



Satakunnan ammattikorkeakoulu
Satakunta University of Applied Sciences

VALTTERI TOIVONEN

Projektin esisuunnitteluvaiheen kehittäminen: Boliden Harjavalta Oy

ENERGIA- JA YMPÄRISTÖTEKNIIKAN
TUTKINTO-OHJELMA
2023

TIIVISTELMÄ

Toivonen, Valtteri: Projektin esisuunnitteluvaiheen kehittäminen: Boliden Harjavalta Oy
Opinnäytetyö, AMK
Tutkinto-ohjelma: Energia- ja ympäristötekniikka
Toukokuu 2023
Sivumäärä: 24

Työssä tutkittiin projektin esisuunnitteluvaiheen kehittämistä. Boliden Harjavalta Oy:llä on käynnissä kehittämisprojekti, ja työ oli yksi osa kehittämisprojektia. Työn tarkoituksena oli selvittää vaadittavaa dokumentaatiota esisuunnitteluvaihetta varten ja lisäksi laatia laskentatyökalu, jolla voidaan laskea putkistolle painehäviöitä ja mitoittaa putkistolle sopiva pumppu.

Työn teoriaