusta suoritettiin saadun aineiston avulla, joka koostui toteutuneiden projektien tarjouksista.

Tietoa projektien kohtaamista ongelmista kerättiin haastattelemalla sekä tilaaja- ja urakoitsijapuolen edustajia. Esiin nousseet ongelmat johtivat usein kustannusmuutoksiin. Tutkimuksen perusteella toteutettiin tarkastuslista, jonka avulla kustannusmuuttujat voidaan tunnistaa ja huomioida ajoissa.

Saadun tiedon perusteella selvisi, että asennustyöllä on merkittävin rooli projektin kustannuksissa. Asennustyön sisältämät muuttujat kuten kannakointi ja telinetyö aiheuttivat suurimpia muutoksia kustannuksiin projektien asennusvaiheessa.

Opinnäytetyö toteutettiin toimeksiantona AFRY Finland Oy:lle.

Asiasanat

putkistosuunnittelu, kustannusarvio, teollisuus

Abstract

Author(s)	Type of Publication	Published
Aakio, Riina	Thesis, UAS	2023
	Number of Pages	
	33	

Title of Publication

Process piping cost estimate variables

Degree, Field of Study

Engineer (UAS), Mechanical Engineering

Organisation of the client

AFRY Finland Oy

Abstract

The purpose of the study was to find the variables in process piping cost estimate and which of them are the most critical factors in terms of cost growth. The research was carried out with the help of the obtained material, which consisted of offers from completed projects.

Information about the problems faced by the projects was collected by interviewing representatives of both the client and the contractor side. The problems that emerged often led to cost changes. As a result of the study a checklist was implemented, to help recognize and notice the cost variables on time.

Based on the information received, it became clear that the installation work plays the most significant role in the project's costs. The variables included in the installation work, such as supporting and working on scaffolding caused the biggest changes in costs during the installation phase of the projects.

The thesis was carried out as an assignment for AFRY Finland Oy.

Keywords

pipeline modelling, cost estimation, industry

Sisällys

1 Johdanto 2
2 Projektin aloitus 3
2.1 Esisuunnittelu 3
2.2 Kustannusarvion sisältö 4
3 Toteutussuunnittelu 5
3.1 Putkisto 5
3.2 Putkistokomponentit 6
3.3 Reititys 7
3.4 Layout 9
3.5 3D-suunnittelu 9
4 Toteutuneiden projektien tarjoukset 11
5 Projektin kustannukset 14
5.1 Tehdas- ja laitossuunnittelu 14
5.1.1 Nykyisen putkiston purku- ja muutostyöt 15
5.1.2 Layout-muutokset 15
5.1.3 Perustukset 16
5.2 Urakoitsijan kilpailutus ja työmaan toteutus 16
5.3 Työmaan hallinta 17
5.4 Koneet ja laitteet 17
5.5 Kannakointi 18
5.6 Putkisto 20
5.6.1 Putkikoko ja materiaali 21
5.6.2 PED 21
5.6.3 Ultrakorkea paineinen putkisto 24
5.6.4 ATEX 24
5.6.5 Kemikaaliputket 25
5.6.6 Putkiston esivalmistus ja liitokset 26
5.6.7 Asennus 27
5.6.8 Telinetyöt 28
6 Yhteenveto ja pohdinta 30
Lähteet 32

Liitteet

Liite 1. Putkistoprojektien tarjoukset

Liite 2. Prosessiputkistoprojektin kustannuksien hallinta, tarkastuslista

Käsitteet

Putkiluokka - Putkiluokalla tarkoitetaan samaan putkilinjaan soveltuvien putkien ja putkenosien valikoimaa, jossa mitat ja materiaalit on ennalta määritetty. Putkiluokka määritellään tietylle paineluokalle ja lämpötila-alueelle, joille putkiluokassa määritellyt komponentit soveltuvat.

Kustannusindeksi – Mittaa kustannustekijöiden hintojen kehitystä tiettynä ajanjaksona.

WBS (work breakdown structure) – Työnositustapa, tässä suurempi aihekokonaisuus jaetaan pienemmiksi osiksi, jotta kokonaisuuden käsittely helpottuisi.

PED – Painelaitedirektiivi

Keilamalli – Suunnittelun tueksi laserkeilaamalla tehty kolmiulotteinen aineisto

Mannekiini – Tilapäisesti asennettu putken osa laippoineen, jonka tarkoituksena on helpottaa asennustyötä

ATEX – räjähdysvaarallinen tila (atmosphères explosibles Ex explosive)

Putkimatto – Vierekkäin kulkevien putkien muodostama rakenne.

Putkistoarmatuuri – Putkistoon kuuluva kiinteä metallivaruste, putkistokomponentti.

Iteratiivinen – Työskentelytyyli, jossa haluttua asiaa toistetaan, kunnes päädytään haluttuun lopputulokseen.

Määrälista – Listaus projektin sisältämistä uusista putkilinjoista.

1 Johdanto

Kustannukset ovat merkittävä tekijä, kun yritys suunnittelee uuden investointiprojektin toteutusta. Tästä syystä insinööritoimiston tulee olla kykenevä selvittämään investointiprojektin kokonaiskustannukset. Insinööritoimistojen on hyvä verrata tekemäänsä kustannusarviota jo kerättyyn dataan ja tietoon sekä huomioida kustannusindeksi.

Tässä opinnäytetyössä perehdytään putkistosuunnittelun kustannusarvion sisältöön esisuunnitteluvaiheessa: siihen mistä kustannukset koostuvat ja mitkä asiat voivat tuoda muutoksia jo tehtyihin arvioihin sekä kuinka suurista kustannusmuutoksista voi olla kyse. Tässä opinnäytetyössä selvitetään putkiston kustannuksiin vaikuttavia tekijöitä, jotta suunnittelija voi huomioida ne ajoissa.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on laatia tarkastuslista, joka jää AFRY Finland Oy:lle sisäiseen käyttöön kustannusarvion laadinnan tueksi. Tarkastuslistan avulla eri kustannusmuuttujat voidaan tarkistaa ja huomioida projektin edetessä. AFRY Finland oy on suunnittelu ja konsulttipalveluita tarjoava globaali yritys. AFRY on Pohjoismaalainen yritys, jonka pääkonttori sijaitsee Tukholmassa. AFRYn ratkaisut vastaavat globaaleihin megatrendeihin kuten teollisuuden digitalisaatioon, energiamarkkinoiden murrokseen, biotalouteen sekä kaupungistumiseen. (AFRY)

Putkistokustannuksia tutkitaan AFRYn sisäisen materiaalin avulla toteutuneiden projektien tarjousten perusteella. Kustannuksiin vaikuttavia tekijöitä ja niiden vaikuttavuutta kartoitetaan haastattelemalla tilaajan puolen edustaja sekä urakoitsijoita.

2 Projektin aloitus

2.1 Esisuunnittelu

Esisuunnitteluvaiheessa käsitellään erilaisia prosessivaihtoehtoja. Tässä vaiheessa ei ole tietoa kaikista käytettävistä laitteista eikä niiden tarkkaa tyyppiä tiedetä. Esisuunnittelussa selvitetään, mitä haluttu kokonaisuus tulee maksamaan. Työvaihe on pääasiassa selvitystyötä, edes investointipäätöstä ei välttämättä vielä ole. Esisuunnitteluvaiheessa selvitetään, onko investoinnille toteutusmahdollisuutta. Esisuunnitteluvaihe sisältää osittain samoja suunnittelutehtäviä kuin toteutussuunnitteluvaihe, mutta esisuunnitteluvaiheessa tehtävät toimeksiannot ovat lähinnä eri kustannusten arvioimista eri prosessivaihtoehdoille. Esisuunnittelussa on tärkeä tunnistaa ne tekijät, jotka vaikuttavat projektin kokonaiskustannuksiin, jotta niihin voidaan reagoida ajoissa. (Kantanen 2022.)

Esisuunnittelu käynnistyy kriteerien rajaamisella. Projektin alussa selvitetään lähtötiedot esimerkiksi tarvittavalle tuotantokapasiteetille ja tuotteen laadulle, käytettäville raaka-aineille sekä päästöjen käsittelylle. Myös suunnitelma valmiin tuotteen varastointitavoista sekä varastokapasiteetista on hyvä selvittää. Saatujen lähtötietojen avulla prosessisuunnittelija tekee alustavan suunnitelman prosessin virtauskaaviosta. Virtauskaavion perusteella voidaan arvioida, mitä mahdollisia laitteita prosessi vaatii. Esisuunnittelussa käytetään mahdollisimman paljon aikaa laitoksen toimivuuden sekä energiatehokkuuden maksimointiin. (Pere 2016, 14–16.)

Jotta voidaan välttyä suurilta yllättäviltä kustannuksilta, tulee esisuunnittelu tehdä erityisen huolellisesti. Muutostyöt projektin alkuvaiheessa on huomattavasti edullisempia ja mutkattomampia kuin esimerkiksi asennusvaiheessa tulevat yllätykset. Esisuunnittelun lähtökohtana on tehdä pohja putkistosuunnittelulle. (Kohvakka 2018, 47.)

Kuitenkin jo esisuunnitteluvaiheessa tehdään hieman putkistosuunnittelua. Tärkeimmät putkistot tulee reitittää suurin piirtein sekä paikoittaa putkisillat tehdasalueelle. Putkille lisätään PED-luokittelu sekä suunnitellaan tarvittavat tie-in pisteet tulevalle prosessiputkistolle. (Kohvakka 2018, 47.)

Esisuunnitteluvaiheessa on myös erityisen tärkeää käydä läpi projektisopimuksen sisältämät standardit sekä valmistuvan laitoksen vaatimukset. Etenkin putkistosuunnittelulle tulee saattaa tiedoksi asiakkaan vaatimukset koskien putkistojen kannakointia ja eristämistä. Putkistosuunnittelijan tulee myös tietää laitoksen vaadittavat korot kulkuväylille. (Kohvakka 2018, 47.)

Heti projektin alussa käydään yhteisesti läpi projektin aikataulu ja keskustellaan sen mahdollisista haasteista. Aikataulun suunnittelussa tulee ottaa huomioon niin itse suunnitteluun kuluva aika kuin itse asennustyö. Myös koekäytöt aikataulutetaan esisuunnitteluvaiheessa. (Kohvakka 2018, 47.)

2.2 Kustannusarvion sisältö

Kustannusarviota tehdessä aloitetaan hintojen arviointi prosessisuunnittelijalta tulleen esisuunnittelukaavion tai laitetoimittajan esittämän prosessiratkaisun pohjalta. Esisuunnittelukaaviona toimivassa PI-kaaviossa eritellään tarvittavat putkilinjat, venttiilit sekä käytettävät putkikoot. Mahdolliset puutteet esisuunnittelukaaviossa voivat johtaa vakaviin heittoihin lopullisissa kustannuksissa. Tällöin esisuunnittelukaavio voi toimia suurena virhelähteenä kustannuksia arvioitaessa. Virheen suuruuteen vaikuttaa kuitenkin se, mitä puutteita kaavioon on tullut. Esimerkiksi puuttuvan venttiilin lisäys on huomattavasti kuin pumpun puuttuminen. Pumpun asentaminen vaatii perustusten tekemisen, joka väistämättä kasvattaa kuluja. Toisaalta näytteenottolinjan lisäys voi tuoda merkittäviäkin lisäkuluja, mikäli putkilinja on suunniteltu kulkemaan sellaista reittiä, josta näytteenotto on haastava toteuttaa helposti saavutettavalle paikalle. (Kantanen 2022.)

Kun putkistoa suunnitellaan, tulee myös erilliskustannuksia putkistokustannuksien lisäksi. Erilliskustannuksia ovat esimerkiksi henkilökulut, joihin sisältyy projektin johdon, suunnittelijoiden sekä asennusvalvonnan palkat. Palkkojen lisäksi henkilöstölle tarvitaan esimerkiksi työmaalle vaadittavat koulutukset sekä vakuutukset. Suunnittelutyö tulisi myös arvioida erilliskustannuksiin. Yleisesti itse työmaalta tulevat asennuskulut on laskettu toimittajan hinta-arvioon mukaan eivätkä täten kuulu erilliskustannuksiin. (Kantanen 2022.)

Putkiston hintaa voidaan määrittää:

1. putkihinta €/m
2. yksikköhinta eri putkikomponentille, sisältäen asennuksen ja putkikomponentin yksikköhinnan

Hinnan arvioinnissa voidaan hyödyntää taulukkolaskentaohjelmaan rakennettuja laskentatyökaluja, mutta myös kokemusperäinen arvio on tärkeässä asemassa. Kokemusperäistä tietoa voidaan hyödyntää esimerkiksi kertoimien avulla, jolloin kustannuksia voidaan peilata johonkin vastaavaan edelliseen projektiin ja sen toteutuneeseen kustannukseen. (Kantanen 2022.)

3 Toteutussuunnittelu

3.1 Putkisto

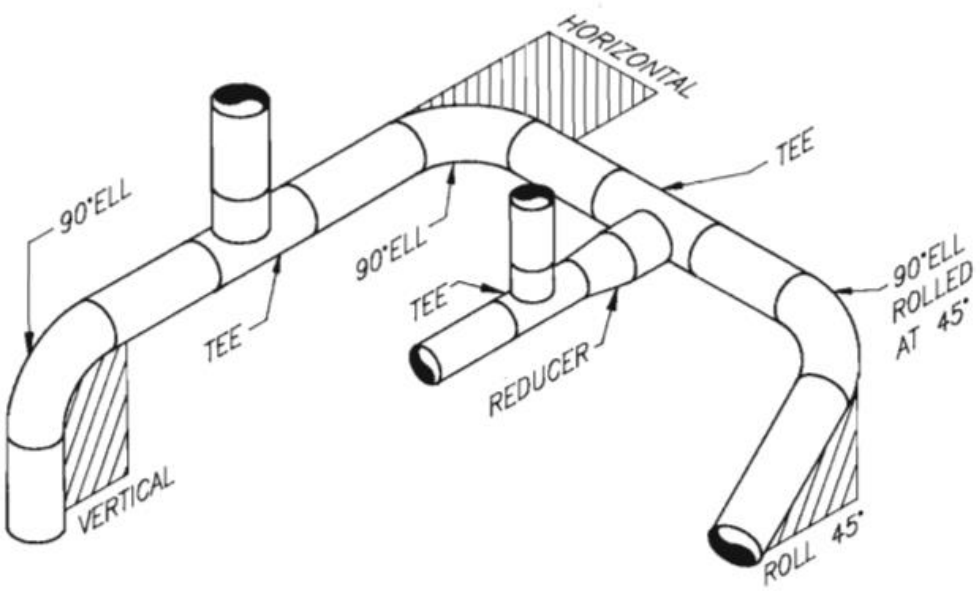
Putkistojen tarkoitus on siirtää luotettavasti eri aineita käyttökohteelta toiselle tarpeiden mukaisesti ja luotettavasti. Tämän tarkoituksen täyttämiseksi putkistokokonaisuus käsittää useita erilaisia komponentteja ja varusteita. Putkistoa suunniteltaessa ja rakennettaessa tärkeimpiä yksittäisiä tekijöitä ovat toimivuuden lisäksi turvallisuus ja taloudellisuus. Lainsäädäntö määrittelee yleisellä tasolla tietyt minimivaatimukset, jotka putkiston tulee täyttää. Tämän lisäksi putkiston tarkoituksenmukainen toimivuus, käytettävyys, huollettavuus ja muut putkistolle vaaditut ominaisuudet nostavat putkistoinvestoinnin kustannuksia. Lainsäädännön asettamat velvoitteet täytetään helpoiten noudattamalla eri standardeja johdonmukaisesti. Standardit helpottavat putkistosuunnittelijan työtä sekä tarjoavat ratkaisuja erilaisiin tapauksiin. (AFRY sisäinen materiaali.)

Vaikka jo esisuunnittelussa toteutetaan putkistosuunnittelua kriittisten linjojen osalta, alkaa varsinainen putkistosuunnittelu vasta toteutussuunnitteluvaiheessa, jossa prosessiputkiston suunnittelu toteutetaan kokonaisuudessaan. (Pere 2016, 14–26.) Yleispätevän putkistosuunnitteluohjeen laatiminen on hyvin haasteellista, koska putkistoja hyödynnetään teollisuudessa moninaisissa kohteissa. Putkien vaatimukset voivat erota paljon toisistaan, esimerkiksi riippuen siitä tuleeko suunniteltu putki osaksi ydinvoimalan primääriputkistoa vai onko kyseessä palveluputkisto, joka kuljettaa vettä tai paineilmaa laitoksessa. Täten projektikohtaiset suunnitteluohjeet ovat tärkeitä putkistosuunnittelun tueksi ja turvaamiseksi. Kuitenkaan aivan kaikkea ei pystytä rajaamaan esisuunnitteluvaiheessa laadittuihin ohjeisiin, ja tällöin suunnittelijan ammattitaito, tiedonhaku ja niiden soveltaminen nousee erittäin tärkeäksi tekijäksi. (Pere 2016, 14–1–2.)

Pelkästään esisuunnitteluohjeiden sekä standardien noudattaminen putkistosuunnittelussa ei ole aina riittävää, vaan suunniteltujen rakenteiden tulee kestää kuormitusta myös poikkeustilanteissa. Näissä tilanteissa lujuuslaskenta tulee osaksi putkistosuunnittelua. Lujuuslaskija tarkastaa suunnitellun putkiston lujuuden ja antaa suunnittelijalle joko muutos vaatimuksia tai toteaa putkiston tarpeeksi kestäväksi. Tavallisten suunnitteluvaatimusten lisäksi tulee huomioida muut kohteeseen tai suunnitteluun vaikuttavat viranomaismääräykset. Tällaisia voivat olla esimerkiksi painelaitemääräykset eli PED-direktiivi tai räjähdysvaarallisten aineiden ATEX-määräykset sekä kemikaalisäädäntö. (Pere 2016, 14–1–2.)

3.2 Putkistokomponentit

Yksinkertaisuudessaan suunniteltu putkisto koostuu suorista osuuksista, putkistokomponenteista sekä mahdollisista mittalaitteista. Kuvassa 1 on esitettynä yleisimmät putkistokomponentit yhden putken kokonaisuudessa.



Kuva 1 Putkiston eri komponentteja (Parisher & Rhea 2012, 13)

Suora putki on kaikista käytetyin komponentti. Suoran putken jälkeen yleisin putkistokomponentti on käyrä tai taivutus. Käyriä on saatavilla eri taivutussäteillä, mutta tarvittaessa esimerkiksi prosessiteknillisistä syistä voidaan suorasta putkesta valmistamaan standardisoituja loivempia käyriä esimerkiksi taivuttamalla. Yllä olevassa kuvassa 1 on esitettynä 90 käyrä sekä 45 asteen taivutettu käyrä. Putkistot pyritään yleensä suunnittelemaan valmiilla 90° kauppakäyrillä. On kuitenkin usein tilanteita, joissa vaaditaan, joko taivutuksia tai osakäyriä. Osakäyriä käytettäessä on hyvä muistaa pyrkiä käyttämään käyriä 30°, 45° tai 60° asteluvuilla. Tällöin käyrien valmistus työmaalla on helpompaa ja käyrän toinen puoli voidaan mahdollisesti hyödyntää muussa kohtaa putkistoa. Erityisesti hintaa nostattaa kustomoidut käyrät, jotka joudutaan valmistamaan erikseen johonkin tiettyyn haluttuun kulmaan. (AFRY sisäinen materiaali.)

Putkiston kokoa muuttaessa käytetään kartioita. Kartioita on kahta erityyppiä, keskeisiä ja epäkeskeisiä kartioita. Kuvassa 1 esitettynä yleisempi keskeinen kartio. Epäkeskeisiä kartioita käytetään kohteissa, joissa putkistoon ei saa kertyä ilma- tai vesitaskuja. Epäkeskeinen kartio

voidaan valita myös muuttamaan putkiston linjausta. Esimerkiksi höyryputkistoissa käytetään epäkeskeistä kartiota kohdissa, joissa ei haluta lauhteen kertyvän taitekohtaan. Taitekohtia ovat esimerkiksi supistukset ennen virtausmittaria tai venttiiliä. Nestettä sisältävissä linjoissa pyritään puolestaan välttämään ilman kertyminen kartioon esimerkiksi ennen pumppua. (AFRY sisäinen materiaali.)

Haaroitus putkistossa voidaan toteuttaa monella eri tavalla, esimerkiksi sijoittamalla putkistoon komponenttina löytyvä T-kappale tai valmistamalla haaroitus istutuksella. Yllä olevassa kuvassa esitetään ainoastaan T-kappale. Haaroitukset ovat hyvin yleisiä, mutta niiden lujuuslaskennassa on usein puutteita. Kaupallisilla osilla kestävyys saadaan helposti selvitettyä esimerkiksi standardien avulla. T-kappaleita on käytännössä olemassa kahta eri tyyppiä: täydenpaineen T-kappaleet tai niin kutsutut normaalit T-kappaleet. Täydenpaineen T-kappaleet kestävä saman paineen kuin vastaavan paksuinen putki. Nämä ovat haaroituksen alueelta paksumpia. Tavalliset T-kappaleet eivät kestä yhtä suurta painetta kuin vastaava putki ja ovat yleensä kauttaaltaan saman paksuisia. T-kappaleita saadaan valmistettua hitsattuina tai saumattomana. Toinen vaihtoehto toteuttaa haaroitus on käyttää istutusta, jossa kaksi tavallista putkea liitetään toisiinsa. Tarvittaessa isompaa runkoputkea voidaan vielä vahvistaa levyvahvikkeella liitoskohdasta. (AFRY sisäinen materiaali.)

3.3 Reititys

Lähtökohtaisesti suunnitellun putkiston perusperiaate on hyvin yksinkertainen. Putkiston tehtävänä on kuljettaa ainetta virtauskaavion mukaisesti paikasta toiseen. Kuitenkin käytännössä tapahtuvaan putkistosuunnitteluun liittyy monia erilaisia haasteita. Jotta kustannuksia voidaan hallita jo heti projektin alussa, olisi putkiston pääreititys hyvä tehdä taloudellisesti, eli suosimalla mahdollisimman lyhyitä reittejä. Reitittäessä on kuitenkin väistettävä layoutissa olevia laitteita ja teräsrakenteita sekä mahdollisia nostoaukkoja ja kulkureittejä. Taloudellisesti on huomattavasti kannattavampaa ryhmittää lähekkäin kulkevia putkilinjoja putkimatoksi, jolloin niiden kannakointi yhdessä on kustannustehokkaampaa. Ryhmittelyssä tulee kuitenkin tilanteita, jossa putket risteävät sekä kääntyvät erisuuntiin. Nämä tekijät täytyy silloin ottaa huomioon, jotta putket voivat lopulta kääntyä halutussa kohdassa suunniteltuun suuntaan ja korkoon. Lisäksi reitityksessä tulee huomioida lähtö ja päätepisteiden eli yhteiden suunta ja sijainti. (Kohvakka 2018, 41,29–30.)

Putkiston reitityksessä haetaan toimiva ja kustannustehokas reitti prosessilaitteiden välille huomioiden ainakin seuraavat asiat:

- *putkistojen pääreitit sekä putkien vaatima tila*

- *putkisiltojen ja putkikatujen käyttäminen (yhteiset reitit)*
- *putkistojen risteilykorot*
- *putkistojen prosessivaatimukset*
- *putkistojen lämpöliikkeet*
- *putkilinjojen vietot (kaadot)*
- *laitetoimittajien suositukset ja vaatimukset putkistogeometrialle*
- *ajo-, huolto-, kulku- ja hätäpoistumisteiden vaatimat tilavaraukset*
- *kaapelireittien ja ilmanvaihtokanavien tilantarpeet*
- *putkistovarusteiden ja tyhjennysten sijoitus sekä luokse päästävyys*
- *putkistojen reitittäminen siten, että toimiva kannakointi on mahdollista*
- *putkilinjojen järjestys putkisilloilla; esimerkiksi vaarallista kemikaalia sisältävät putket sijoitetaan reunimmaisiksi; mahdolliset vuodot kulkuväylille ja laitteille pyritään välttämään.*
- *huollon ja käytön vaatimat tilavaraukset (putkistovarusteet, laitteet)*
- *virtaavasta aineesta riippuen putkilinjoihin tehtävät haaroitukset sijoitetaan ylä- tai alapuolelle*
- *putkiston asennettavuus ja huollettavuus*
- *tulevaisuuden tilavaraukset uusille putkilinjoille*
- *energiatehokkuus* (PSK2402 2021, 8–14).

Kun putkistoa reititetään 3D-suunnittelutyökalulla, käytetään halutun standardin mukaista putkistospesifikaatiota. Putkistospesifikaatioon kuuluu putkiosien mitat sekä standardivaatimukset. Kun putkistoa suunnitellaan 3D-ohjelmalla, lisätään erilaisia putkikomponentteja haluttuun järjestykseen. Reitittäessä putkeen lisätään venttiilit ja instrumentit sekä tehdään tarvittavat laiteliitokset. Reititettyyn putkistoon lisätään tarvittavat kannakkeet sekä se käytetään tarvittaessa lujuuslaskennassa. Kun suunniteltu putkilinja on kokonaisuudessaan valmis, tuotetaan 3D-ohjelmassa isometriset putkistokuvat, joihin sisältyy kaikki tarvittava tieto putkiston kokoonpanoa sekä asennusta varten. (Kohvakka 2018, 41,29–30.)

3.4 Layout

Erilaisten prosessiratkaisujen suunnittelu tapahtuu layoutia muuntelemalla. Eri ratkaisuja vertailemalla voidaan todeta, mitkä ratkaisut ovat tuotannonkannalta toimivia ja mitkä tuovat mahdollisia haasteita. Layout-suunnittelu on iteratiivista, laitosta suunnitellaan osasto kerrallaan. Osastojen lopullinen järjestys löytyy suunnittelun edetessä, ja osaltaan paikat määräytyvät jo prosessisuunnittelun tekemän lohkokaavion mukaan. Kun tiedossa on prosessin vievä tila sekä kätisyys voidaan määrittää tarvittavien rakennusten mitat sekä muodot, ja tämän jälkeen laitokset sijoitetaan tehdasalueelle. (Pere 2016, 14–16.)

Layout-suunnittelussa on huomioitava mahdolliset myöhemmin tehtävät laitehankinnat ja varauduttava niiden vaatimaan tilantarpeeseen. Tämä on huomioitava myös putkistosuunnittelussa. Tilavarauksista sovitaan tapauskohtaisesti. Suunnittelussa pitää lisäksi varautua mahdollisiin laajennuksiin ja muutoksiin. Laitteiden ja putkien huollettavuuden ja kulkuteiden asettamat vaatimukset on otettava huomioon tilavarauksia suunniteltaessa. Putkien keskinäisissä etäisyyksissä on myös huomioitava eristys, putkistovarusteet, laippaliitokset ja putkiston lämpöliikkeet. (Kantanen 2022.)

Myös yleinen turvallisuus on tärkeää putkisto layoutia suunnitellessa. Täytyy kiinnittää huomiota mahdollisiin vaarallista-ainetta sisältäviin putkistoihin tai helposti kuumeneviin pintoihin, kuitenkin niin, että käytettävät venttiilit sekä mittalaitteet ovat saatavilla. (Kohvakka 2018, 31.)

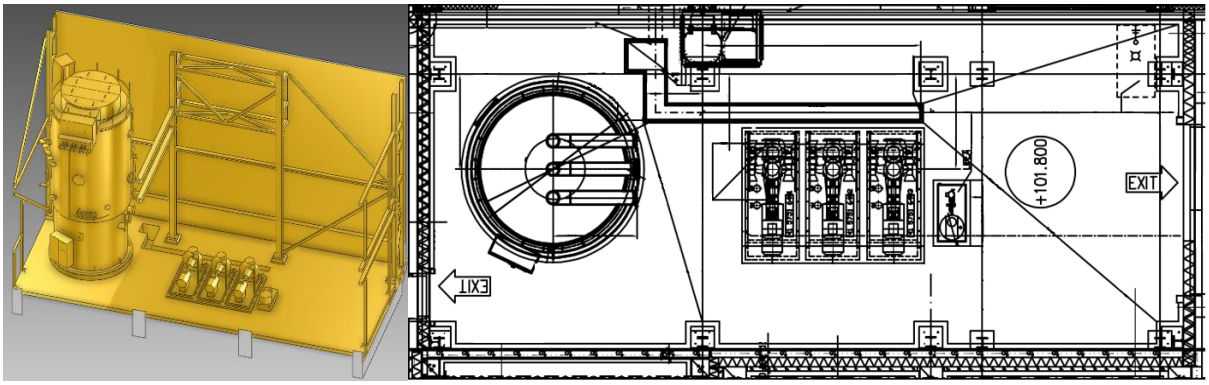
> *” Arvioidaan, että putkistokustannukset voivat nousta toimimattoman layoutin takia jopa 80 % koko laitoksen asennuskustannuksista. Voidaan myös päätellä, että osa käyttökustannuksista, 15–70 %, olisi sidoksissa laitteiden ja järjestelmien layoutiin. ”* (Kohvakka 2018, 31.)

Näiden prosenttiosuuksien perusteella selviää, että layout, ja sen toimivuus käytännössä on hyvinkin tärkeässä asemassa ja ohjailevat kustannuksia voimakkaasti. Toimimaton layout ei pelkästään aiheuta kustannusten kasvua asennusvaiheessa, vaan se tuo lisäkuluja myös laitoksen käyntikustannuksiin laitteiden ja järjestelmien ollessa huonosti sijoiteltuja.

3.5 3D-suunnittelu

Tehdasprojektissa usean tahon toteutussuunnittelu tapahtuu yhdenaikaisesti. Tästä johtuen usean kokonaisuuden yhteensovittaminen voi toisinaan olla haasteellista, mutta 3D- mallinnus on tuonut siihen huomattavaa helpotusta. Esimerkiksi mallinnusohjelmien mahdollistama

törmäystarkastelu kertoo suunnittelijalle helposti, jos reititetty putki osuu teräsrakenteisiin tai muihin putkilinjoihin. 2D-ohjelmia käytettäessä tällaista tarkastelua ei voitu suorittaa, jolloin yllätyksiä saattoi tulla asennusvaiheessa. 3D-ohjelmien tarjoamien ominaisuuksien avulla voidaan minimoida asennusvaiheessa tulevat muutokset, jotka aiheuttavat väistämättömästi kalliita viiveitä. 3D-mallissa voidaan myös tarkastella laitoksen käytettävyyttä, sekä sen toimivuutta on helppo iteroida mahdollisimman sujuvaksi. Tällä tavoin on mahdollista vaikuttaa laitoksen laatuun ja tuottavuuteen jo hyvinkin aikaisessa vaiheessa projektia. (Pere 2016, 14–14.) Kuvassa 2 havainnollistetaan 3D ja 2D suunnittelun eroavaisuuksia.



Kuva 2 erot 3D ja 2D välillä (AFRY sisäinen materiaali)

Kuten kuvasta 2 huomataan, että 3D-malli poikkeaa huomattavasti 2D-layout piirustuksesta. Samat komponentit ovat helposti havaittavissa, mutta suunnittelua helpottaa huomattavasti 3D-mallissa hahmottuva korkomaailma. Komponenttien sijoittelu ja mitoitus käy helposti, kun 3D-mallissa kaikki väisteltävät rakenteet näkyvät suoraan.

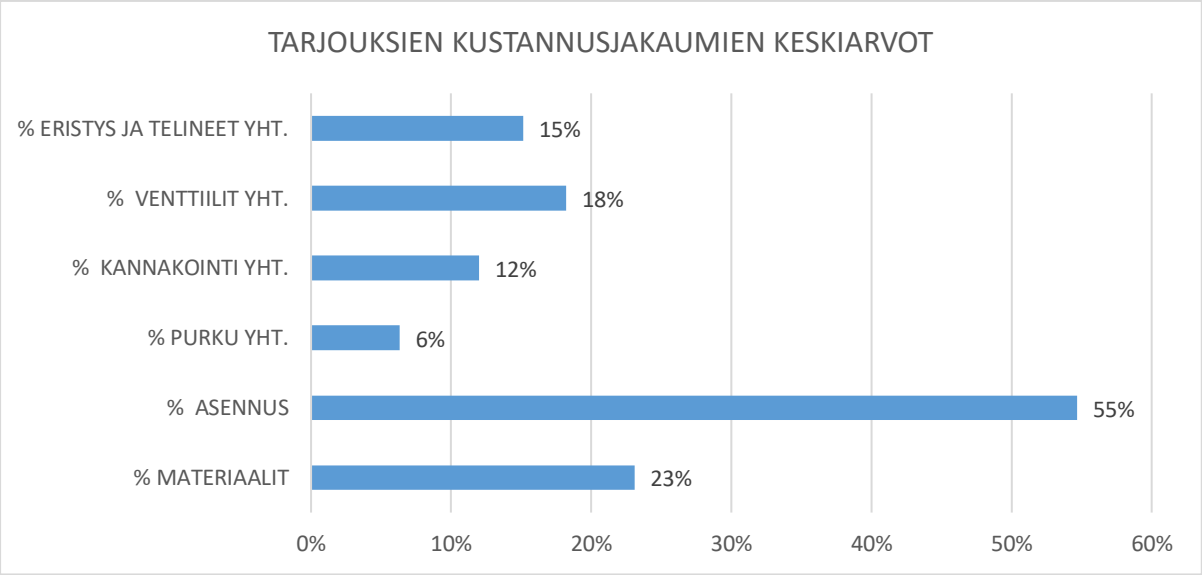
3D:n tuomia rahallisia etuja on kuitenkin haastavaa arvioida verrattuna 2D:hen, koska kokonaisuuden kustannukset riippuvat itse projektista, käytettävistä ohjelmista, aikataulusta, tuotettavista dokumenteista, suunnittelijoiden sekä ohjelmistojen tukihenkilöiden ammattitaidosta. Suunnittelutavat ovat myös osaltaan muuttuneet, kun on siirrytty 2D:stä 3D:hen, joten pelkkien suunnittelukustannuksien vertailu voi helposti johtaa harhaan. Huonolaatuinen suunnittelu johtaa muutostarpeisiin asennusvaiheessa, mikä aiheuttaa koko projektin viivästymistä sekä mahdollista jatkosuunnittelua, joka nostaa kustannuksia suunnittelun alkuperäisestä budjetista. Voidaan kuitenkin todeta, että kun mietitään laadittavien dokumenttien määrää ja laatua, tarjoaa 3D-suunnittelu huomattavasti paremman tehokkuuden ja täten matalammat kokonaiskustannukset. (Pere 2016, 14–14.)

4 Toteutuneiden projektien tarjoukset

Kustannusmuuttujia tutkittiin toteutuneiden projektien tarjouksien avulla. Tutkittu aineisto löytyy liitteestä 1. Näiden projektien putkimetrien määrän vaihtelu oli 12 m - 3500 m ja käytetyt putkikoot vaihtelivat DN15-DN500. Tehdyistä tarjouksista muodostettiin taulukko, joissa urakoitsijoiden hintatiedot oli eritelty materiaali-, asennus-, kannakointi- ja venttiilikustannuksiin sekä yhdistettyyn eristys- ja telinekustannuksiin. Pääpainona materiaalista tarkkailtiin materiaalikustannusten sekä asennuskustannuksen eroja sekä kannakoinnin sekä telinetyön merkitystä.

Jokaiselle urakoitsijalle toimitetaan sama projektikohtainen tarjousaineisto, joka sisältää määrälistan, 3D mallinnetun suurpiirteisen layoutmallin ja tarvittavat päämittakuvat. Tämän aineiston mukaan urakoitsija tekee oman tarjouksensa.

Tutkitussa aineistossa olevien kustannuksien vaihtelevuus oli suurta. Kaikkien tarjouksien hintatiedot eivät sisältäneet jokaisen tekijän hinta-arviota ja siksi kokonaisuutta analysoitiin saadun hintatiedon keskiarvon avulla. Kuvasta 3 näemme kuinka suhteelliset kustannukset ovat jakautuneet.

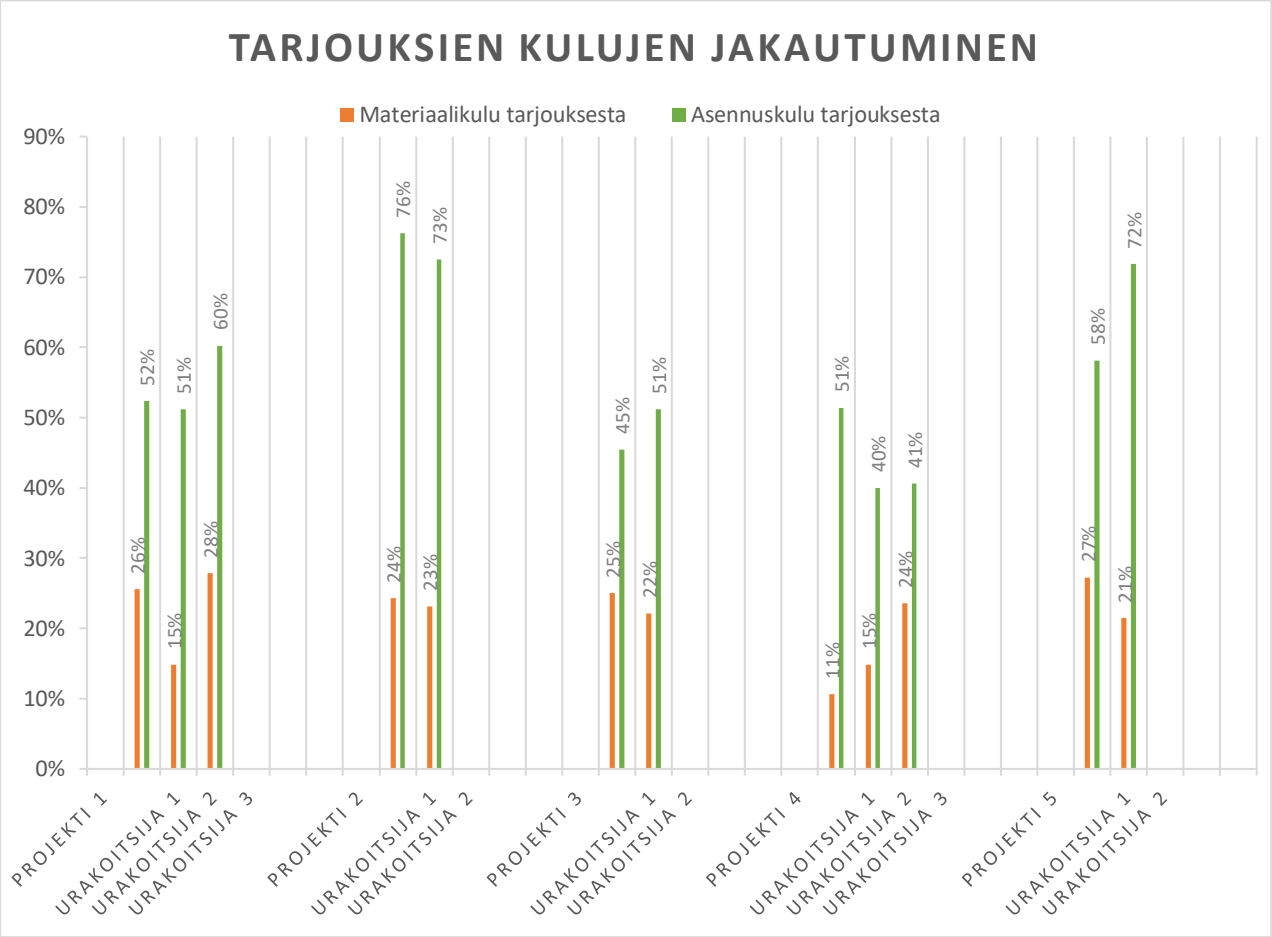


Kuva 3 Tarjouksien kustannusjakaumien keskiarvot (AFRY sisäinen materiaali)

Purkukulut ovat pienimmässä roolissa, koska niitä toteutettiin vain harvoissa projekteissa. Purkukustannukset ovat lähtökohtaisesti suuria, joten siksi niitä yleisesti pyritään välttämään. Suurimpia kustannuksia ovat asennus sekä materiaalit, mutta niitä tarkkaillaan tarkemmin

seuraavassa kuvassa 4. Venttiilien osuus kuluista nousee myös suureksi, koska materiaalikuluna venttiilit ovat huomattavasti hinnakkaampia verrattuna esimerkiksi kannakoinnissa kuluvaan rakennusmateriaaliin.

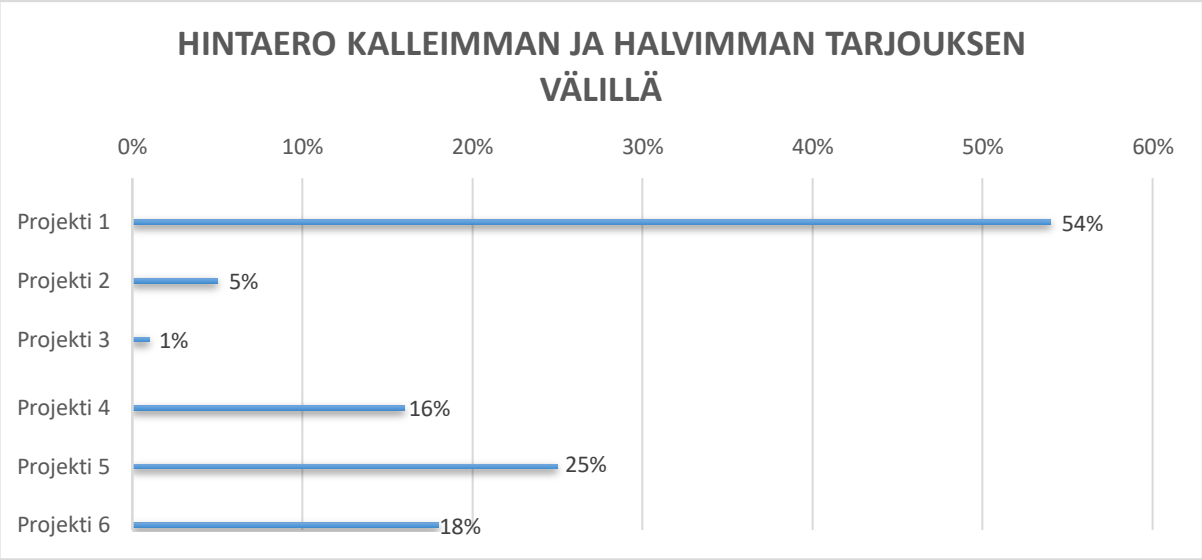
Alla olevasta kuvasta 4 näemme kuinka kulut jakautuvat asennuksen ja materiaalikulujen välillä. Tässä vertailussa on huomioitu viisi eri projektia, joista kustakin oli tehty 2–3 urakoitsijan tarjousta.



Kuva 4 Tarjouksen kulurakenne (AFRY sisäinen materiaali)

Vertailussa materiaalikuluihin on huomioitu niin putkiston sekä kannakoinnin vaatimat materiaalit. Asennuskuluissa on huomioitu itse työnsuorituksenkulut sisältäen telinetyön. Suurin osa urakoitsijan tekemästä tarjouksesta painottuu asennuskuluihin. Materiaalikuluille jää karkeasti arvioituna vain noin 20 % tarjouksen kokonaiskustannuksista. Asennustyöhön menevä kulu on huomattavasti kalliimpaa osaltaan siksi, koska työ tehdään fyysisesti käsin.

Seuraavaksi tarjousten hintaerojen vertailua. Alla olevassa kuvassa 5 on huomioitu kuusi eri projektia, joista on saatu useampi kuin yksi tarjous.



Kuva 5 Hintaero kalleimman ja halvimman tarjouksen välillä (AFRY sisäinen materiaali)

Tavoitteena oli vertailla kuinka suuria eroja tarjousten välillä voi olla ja mistä se voi johtua. Vertailu on tehty suhteessa kalliimpaan tarjoukseen. Suurimmillaan ero on voinut olla jopa yli 50 % kalleimman ja halvimman tarjouksen välillä. Tällaiseen syynä voi olla se, että toisella urakoitsijalla onkin mahdollisesti enemmän tietoa projektin laajuudesta ja haastavuudesta. Kyseinen urakoitsija on esimerkiksi voinut olla suorittamassa toista asennustyötä kohteessa ja pystynyt kartoittamaan sekä tutkimaan tarjottavan projektin vaatimuksia ja laajuutta paikan päällä. Toinen urakoitsija on voinut tehdä tarjouksen pelkän arvion kautta. Kuitenkin normaali heittely tarjousten välillä asettuu noin 20 %.

5 Projektin kustannukset

5.1 Tehdas- ja laitossuunnittelu

Tehdas- ja laitossuunnittelussa huomioidaan laitosympäristö putkiston suunnittelussa. Putkiston lisäksi tehdään suunnittelua myös laitteiden sijoittelun sekä layoutin osalta. Laitteiden sijoitussuunnittelussa on huomioitava laitteiden perustamistapa sekä tehtaan rakenteiden kantavuus. Koneiden, laitteiden ja putkiston paino tulee johtaa rakenteiden kautta perustuksille. (Kantanen 2023.) Kuvassa 6 on eriteltynä kustannuksia aikajärjestyksessä tietyn prosessivaiheen alle.

Kuva 6 Kustannukset projektin aikana

Osa asioista tapahtuu samanaikaisesti useamman työvaiheen aikana, esimerkiksi suunnittelutyötä voidaan tehdä aina asennukseen saakka sekä myös sen aikana. Näiden neljän portaan lisäksi toteutetaan myös koekäytöt, joiden aikana saattaa myös ilmetä muutostarpeita, mikäli prosessi ei toimi suunnitellusti.

5.1.1 Nykyisen putkiston purku- ja muutostyöt

Kun rakennetaan olemassa olevaan tehtaaseen uutta putkistoa, voidaan muutostöiden avulla käyttää vanhaa putkistoa hyödyksi. Myös vanhan putkiston purkaminen voi olla tarpeen, jotta saadaan optimoitua uuden putken reitti tai tilaa uusille putkilinjoille. Vanhat putkilinjat saattavat tuoda suuriakin yllätyksiä asennusvaiheessa, mikäli putket eivät ole näkyneet esimerkiksi suunnittelijalla käytössä olleessa aineistossa, eikä suunnittelijalla ole ollut mahdollisuutta käydä tarkistamassa uuden putken reittiä paikan päällä. (Kantanen 2022.)

Mahdolliset purkutyöt tulee suorittaa ennen uuden putkiston asentamista. Esisuunnittelussa olisi hyvä vertailla purkukuluja sekä mahdollisia muita kuluja, jotka putkiston purkamattomuus tuo mukanaan. Tällaisia kuluja voivat olla esimerkiksi uuteen putkistoon tarvittavat väistöt ja haastavammat reititykset. Mahdollisesti purkutyö voi tulla myös hinnakkaaksi, etenkin jos vanhaa putkistoa on paljon. Kuitenkin purkaminen on edullisempaa mitä vähemmän uusia putkia niiden seassa kulkee. Jos putkistoja mahdollisesti otetaan käyttöön vielä myöhemmin, ei niiden purkaminen tällöin ole kannattavaa. Joissain tilanteissa vanhoja putkia voidaan liittää uusiin, mutta aina uusien standardien mukaisten putkien dimensiot eivät täsmää vanhojen kanssa, tällöin niiden säilyttäminen ei välttämättä ole kovin hyödyllistä. (Kantanen 2022.)

Aikaisemmin vanhaa putkistoa ei juurikaan purettu pois uuden alta. Nykyisin pyritään poistamaan vanhaa putkistoa sitä mukaan kuin uutta rakennetaan, jotta tilanhallinta helpottuisi. Paikalla olevaa putkistoa pyritään hyödyntämään, mikäli se on mahdollista, mutta tämän esteeksi tulee helposti tiedonpuute vanhan putken soveltuvuudesta tai kunnosta. Ei välttämättä tiedetä, mitä vanhassa putkessa on aikanaan virrannut ja voiko sitä olla edelleen putkistossa, tai onko itse putkimateriaali mahdollisesti vaurioitunut esimerkiksi korroosion takia. Putkistonlisäksi tielle voi sattua käytöstä poistunutta laitekantaa sekä kaapelistoa hyllyineen. Vanhan putkiston purkaminen tulee myös sitä kalliimmaksi, mitä suurempia putkikokoja joudutaan purkamaan.

5.1.2 Layout-muutokset

Layout-muutoksia olisi hyvä välttää. Kun lähdetään muuttamaan alkuperäistä layout-suunnitelmaa, tulee se yleisesti vaikuttamaan kokonaisuuteen suuresti, vaikka muutoksen alulle paneva tekijä olisikin pieni. Jos lähdetään siirtämään prosessilaitteita tai säiliötä, tulee silloin myös niiden ympärillä kulkevat putkistot suunnitella uudestaan. Tällaisissa muutoksissa tilanne alkaa helposti paisumaan, kun käytettävää tilaa on vähän. (Kantanen 2022.)

Kun layout-suunnitelmaa tehdään, on tärkeää myös tarkastella rakenteen kantavuus eri kerroksille, jottei myöhemmin ei tule yllätyksenä, että suunniteltua laitetta ei voidakaan asettaa suunniteltuun paikkaan kantavuusongelmien takia. Rakenteiden kantavuusongelmat voivat koitua suuriksi haasteiksi, mikäli ne huomataan liian myöhään. Tällaisessa tilanteessa täytyy miettiä, että lähdetäänkö laitekantaa kerroksessa keventämään vai mahdollisesti toteuttamaan lisätuentaa rakenteille. (Kantanen 2022.)

Toteutussuunnittelun ensimmäisten vaiheiden alussa layout tulee jäädyttää. Tällä varmistetaan, että putkistosuunnittelu voidaan aloittaa. Layoutin jäädyttämisellä minimoidaan putkistosuunnittelun muutostarpeet. Tällöin myös rakenteiden mahdollinen vahvistesuunnittelu voidaan aloittaa. (Kantanen 2023.)

5.1.3 Perustukset

Koneiden ja laitteiden sijoittelu on perustana layoutsuunnittelulle. Perustuksia tarvitaan esimerkiksi pumpuille, laitteille ja siiloille. Sijainnit perustuksille tulee valita tarkkaan, jotta paikka täyttää standardissa SFS-EN 1992-1-1 annetut betonirakenteiden suunnitteluohjeet. Perustusten suunnittelun toteutetaan laitekohtaisten mitoitustiedon sekä rakennustehtävä piirustusten perusteella. Perustusten suunnitteluun voi kohdistua lisävaatimuksia esimerkiksi prosessista, ympäristöolosuhteista, asennusvaiheesta tai tarvittavasta huollosta. Näistä tulee aina informoida rakennesuunnittelijaa pikimmiten. (PSK 3011 2021, 3.)

Perustusten tulee olla tarkasti suunniteltuja, ennen kuin niitä lähdetään tekemään. Perustuksia ei aina voida siirtää, vaan virheelliseen paikkaan valmistettu perustus joudutaan purkamaan ja valamaan uudelleen oikeaan paikkaan. Joissakin tapauksissa perustus voidaan sahata irti holvista ja siirtää sellaisenaan oikeaan paikkaan. Tällöin kuitenkin jälkivalu ja raudoitus on tehtävä uudestaan. Tällainen menettely teettää turhaa työtä.

5.2 Urakoitsijan kilpailutus ja työmaan toteutus

Projektin aikana kilpailutetaan mahdolliset urakoitsijat. Urakoitsijoiden tarjousten välillä saattaa olla suuriakin hintaeroja, johon itse materiaalihinta ei vaikuta. Jokainen urakoitsija määrittää haluamansa katteen. Katteeseen voi vaikuttaa jo valmiiksi hyvä työtilanne, jolloin ei ole kannattavaa myydä resursseja liian edullisesti omien työtekijöiden ollessa jo varattuna muihin projekteihin. Tällöin urakoitsija saattaa tehdä tarjouksen korkeammalla hintatasolla,

joka sisältää mahdolliset ylityökorvaukset. Tällä tavoin urakoitsija varautuu jo tarjousvaiheessa siihen, että osa työstä voidaan tehdä ylityönä. (Kantanen 2023.)

Urakoitsija voi tehdä myös hyvin kilpailukykyisen tarjouksen, mikäli hän kokee, että projekti voisi tuottaa tulevaisuudessa lisää yhteistyötä. Tarjouksessaan urakoitsijan tulee ottaa huomioon myös riskit siitä, että suunnitellut kustannukset eivät toteudu. (Kantanen 2023.)

5.3 Työmaan hallinta

Haastatteluissa ilmeni, että työmaan turvallinen toteuttaminen vaatii suuren kokonaisuuden hallitsemista. Työmaa tulee perustaa, rajata, turvata sekä tiedottaa muille sen sijainnista ja kestosta. Ennen työmaan alkua urakoitsijalle tulee järjestää vaadittavat turvallisuuskoulutukset sekä lupahakemukset.

Haasteena työmaantoteutuksen suhteen on eri urakoitsijoiden hallinta sekä heidän aikataulujen yhteensovittaminen. Tämä vie aikaa työmaan vastuuhenkilöltä. Työmaan hallintaa voidaan helpottaa jo suunnitteluvaiheessa asiakkaan ja suunnittelijoiden välisten katselmuksien avulla, jolloin projektin eteneminen on kaikille yhtä selkeää.

5.4 Koneet ja laitteet

Kun tuotantoprosessille vaadittava kapasiteetti on valittu, kohdentuu suunnittelu työkoneiden, laitteiden ja välineiden määrittämiseen. Tällöin suunnitellaan raaka-aineiden käyttö jokaisessa prosessin työvaiheessa sekä huomioidaan ja ohjataan sivuvirrat mahdolliseen hyötykäyttöön. Prosessikoneiden kapasiteettiä määritettäessä voidaan käyttää apuna esimerkiksi työaika laskelmia, jotka kertovat suoraan mihin tuotantonopeuteen laitteet ovat kykeneviä laadun kärsimättä. Kun prosessin laitteet ja koneet on alustavasti suunniteltu ja mahdollisesti valittu, siirrytään tarkastelemaan niistä kertyviä kustannuksia. (Koponen 1988, 31.)

Prosessiputkistoihin yleisimmin liittyviä koneita ja laitteita ovat pumput, venttiilit ja erilaiset mittauslaitteet, koneet ja laitteet määrittävä käytettävän putkikoon laitteiden yhdekoon tai kapasiteetin perusteella. Käytettävät laitteet vaikuttavat siis käytettävän putkimateriaalin valintaan ja niiden kokonaiskustannuksiin. (Kantanen 2023.)

Kun vertaillaan venttiileiden kustannuksia esiin nousee kolme erityyppistä venttiiliä. Kauko-Idässä valmistettu massatuotettu venttiili, laadukas eurooppalainen venttiili tai Euroopassa valmistettu edellistä laadukkaampi venttiili, jota markkinoidaan tuotenimellä. Kauko-Idässä

valmistetuissa venttiileissä on laadunvaihtelua, mutta osalla valmistajista on toimiva laadunhallinta ja tuotedokumentaatio. Kauko-Idästä toimitetuista venttiileistä on huomioitavaa toimitusaika ja kuljetuskulut. Näitä massatuotettuja venttiileitä tulisi käyttää lähinnä vesi- ja ilmalinjoihin, PED 0. Kun siirrytään esimerkiksi höyryputkiin myös venttiileiden vaatimukset kasvavat. Tällöin tulee tarkastella myös venttiilivalintaa tarkemmin ja huomioida huollettavuus sulkuominaisuuksien lisäksi. Laadukkaampiin venttiileihin varaosien löytyminen on todennäköisempää kuin massatuotantona tehtyihin. Venttiilejä ei kuitenkaan tulisi valita tarkoituksella liian hyväksi valitsemalla ylikorkea paineluokka, koska tällöin kokonaiskustannukset kasvavat todennäköisesti. (Kantanen 2023.)

Venttiileiden tilauksessa tulee ottaa huomioon myös toimitettavat materiaalitodistukset sekä niiden luotettavuus. Kauko-Idästä tulevien venttiileiden laadunvalvonta voi tehdaskohtaisesti olla hieman puutteellista sekä toimitettavat materiaalitodistukset, eivät välttämättä ole paikkaansa pitäviä. Tästäkin syystä vaativimpiin kohteisiin tulisi hankkia sellaisia venttiileitä, joiden todistuksiin ja laatuun voidaan luottaa. Tämä tulisi huomioida jo ihan turvallisuustekijänä. (Kantanen 2023.)

Haastatteluissa ilmeni, että asennustyön edetessä projektissa saatetaan kohdata tilanne, jossa tilatun laitteen kanssa ilmenee toimitusongelmia. Tällöin putkistourakoitsija asentaa puuttuvan osan paikalle tilapäisen mannekiinin eli pelkän putken laippoineen, joka on helppo poistaa ja vaihtaa tilalle esimerkiksi puuttuva venttiili tai mittalaite. Tällä tavoin asennustyössä voidaan hallita tuote viivästyksien aiheuttamia ongelmia. Mikäli kyseessä on suurempi puutos esimerkiksi pumppu, valmistaa urakoitsija putkilinjan mahdollisimman lähelle tulevaa laitetta ja valmisteltu putkilinja liitetään laitteeseen vasta myöhemmin. Mikäli kyseessä on suurempi laitekokonaisuuden puutos, aiheuttaa se väistämättä viivästystä suunniteltuun aikatauluun mikä johtaa lisäkustannuksiin. Lähtökohtaisesti tilattujen laitteiden viivästyminen on hallittavissa, mikäli kyseessä ei ole suuri laite.

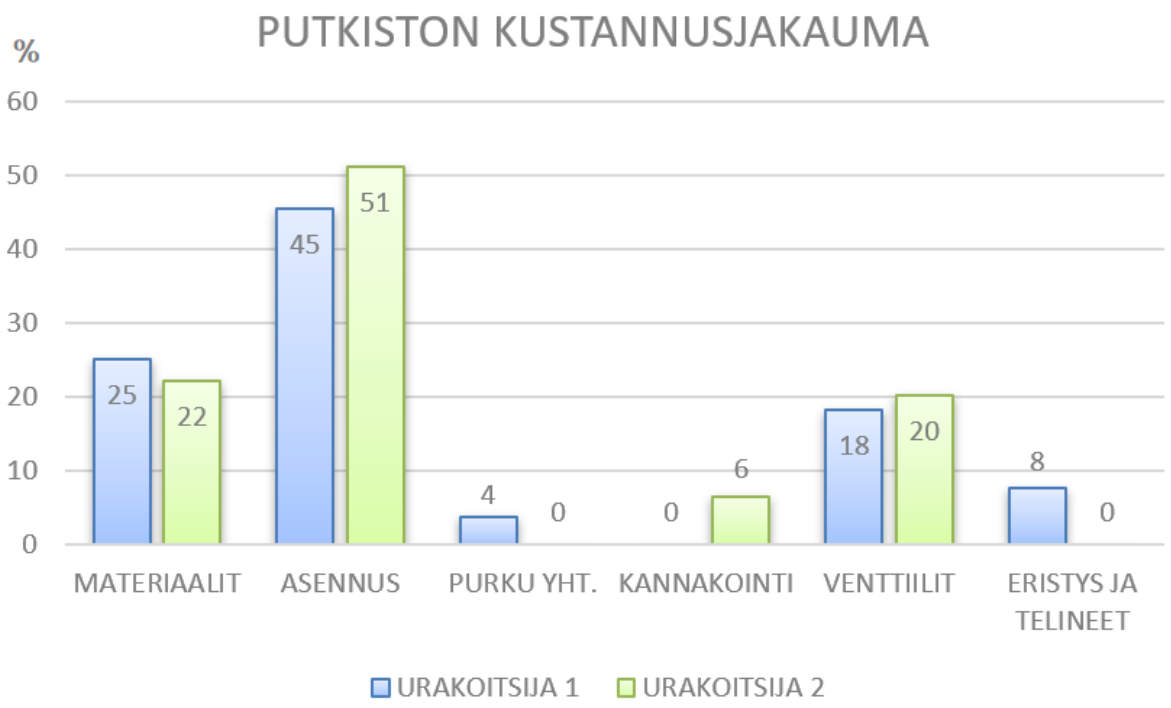
5.5 Kannakointi

Prosessiputkistot ovat raskaita kokonaisuuksia ja vaativat tuentaa. Putkistojen kannakkeet jaetaan putkeen kiinnittyviin primäärikannakkeisiin sekä sekundäärikannakkeisiin, jotka kannattelevat primäärien kautta koko putkea. Sekundäärikannakkeet kiinnitetään kantaviin rakenteisiin yleisesti joko hitsaamalla tai ankkuriliitoksin mahdollisimman lähelle primäärikannaketta. Kun suunnitellaan sekundäärikannakkeita, toimitetaan suunnittelijalle projektikohtaisesti valitut teräsprofiilit sekä mallit yleisesti käytettävistä kannaketyypeistä.

Näiden perusteella suunnittelija suunnittelee jokaiselle primäärille sopivan sekundäärin. (PSK2402 2021, 12.)

Kannakoinnin hinta muodostuu materiaali-, suunnittelu- ja asennuskuluista. Pääsääntöisesti materiaali- ja suunnittelukulut ovat helposti hallittavissa. Kuitenkin mahdolliset suunnittelun virheet näkyvät usein vasta asennusvaiheessa, jolloin muutostyöt voivat aiheuttaa lisäkustannuksia, kun jo tehtyä työtä joudutaan korjaamaan pikavauhdilla tai tekemään täysin uutta. Mahdollisia ongelmatilanteita voivat olla esimerkiksi suunnitellun rakenteen heikkous tai sen sopimattomuus asennuskohteeseen. Kannakkeen heikkous voi johtua materiaalivalinnoista tai itse rakenteen geometriasta. Kannake voi olla myös täysin sopimaton suunniteltuun kohteeseen, mikäli suunnittelija on saanut puutteellista tietoa tai suunnittelussa on käytetty ainoastaan standardikannakkeita. Tällaisiin muuttujiin olisi hyvä varata hieman ylimääräistä budjettia, jotta korjaustyöt voidaan suorittaa viipymättä työmaalla. (AFRY sisäinen materiaali 2023.)

Aina suorin putkireitti ei ole halvin vaan halvimmaksi tulee usein reitti, missä putkilinja on helpoin kannakoida. Putkilinjat tulee siis suunnitella mahdollisimman lähelle luonnollisia kannakointipisteitä, eli lähelle tukipylväitä ja seiniä. (AFRY sisäinen materiaali 2023.) Alla olevassa kuvassa 7 on vertailtu kahta erilaista tarjousta samalle projektille. Kuvassa on esitetty eri tekijöiden osuudet kokonaiskustannuksista. Tarjoukset ovat eronneet toisistaan reitityksen ja kannakoinnin osalta. Urakoitsijan 1 tavassa kokonaiskustannukset olivat 1 % suuremmat kuin urakoitsijalla 2. Urakoitsija 1 toteutukseen sisältyi purkutöitä, jotka todennäköisesti ovat vaatineet telinetöitä. Tämä on voinut johtua siitä, että uutta putkistoa voidaan asentaa vanhan putkiston kannakkeille. Urakoitsijan 2 toteutus sisälsi kannakointia, mutta purkutyötä tai telinetöitä ei ollut ollenkaan. Tällöin Urakoitsija on todennäköisesti reitittänyt uudet putket väistellen vanhoja. Tässä tilanteessa purkutyöt telineineen tekivät kokonaiskustannuksista korkeammat.



Kuva 7 Putkiston kustannusjakauma (AFRY sisäinen materiaali)

Joissakin tarjouksissa kannakoinnin kustannuksia voidaan arvioida urakoitsijan kokemusperäisen tiedon perusteella. Urakoitsija voi laskea kannakointiin vaadittavan materiaalin määrää suurpiirteisesti tarjouksessa ilmoitettujen putkimetrien mukaan.

5.6 Putkisto

Putkiston kokonaiskustannukset jakautuvat karkeasti suunnittelu-, materiaali- ja asennuskustannuksiin. Putkistokokonaisuuden suunnitteluun vaikuttaa standardien lisäksi ATEX- ja painelaitedirektiivi sekä kemikaalilainsäädännön linjaukset.

Nämä yllä mainitut dokumentit tiukentavat suunnittelun vaatimuksia ja täten vaikuttavat myös putkiston kustannuksiin. Etenkin erikoisputkiston vaatimat lisätyöt ja tarkastukset saattavat helposti jäädä huomiotta. Kuitenkin asennustyö ja sen perusteellinen suunnittelu on merkittävimmässä roolissa putkistokustannuksien hallinnassa.

5.6.1 Putkikoko ja materiaali

Putken geometria muodostuu kolmesta ominaisuudesta: nimelliskoosta, ulkohalkaisijasta sekä seinämän paksuudesta. Nimelliskoko merkitään joko millimetrisenä DN = Diametre Nominal tai NS = Nominal Size. Juuri prosessikaavioissa käytetään yleisesti DN eli nimelliskokoa. Putkissa, jotka merkitään ulkohalkaisijan mukaan. Ulkohalkaisija pysyy vakiona ja vain seinämävahvuus muuttuu. Tämä merkintätapa helpottaa esimerkiksi kannakkeiden suunnittelua ja kiinnitystä, kun ulkohalkaisija on aina vakiomittainen. (Pere 2016, 14–8.)

Putkimateriaaleista löytyy lukuisia eri vaihtoehtoja käyttötarkoituksen mukaan. Karkea jako putkimateriaaleissa voidaan suorittaa jakamalla putket ruostumattomiin putkiin ja hiiliteräsputkiin. Hiiliteräsputkia voidaan kutsua myös mustiksi putkiksi. Hiiliteräsputkia on saatavilla lisäksi seostettuna, jolloin niiden kuumankestävyys on parempi. Hiiliteräsputkia käytetään yleisesti kuumissa ja korroosiottomissa käyttöolosuhteissa. Yleisempiä käytettyjä hiiliteräsputkia ovat mm. S235JRG2. Niin kutsutut kirkkaat tai valkoiset putket voivat olla joko austeniittisia ruostumattomia CrNi-teräksiä tai austeniittisia haponkestäviä CrNiMo-teräksiä. Kirkkaita putkia käytetään sovelluksissa, jossa korroosio tai kemiallinen kestävyys näin vaativat. Yleisimpiä merkintöjä ovat ruostumattomalle putkelle 1.4308 ja haponkestävälle putkelle 1.4436. (AFRY sisäinen materiaali.)

Haastatteluista selvisi, että putkistomateriaali valikoituu suunnitteluvaiheessa. Putkistomateriaali valitaan prosessin tarpeiden kautta. Suunnitteluvaiheessa valittu putkistomateriaali listataan ja sen perusteella kysellään tarjoukset/tehdään hankinnat toimittajilta. Prosessiteollisuudessa käytetään paljon rst- ja happoteräksiä, jotka ovat kalliimpia kuin vähemmän seostetut teräkset. Materiaaleissa kalliiksi muodostuvat muun muassa paksuseinämäiset putkistoarmatuurit, koska suuremman seinämäpaksuuden myötä myös materiaalia kuluu enemmän. Myös eristystä vaativat putket nostavat kustannuksia, jos eristystä ei ole muistettu huomioida suunnittelussa.

5.6.2 PED

Euroopan Unionin talousalueelle tuotavien painelaitteiden suunnittelun, valmistuksen ja vaatimusten mukaisuuden arviointia koskee painelaitedirektiivi (PED). Painelaitedirektiivissä on yhdenmukaistettu määräyksiä ja menettelyjä koskemaan painelaitteita, joiden suurin sallittu käyttöpaine on suurempi kuin 0,5 bar. Painelaitteita voivat olla säiliöt, putkistot sekä muut tekniset kokonaisuudet, joihin voi kehittyä ylipainetta. (Direktiivi 2014/68/EU, 10.)

Painelaitedirektiivin tarkoitus on helpottaa painelaitteiden markkinoille saattamista yhdenmukaistamalla EU:n lainsäädäntö. PED määrittelee painelaitteen valmistukselle, käytölle ja suunnittelulle olennaiset turvallisuusvaatimukset. Vaatimukset voidaan täyttää noudattamalla harmonisoituja eli yhdenmukaistettuja standardeja. Standardien noudattaminen ei ole kuitenkaan pakollista, jos muutoin näytetään, että turvallisuusvaatimukset täyttyvät. (AFRY sisäinen materiaali.)

Kaikkien yhteen putkilinjaan tulevien osien tulee kuulua samaan PED-luokkaan. Laipallisissa yhteissä symmetrisyys on tärkeää, jotta putkisto on varmasti turvallinen, ja putket ovat tiiviitä. Yhtenäinen PED-luokka tulee ottaa huomioon jo mallinnusvaiheessa, jotta varmasti jokainen komponentti tiivisteestä lähtien tulee tilatuksi oikealla luokalla, etenkin mikäli tilaukset suoritetaan suunnittelusta ajetun materiaalilistan mukaan.

Tavanomaisten painelaitteidenturvallisuusvaatimusten lisäksi putkistoille on asetettu erityisvaatimuksia, jotka suunnittelussa ja valmistuksessa on otettava huomioon:

- Liian suurista liikkeistä tai voimista aiheutuva, esimerkiksi laippoihin, liitoksiin, letkuihin ja palkeisiin kohdistuva ylikuormitusvaara tulee olla riittävästi hallittu esimerkiksi tukien, vahvikkeiden, kiinnikkeiden, ohjaimien ja esijännityksen avulla.
- Jos putkien sisällä on kaasumaisten kemikaalien kondensoitumisvaara, tyhjennys ja saostumien poistaminen alimmista kohdista tulee olla mahdollista paineiskujen ja korroosion välttämiseksi.
- Pyörteisestä virtauksesta ja pyörteiden muodostuksesta aiheutuvat mahdolliset vahingot, kuten eroosio tai voimakas kuluminen, otetaan asianmukaisesti huomioon.
- Putkissa tapahtuvasta värähtelystä aiheutuva väsymisriski otetaan asianmukaisesti huomioon.
- Käynnistys, alasajo, hyörytykset, huuhtelut ja pesut sekä muut poikkeavat, kohtuudella odotettavissa olevat prosessiolosuhteet on otettava huomioon putkiston suunnittelussa.

Putkistoon sovelletaan vaatimustenmukaisuuden arviointimenettelyä, jonka perusteella putkistolle laaditaan vaatimustenmukaisuusvakuutus, joka esitetään kuvassa 8. Arviointimenettelyjä on useita erilaisia, joista valmistaja voi valita tuotantoonsa parhaiten soveltuvan.

Painelaitesäädösten mukaisen putkiston (luokat I - III) EU-vaatimustenmukaisuus-vakuutuksessa on oltava seuraavat tiedot:

EU-VAATIMUSTENMUKAISUUSVAKUUTUS (nro XXXX) (1)
1. Painelaite tai laitekokonaisuus (tuote-, tyyppi-, erä- tai sarjanumero):
2. Valmistajan tai tapauksen mukaan valmistajan valtuutetun edustajan nimi ja osoite:
3. Tämä vaatimustenmukaisuusvakuutus on annettu valmistajan yksinomaisella vastuulla.
4. Vakuutuksen kohde (jäljitettävyyden mahdollistava painelaitteen tai laitekokonaisuuden tunniste; tähän voi kuulua kuva, kun se on tarpeen painelaitteen tai laitekokonaisuuden tunnistusta varten) — painelaitteen tai laitekokonaisuuden kuvaus — vaatimustenmukaisuuden arviointimenettely, jota on sovellettu — laitekokonaisuuksien osalta niiden painelaitteiden kuvaus, joista ne koostuvat, sekä vaatimustenmukaisuuden arviointimenettelyt, joita on sovellettu.
5. Edellä kuvattu vakuutuksen kohde on unionin asiaankuuluvan yhdenmukaistamislainsäädännön vaatimusten mukainen:
6. Viittaus niihin asiaankuuluviin yhdenmukaistettuihin standardeihin, joita on käytetty, tai viittaus muihin teknisiin eritelmiin, joiden perusteella vaatimustenmukaisuusvakuutus on annettu:
7. Tarvittaessa vaatimustenmukaisuuden arviointimenettelyn suorittaneen ilmoitetun laitoksen nimi, osoite ja numero sekä annetun todistuksen numero ja viittaus EU-tyyppitarkastustodistukseen – tuotantotyyppi, EU tyyppitarkastustodistukseen – suunnittelutyyppi, EU-suunnitelmatarkastustodistukseen tai vaatimustenmukaisuustodistukseen:
8. Lisätietoja: puolesta allekirjoittanut (antamispaikka ja -päivämäärä): (nimi, tehtävä) (allekirjoitus): (Tarvittaessa sen henkilön yksilöinti, jolla on valmistajan tai valmistajan valtuutetun edustajan allekirjoitusvaltuus.)

Kuva 8 EU-vaatimustenmukaisuusvakuutus (Tukes. Kemikaaliputkistojen turvallisuusvaatimukset – opas. 2017. 33)

Arviointimenettelyn osissa kuvataan valmistajan ja tarkastuslaitoksen tehtävät ja velvollisuudet kattaen suunnittelu- ja valmistus/ tuotantovaiheet. Näin osoitetaan, että putkiston suunnittelu ja valmistus täyttävät painelaitesäädösten olennaiset turvallisuusvaatimukset ennen markkinoille saattamista tai käyttöönottoa. (Tukes, Kemikaaliputkistojen turvallisuusvaatimukset.)

Kustannukset kasvavat sitä mukaa mitä korkeampi PED-luokitus putkella on, koska tällaisilla putkistoilla vaatimukset ovat tiukemmat. Täten on ehdottoman tärkeää huomata, mikäli putkiston PED-luokitus korottuu kesken suunnitteluprosessin. Esimerkiksi 3-luokan putkessa 10 % hitsisaumat on röntgenkuvattava tai tutkittava ultraäänellä, joka kasvattaa väistämättä valmistuskustannuksia.

5.6.3 Ultrakorkea paineinen putkisto

Ultrakorkeapaineputkiksi lasketaan 69 MPa:n eli 690 bar tai sitä korkeamman paineen putkistot. Nämä korkeapaineputket tulee standardin mukaan sijoittaa siten, etteivät ne kulje työpisteiden välittömässä läheisyydessä. Putken kulkiessa alle 2 m etäisyydellä työpisteestä tulee se suojata erillisellä teräsputkella, joka suojaa työpistettä korkeapaineputkiston rikkoutuessa. Suojaputken sisähalkaisijan tulee olla minimissään 50 mm ja seinämäpaksuuden 2 mm. Sekä putki, että suojaputki tulee kannakoida. Työpisteiden lisäksi putkireitin tulee vältellä yleisesti käytettyjä kulkureittejä, mikäli tätä ei voida välttää tulee putki näiltä osin myös suojata. Korkeapaineputkisto tulee kannakoida 2 m välein kannakkeilla, jotka kestävät 200 kg staattista kuormitusta alaspäin. Muun putkiston valmiita kannakkeita ei saa käyttää, vaikka niitä olisi saatavilla. (PSK8201 2007, 1–4.)

Koska putkisto vaatii mahdollista ylimääräistä suojausta, nostaa se korkeapaineputkiston asennushintaa verrattuna normaaliin prosessiputkeen, kuluvan materiaalin ja oman kannakoinnin suhteen. Tähän voidaan toki vaikuttaa suunnitteluvaiheessa ja reitittää kyseinen putki mahdollisimman varhaisessa vaiheessa suunnittelua, mutta se ei kuitenkaan aina ole mahdollista.

Kun putken tulee kestää normaalista poikkeavan suurta painetta, täytyy materiaalivahvuuden olla myös normaalista suurempi. Tätä kautta materiaalia kuluu enemmän ja materiaalikulut kasvavat. Myöskin jännitysanalyyseihin tulee kiinnittää erityistä huomiota. Suurempi seinämäpaksuus jäykistää putkistoa entisestään ja tekee analysoinnista haastavampaa. Jäykkyys tulee huomioida myös reititysvaiheessa, jotta putkella on mahdollisuus turvallisesti niin laajeta ja supistua.

5.6.4 ATEX

Räjähdysvaarallisissa tiloissa vallitsee ATEX-laitedirektiivi, koska tiloissa olevien laitteiden ja suojausjärjestelmien tulee olla turvallisia. Putkistoihin voi kertyä sähköjännityksiä, ja siksi putkiston suunnittelussa tulee huomioida myös ATEX-tilojen vaatimukset. Räjähdyssuojaustoimenpiteitä voivat olla esimerkiksi räjähdyksen kestävä rakennustapa, räjähdyspaineen alentaminen, räjähdyksen vaimentaminen ja liekkien ja räjähdyksen leviämisen estäminen. Tilassa olevat laitteiston osat, joita ovat esimerkiksi säiliöt, kojeet ja putkistot rakennetaan siten, että ne eivät repeä sisäpuolisen räjähdyksen vaikutuksesta ja tällöin räjähdyksen vaikutusalue voidaan rajata mahdollisimman pieneksi. (Tukes, ATEX-starttipaketti 2017, 24.)

Räjähdyspainetta voidaan alentaa rakentamalla laitteistoon jo valmiiksi painetta alentavia rakenteita, esimerkiksi räjähdysluukut tai muut tarkoitukselliset rakennetut heikot kohdat. Näiden valmiiksi suunniteltujen kohtien avulla mahdolliset purkautumat voidaan hallitusti ohjata haluttuun paikkaan. (Tukes, ATEX-starttipaketti 2017, 24.) Itse putkiston sähköistymistä voidaan hallita maadoituskorvakkeiden avulla.

ATEX-vaatimukset eivät juurikaan vaikuta itse tilaan tulevan putken kustannuksiin. Putken instrumentoinnissa ATEX-laitedirektiivi asettaa tiukempia vaatimuksia, joka saattaa vaikuttaa instrumentoinnin kustannuksiin korottavana tekijänä. Räjähdysvaarallisissa tiloissa työskentely asettaa kuitenkin selviä lisähaasteita ja kuluja itse asennustyölle, koska työn tekeminen tulee suunnitella ja suojata tarkkaan, jotta kipinöintiä ei synny.

5.6.5 Kemikaaliputket

Vaarallista kemikaalia sisältävät putket kuuluvat kemikaalilainsäädännön alaisuuteen. Tällaisia kemikaaleja voivat olla esimerkiksi kloori Cl tai vety H. Kemikaaliputket eritellään putkilinjaluetteloissa merkinnällä ”C”. Kemikaaliputket on suunniteltava ja valmistettava vähintään PED luokan 1 vaatimusten mukaan. Valittavaan PED luokkaan vaikuttaa virtaava-aine, putken koko, lämpötila ja paine. (PSK 4905 2021, 24–25.)

Kemikaaliputkistoa suunniteltaessa suunnittelijan tulee arvioida kyseisen putkiston riskit. Suunnittelija ottaa myös huomioon mahdolliset erityisvaatimukset, joita voivat olla esimerkiksi putkiston sijoitus, suojaus, varustelu tai varolaitteet. Putkistot sijoitetaan ja varustetaan niin, että niiden mahdollisesta vuotamisesta aiheutuvat seuraukset jäävät mahdollisimman pieniksi. (Tukes, Kemikaaliputkistojen turvallisuusvaatimukset – opas 2017,8.)

Tällöin tulee ottaa huomioon muun muassa:

- putkien turvallinen reititys tehdas- tai varastoalueella
- putkien sijoittelu putkisillalla; esim. syövyttäviä kemikaaleja sisältävät alas ja kaasuputket ylös, keskenään reagoivat erilleen
- putkien lämpölaajeneminen ja kannakoinnin riittävä mitoitus
- estää mahdollisten vuotojen kulku kuumille pinnoille, sähköjohtojen päälle tai kosketuksiin muiden syttymislähteiden kanssa tai aiheuta muuta vaaraa. (Tukes. Kemikaaliputkistojen turvallisuusvaatimukset – opas 2017, 6).

Yllä listatut asiat täyttyvät suunnittelulla sekä järjestelmällisellä vaarojen kartoituksella sekä tutkimalla mahdollisten vuoto- ja vauriokohtia. Mahdollisia vuotokohtia ovat yleensä yhteet, venttiilit, suodattimet, pumput ja muut varusteiden liitäntäkohdat. (Tukes. Kemikaaliputkistojen turvallisuusvaatimukset – opas 2017,7.)

Muut turvallisuusvaatimukset kemikaaliputkille:

- *Putkiston mitoitus on riittävä putkiston suunniteltuihin käyttöolosuhteisiin*
- *Putkistossa käytetyt materiaalit vastaavat painelaitedirektiivin olennaisia turvallisuusvaatimuksia*
- *Kaikista materiaaleista, myös hitsauslisäaineista ja laippaliitosten ruuveista ja muttereista, on materiaalin valmistajan antamat todistukset*
- *Materiaalien jäljitettävyys eli yhteys niistä annettuihin todistuksiin on varmistettu*
- *Hitsausmenetelmät, hitsaajat ja NDT-henkilöstö on pätevöity*
- *Putkistolle tehdään loppuarviointi ja painekoe* (PSK 4905 2021, 24–25.)

5.6.6 Putkiston esivalmistus ja liitokset

Putkiurakoitsijan vastuulla on päättää, mitä tehdään esivalmisteena konepajalla ja mitkä osat tulee kokoonpanna ja asentaa työmaalla. Esivalmisteiden hyödyntäminen vähentää huomattavasti työmaalla käytettävää aikaa verrattuna siihen, että putken valmistus tapahtuisi kokonaisuudessaan paikan päällä. Kuitenkaan aina esivalmisteet eivät osu kohdalle, jolloin on tärkeää, että putkeen on jätetty asennusvaraa. Tällöin paikan päällä putki voidaan mitata ja tarvittaessa katkaista oikeaan mittaan. Kun asennetaan putkia, joissa on asennusvaraa, täytyy huomioida asennusjärjestys, jotta asennusvaroja voidaan hyödyntää. (Kantanen 2022.)

Lähtökohtaisesti putkistoja valmistetaan määrämittaan leikatusta putkista ja näiden välille liitetyistä erilaisista putkikäyristä. Putkiston muotoilu taivuttamalla on myös mahdollista. Se on kustannustehokkaampaa kuin putkikäyrien hyödyntäminen, koska se vähentää hitsauksen tarvetta. Taivutuksen käyttö vaatii kuitenkin erityisen tarkkaa suunnittelua, koska taivutuksen tulee onnistua mittatarkasti, eikä esimerkiksi asennusvaran hyödyntäminen ole mahdollista taivutettujen putkien osalta. Kun putkisto on tarkasti ja huolellisesti suunniteltu, voidaan hyvinkin yli puolet tarvittavista hitsauksista suorittaa konepajalla, täten vältytään työmaahitsaukselta. Työmaahitsaus kannattaa suunnitella mahdollisimman vähäiseksi, koska

se on kallista, eikä se ole yhtä turvallista kuin konepajalla toteutettu hitsaus (Recion. putkistojen esivalmistus.)

Yleisimmät putkiston liitosmenetelmät ovat:

hitsausliitos

laippaliitos

kierreliitos

pantaliitos

Laippa- ja pantaliitosten tiivisteet valitaan virtaavan aineen ja sijoituspaikan vaatimusten mukaisesti. (PSK 2402 2021,12.)

Esivalmisteiden hyödyntäminen tekee asennustyöstä kustannustehokkaampaa. Haastattelussa urakoitsija arvioi pääsevänsä 50 % esivalmistusasteeseen hyvän suunnittelun avulla. Tällöin 70 % hitsisaumoista voidaan hitsata konepajalla. Jotta esivalmistusastetta voitaisiin lisätä tulisi silloin laippaliitoksia putkistoissa lisätä, jotta putkiston asennus ja kuljetus olisi mahdollista pienemmissä osissa.

5.6.7 Asennus

Asennushinnan putkistolle määrittää urakoitsija. Putkiston asennukseen kuluvan työn hinta on noin kaksinkertainen verrattuna putkistomateriaalin hintaan. (Kantanen 2022.)

Haastatteluissa ilmeni, että puutteellinen putkistosuunnittelu aiheuttaa vakavimmat ongelmat nimenomaan asennusvaiheessa. Suunnitteluvaiheen virheitä voidaan vähentää suunnittelijan, tilaajan ja urakoitsijan välisten katselmuksien avulla jo suunnittelun aikana. Myöskin asennustyön kokemus suunnittelijalle on erityisen hyödyllistä, koska tällöin hän osaa ottaa asennettavuuden paremmin huomioon suunnitelmissaan. Esimerkiksi puutteelliset piirustukset voivat vaikeuttaa tai jopa estää esivalmisteiden teon, aiheuttaa mittavia muutoksia ja täten ylimääräistä työtä asennuksessa. Pahimmassa tapauksessa itse suunnittelutyön tekee asentaja kentällä. Näistä koituu nopeasti aikatauluviivästyksiä ja lopulta tilaajalle jää maksettavaksi kaikki urakkakyselystä puuttuneet työt ja materiaalit yksikköhintalistan mukaisesti. Muutostöiden hinta voi muodostua siis kalliimmaksi, kuin jos asia olisi osattu huomioida jo osaksi sovittua urakka hintaa. Työn suoritus kentällä on haasteellisempaa ja hitaampaa kun joudutaan soveltamaan. Epäselvien ratkaisujen selvittäminen kuormittaa

tilaajaa ja se vie sekä urakoitsijan aikaa asennustyön suoritukselta, että tilaajan aikaa projektin hallinnalta.

Asennustyölle on määritetty hyvin rajattu aika, jolloin asennus voi tapahtua. Suurin osa asennuksista suoritetaan tehdasseisokkien aikana. Seisokki rajaa urakoitsijan käytettävät työtunnit tarkkaan, kaikki sen ylimenevä aika tulee kalliiksi, koska se viivästyttää tuotannon käynnistymistä. Asennustuntien lisäksi asennusongelmat voivat tuoda tarvetta lisämiehityksen ja -materiaalin hankkimiselle, mikäli työmäärä muuttuukin laajemmaksi suunnitellusta muutostöiden takia.

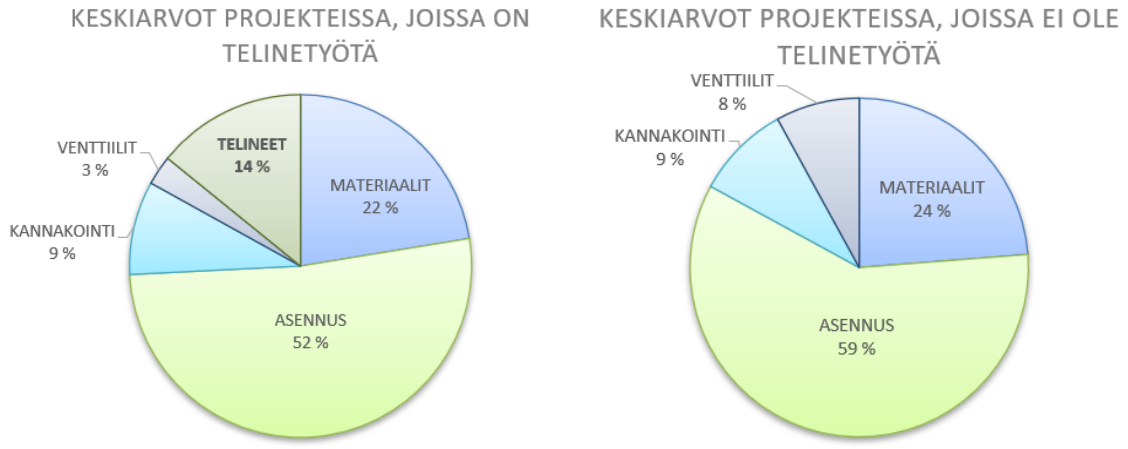
On hyvin epätodennäköistä, että asennusvaiheesta selvittäisiin täysin ilman muutoksia ja siksi tilaaja varautuu tähän budjetoimalla rahaa mahdollisiin lisäkustannuksiin ja on varautunut mahdolliseen suunnitteluajan lisäykseen. Jotta muutostilanteet voidaan ratkaista nopeasti, selvitykset tehdään tiiviiden palaverien avulla, joihin osallistuu sekä tilaaja, urakoitsija, että suunnittelija. Kun ongelma saadaan ratkaistua kontrolloidusti voi tämä vaatia ajallista joustoa jokaiselta osapuolelta, jotta tilanne tulee korjatuksi nopeasti. Tämä toki tuo lisäkustannuksia, mutta ongelmatilanteet pyritään ratkomaan, jotta vältytään asennuksen viivästymiseltä, joka johtaisi mahdollisiin tuotantotappioihin.

5.6.8 Telinetyöt

Telinetöiden toteuttaminen, on hyvin hinnakasta ja täten aina mahdollisuuksien salliessa tulisi suosia helposti asennettavia reittejä, jotka voidaan asentaa esimerkiksi saksinostinta hyödyntäen. Tällaiset seikat suunnittelijan tulisi ottaa huomioon jo reititysvaiheessa, ja vertailla vaihtoehtoisia reittejä keila-aineiston avulla sekä mahdollisesti keskustella asiakkaan kanssa. Parhain ja edullisin reitti saattaa kuitenkin helposti kaatua suoraan tiedonpuutteeseen tai siihen, ettei ideaa keksitä tarpeeksi ajoissa. Helposti vasta paikan päällä asennustyötä tehdessä voidaan huomata, että reititys olisi kannattanutkin tehdä toisin. Mitä suurempia ja haastavampia telinetöitä putkiston asennus vaatii, nostattaa se helposti kustannuksia. (Kantanen 2023.)

Telinetyöt vaativat tarkkaa suunnittelua, jotta kaikki kyseiselle alueelle suoritettava asennustyö on mahdollista suorittaa yhden telineen avulla. Uuden telinen tilaus ja rakennus tuo nopeasti lisäkustannuksia, jos epähuomiossa telineen purun jälkeen samaan kohteeseen täytyykin tehdä muutostöitä esimerkiksi lisätä eristeitä. Suuruusluokaltaan telinetyön hinta voi olla hyvinkin merkittävässä osassa projektin kustannuksia, etenkin jos kyseessä on suuri tai haastaviin tiloihin rakennetut telineet.

Telinetöiden toteutus vaatii aikaa ja tarkkuutta, koska haastavien telineiden rakentaminen vie aikaa asennustyönaloitukselta sekä ulkopuolisia henkilöresursseja. Jokainen rakennettu teline tulee myös tarkastaa ennen kuin ne voidaan ottaa käyttöön. Tällaiset seikat ovat tärkeitä ottaa huomioon, kun asennustyö vaatii telineitä. Työn vaatimukset voidaan huomioida aikataulussa. Kuvassa 9 on vertailtu projekteja, joissa joko on tai ei ole ollut telinetöitä.



Kuva 9 Keskiarvot projekteista (AFRY sisäinen materiaali)

Telinetyö vaikuttaa merkittävästi kustannuksien jakautumiseen. Telinetöiden osuus on noin 14 % putkiston kokonaiskustannuksista. Suhteellisesti telinetyö vähentää eniten asennustyön osuutta tarjouksien kokonaiskustannuksista. Asennus- ja telinetyö vaativat vertailluista tekijöistä henkilö- ja aikaresursseja. Täten ne kilpailevat samoista resursseista ja siksi näkyvät merkittävästi kuviossa. Telinetöitä vaatineiden projektien asennuskustannukset olivat 52 % ja ei telinetöitä vaativien projektien asennuskustannukset olivat 59 %. On mahdollista, että asennuksessa käytettyjen henkilönostinten kulut ovat sulautettu asennuskuluihin.

6 Yhteenveto ja pohdinta

Opinnäytetyön tavoitteena oli löytää ja tunnistaa merkittävimmät kustannusarvion muuttujat. Tutkimusta tehtiin saadun aineiston sekä haastattelujen avulla. Tarjousaineiston avulla saatiin hyvä käsitys prosessiputkisto projektien kustannuksien jakautumisesta eri muuttujien kesken. Aineiston analysointia olisi helpottanut myös toteutuneiden kustannuksien listaus. Täten kustannuksista olisi helposti nähnyt minkä suuruisia muutoksia suunniteltuihin kustannuksiin todellisuudessa voi tulla. Tietoa projektien ongelmatekijöistä saatiin kutenkin kerättyä haastatteluiden avulla. Lähtökohtaisena viestinä välittyi kuitenkin se, että kustannustoteuma hyvin harvoin pysyi suunnitellussa budjetissa.

Tutkitusta aineistosta kävi kuitenkin ilmi, että suurinta vaihtelua on asennuskuluissa. Asennusvaiheessa tapahtuvat suurimmat kustannuksiin vaikuttavista ongelmista, ja kyseisessä vaiheessa virheiden korjaaminen tulee kalliiksi. Asennuksen hinta koostuu monesta eri tekijästä ja siinä voi olla yllättäviä eroja urakoitsijoiden kesken toisin kuin materiaalihinta, joka pysyy kohtalaisen tasaisena ja on arvioitavissa maailmantilanteen mukaan.

Asennuksen osuus putkistokustannuksista oli tarjouksesta riippumatta vähintäänkin puolet kokonaiskustannuksista. Asennuskustannukset olivat myös järjestäen noin kaksinkertainen verrattuna materiaalikustannuksiin. Kaikki asennustyö vaatii henkilöresursseja ja työ suoritetaan käsityönä paikan päällä, näistä syistä asennus on kallista. Jokaisen työntekijän ammattitaidolla ja kokemuksella voi olla myös kustannuksia alentava vaikutus. Hyvän ammattitaidon avulla ongelmatilanteet huomataan ajoissa ja niiden ratkaiseminen tapahtuu nopeasti. Ammattitaito vähentää virheitä niin suunnittelussa, että asennuksessa.

Asennustyöhön liittyy myös väistämättä työsuoritukseen vaadittavia tekijöitä esimerkiksi telineitä. Telineiden tarve ja hinta saattaa tulla suurenakin yllätyksenä projektin asennusvaiheessa ja tuoda useiden tuhansien lisäkustannuksia. Arvaamattomuudestaan johtuen telinetyö on yksi kriittisimmistä kustannusmuuttujista.

Helposti voisi olettaa, että erikoisputkistot ja niiden erikoisvaatimukset tuovat ennalta arvaamattomuutta kustannuksiin. Kuitenkin näiden putkistojen hintaan vaikuttaa lähinnä erikoistyön sekä vaadittavien todistusten ja tarkastuksien tarve. Nämä asiat huomioidaan projekteissa jo hyvissä ajoin, ja siksi niistä harvoin koituu yllätyskuluja.

Sama pätee myös layout-muutoksien tuomiin ongelmiin. Jo projektin esisuunnitteluvaiheessa sekä toteutussuunnittelun alussa layout-suunnittelua tehdään huolellisesti, koska koko muu suunnittelutyö rakentuu sen pohjalta. Projektin edetessä layout-muutokset ovat hyvin

harvinaisia, koska mikäli sellaisia tapahtuisi olisivat ne merkittävän kalliita ja siksi niiltä pyritään välttymään tekemällä perusteellista työtä jo projektin alkuvaiheessa.

Tämän opinnäytetyön johtopäätökset perustuvat ainoastaan käytetyn aineiston laajuisiin projekteihin, eikä niitä siksi voi verrata esimerkiksi huomattavasti suurempiin putkistoprojekteihin. Työn aiheen haastavuudesta riippumatta tietoa kustannusmuuttujista sekä niiden merkityksestä kokonaiskustannusjakaumassa saatiin selvitetyksi hyvin. Jotta kustannuksista voitaisiin esittää selkeämpiä prosentuaalisia eroja vaatisi tutkimusaineisto tietoa myös projektien toteutuneesta budjetista.

Opinnäytetyön aihe on hyvin laaja ja mitä tarkemmin asiaa tutki sitä enemmän yksityiskohtia sekä suunnittelussa huomioitavia asioita löytyi. Opinnäytetyön rajaamisen takia kaikkia tekijöitä ei ollut mahdollista käsitellä perinpohjaisesti tai muuten opinnäytetyö olisi paisunut liian suureksi. Jotta aiheesta voisi tuottaa kokonaisvaltaisen tietopohjaisen esityksen olisi työn tueksi vaadittu jo useamman vuoden työkokemusta. Tehdyn työn perusteella suunniteltu tarkastuslista saatiin kootuksi ja toimitetuksi AFRYn käyttöön.

Lähteet

AFRY Finland Oy. Sisäinen materiaali. Viitattu 11.1.2023.

AFRY. Tietoa meistä. Viitattu 6.4.2023. Saatavissa https://afry.com/fi-fi/tietoa-meista

Kantanen, K. 2022–2023. Prosessisuunnittelija. AFRY Finland Oy. Lappeenranta. Keskustelut. 11.10.2022, 13.1.2023.

Koponen, H. 1988. Tehdassuunnittelu mekaanisessa metsäteollisuudessa. Espoo: Otakustantamo. Viitattu 29.11.2022.

Parisher, R & Rhea, R. 2002. Pipe drafting and design. Gulf Professional Publishing. Viitattu 12.4.2023

Pere, A. 2016. Koneenpiirustus 1 & 2. Espoo: Kirpe. Viitattu 21.11.2022.

PSK 2402. 2021. Teollisuuden putkistot. Putkistosuunnittelun perusteet. PSK Standardisointi. Viitattu 16.11.2022. Saatavissa https://psk-standardisointi.fi/wp-content/uploads/PSK2402.pdf

PSK 3011. 2017. Rakennetehtäväpiirustus. laiteperustusten suunnittelu ja rakentamistoleranssit. PSK Standardisointi. Viitattu 13.12.2022. Saatavissa https://psk-standardisointi.fi/wp-content/uploads/PSK3011.pdf

PSK 4905. 2021. Teollisuuden kone- ja laitehankinnat. Vaarallisten kemikaalien teollinen käsittely ja varastointi. PSK Standardisointi. Viitattu 19.12.2022. Saatavissa https://psk-standardisointi.fi/wp-content/uploads/PSK4905-2p.pdf

PSK 7304. 2021. Putkiston kannakointi. Teräsputket. Putkien suositeltavat kannakevälit. PSK Standardisointi. Viitattu 16.11.2022. Saatavissa https://psk-standardisointi.fi/wp-content/uploads/PSK7304-4p_k.pdf

PSK 8201. 2007. Ultrakorkea paine putkistossa. Suunnittelu, hankinta, asennus ja käyttö. PSK Standardisointi. Viitattu 6.2.2023. Saatavissa https://psk-standardisointi.fi/wp-content/uploads/psk8201.pdf

Recion. Putkistojen esivalmistus. Viitattu 4.1.2023. Saatavissa https://recion.com/fi/valmistus/putkistojen-esivalmistus/

Tukes. ATEX-starttipaketti. 2017. Viitattu 8.2.2023. Saatavissa https://tukes.fi/documents/5470659/8293726/ATEX-starttipaketti-2017.pdf/b440ed57-218e-4eda-a5b9-42df468e0b5f/ATEX-starttipaketti-2017.pdf

Tukes, Kemikaaliputkiston turvallisuusvaatimukset. Viitattu 9.2.2023. Saatavissa https://tukes.fi/teollisuus/kemikaaliputkistot

Tukes. Kemikaaliputkistojen turvallisuusvaatimukset – opas. 2017. Viitattu 8.2.2023. Saatavissa https://tukes.fi/documents/5470659/6410920/Kemikaaliputkistojen+turvallisuusvaatimukset.pdf/bb410ce1-baeb-4a0d-8086-f881d8f13b2b/Kemikaaliputkistojen+turvallisuusvaatimukset.pdf?t=1516698242000

Tukes, Räjähdysvaarallisten tilojen laitteet – ATEX. Viitattu 8.2.2023. Saatavissa https://tukes.fi/teollisuus/rajahdysvaaralliset-tilat/rajahdysvaarallisten-tilojen-laitteet-atex

Liite 1 Putkistoprojektien tarjoukset

PROJEKTI	TARJOUS	% MATERIAALIT	% ASENNUS	% PURKU YHT.	% KANNAKOINTI YHT.	% VENTTIILIT YHT.	% ERISTYS JA TELINEET YHT.	% MATKATYÖOSUUDET	% KAIKKI	pukimetrit
PROJEKTI 1	URAKOITSIJA	37	51	9	3				100	156
PROJEKTI 2	URAKOITSIJA	7	56		16	21			100	100
PROJEKTI 3	URAKOITSIJA	32	40		13		15		100	180,92
PROJEKTI 4	URAKOITSIJA	23	32		11		34		100	44,66
PROJEKTI 5	URAKOITSIJA	23	64		13				100	3553,3
PROJEKTI 6	URAKOITSIJA 1	29	60		9		3	14	114	450
PROJEKTI 6	URAKOITSIJA 2	15	51		8	26			100	420,3
PROJEKTI 6	URAKOITSIJA 3	28	60				12		100	420,3
PROJEKTI 7	URAKOITSIJA	17	77			6			100	70
PROJEKTI 8	URAKOITSIJA 1	22	70		8				100	118,5
PROJEKTI 8	URAKOITSIJA 2	22	70		8				100	118,5
PROJEKTI 9	URAKOITSIJA 1	25	45	4		18	8		100	221,1
PROJEKTI 9	URAKOITSIJA 2	22	51		6	20			100	221,1
PROJEKTI 10	URAKOITSIJA	18	82						100	84,8
PROJEKTI 11	URAKOITSIJA	19	47		3	31			100	98
PROJEKTI 12	URAKOITSIJA 1	13	62		2	12	11		100	400
PROJEKTI 12	URAKOITSIJA 2	15	40		26	12	7		100	400
PROJEKTI 12	URAKOITSIJA 3	30	52		14		3		100	400
PROJEKTI 13	URAKOITSIJA 1	27	58				15		100	108,9
PROJEKTI 13	URAKOITSIJA 2	21	72		7				100	108,9
PROJEKTI 14	URAKOITSIJA	26	51		13		10		100	54
PROJEKTI 15	URAKOITSIJA	41	44		15				100	28,7
PROJEKTI 16	URAKOITSIJA 1	44	38		18				100	12,9
PROJEKTI 16	URAKOITSIJA 2	22	56		22				100	12,9
PROJEKTI 17	URAKOITSIJA	19	70				12		100	102,7
PROJEKTI 18	URAKOITSIJA 1	13	35		16		36		100	175
PROJEKTI 18	URAKOITSIJA 2	16	28		21		36		100	316
PROJEKTI 19	URAKOITSIJA	19	70				12		100	103

	% MATERIAALIT	% ASENNUS	% PURKU YHT.	% KANNAKOINTI YHT.	% VENTTIILIT YHT.	% ERISTYS JA TELINEET YHT.	% MATKATYÖOSUUDET
Minimi	7 %	28 %	4 %	2 %	6 %	3 %	14 %
Keskiarvo	23 %	55 %	6 %	12 %	18 %	15 %	14 %
Maksimi	44 %	82 %	9 %	26 %	31 %	36 %	14 %

Liite 2

Author
Aakio, Riina

E-mail
riina.aakio@afry.com

Date
10/04/2023

Prosessiputkistoprojektin kustannuksien hallinta

Tarkastuslista

Contents

1 Dokumentin tarkoitus 3

2 Tarkastuslista 3

2.1 Esisuunnittelu 3

2.1.1 Lähtötiedot 3

2.1.2 Layout 3

2.2 Toteutussuunnittelu 3

2.2.1 Putkisto 3

2.2.2 Reititys 4

2.2.3 Kannakointi 4

2.2.4 Dokumentaatio 4

2.3 Asennus 4

2.3.1 Laitteet 4

2.3.2 Telinetyö 4

2.3.3 Asennustyö 4

1 Dokumentin tarkoitus

Tämä dokumentti on luotu prosessiputkiston kustannushallinnan tueksi.
Tarkastuslistassa on esitelty projektin eri vaiheiden mahdolliset kustannusmuuttujat ja kuinka ne tulee huomioida.

2 Tarkastuslista

2.1 Esisuunnittelu

2.1.1 Lähtötiedot

1. Tarkasta esisuunnittelukaavion oikeellisuus.
    - putkilinjat
    - venttiilit
    - käytettävät putkikoot

2.1.2 Layout

1. Tarkasta rakenteiden kantavuudet.
2. Tarkasta layoutin toimivuus ja kustannustehokkuus.
3. Huomioi tilavaraukset mahdollisille laajennuksille.
4. Kartoita purku- tai muutostöiden tarve.
5. Tarkasta perustukset.

2.2 Toteutussuunnittelu

2.2.1 Putkisto

1. Tarkasta putkistandardi ja PED-luokitus.
2. Tarkasta erikoisputkiston vaatimukset.
    - PED-luokitus
    - tarkastukset
    - todistukset
    - turvallistaminen
    - mahdollisen vuodon turvallistaminen laippasuojuksin, muovituksin tai asentamalla kaukalo putken alle
3. Tarkasta käyttämättömien olemassa olevien putkistojen hyödyntämismahdollisuudet.
4. Tarkasta tilantarve.
5. Tarkasta eristyksen tarve.
6. Tarkasta instrumentointi.
7. Tarkasta näytteenottopaikat.

2.2.2 Reititys

1. Tarkasta turvallinen reititys.
    - huomioi kulkureitit, laitteet, teräsrakenteet ja nostoaukot
    - virtaavan aineen vaatimukset
    - suosi yhtenäistä reititystä (putkimatto)
2. Vertaile suorinta reittiä helposti kannakoitavaan reittiin.
3. Tutki onko reititys mahdollista tehdä asennusystävälliseksi.

2.2.3 Kannakointi

1. Tarkasta kannakoinnin kestävyys.
2. Hyödynnä jo olevia kannakkeita.
3. Tarkasta kiinnityspylväiden tai seinien materiaali.
4. Tarkasta, että asennustyömaalla on ylimääräistä materiaalia ja kiinnitystarpeita ennakoimattomien muutosten varalle.

2.2.4 Dokumentaatio

1. Ristiintarkasta valmiit dokumentit.
2. Tarkasta tietojen oikeellisuus.
3. Tarkasta dokumenttien toimitusaikataulu.

2.3 Asennus

2.3.1 Laitteet

1. Tarkasta laitteiden toimitusaikataulu.
2. Tarkasta laitteiden dokumentaatio.
3. Tarkasta laitteiden yhteiden koko suunniteltuun putkistoon.
4. Tarkasta automaation kenttälaitteiden varastointi ja saatavuus.

2.3.2 Telinetyö

1. Tarkasta vaadittavan telinetyön laajuus ja ajankohdan tarve.
2. Tarkasta onko muilla toimijoilla tarve työskennellä samoilla telineillä.
3. Tarkasta, että kaikki alueen telinetyöt tulee suoritetuksi.
4. Tarkasta eristyksen ja saattolämmitysten asennus.

2.3.3 Asennustyö

1. Tarkasta esivalmistuksen optimaalinen hyödyntäminen.
2. Tarkasta työmaanturvallistaminen ja aikataulutus.
    - urakoitsijoiden vaadittavat koulutukset
    - työvaiheiden oikea järjestys
3. Huolehdi katselmukset asiakkaan kanssa jo suunnittelun aikana.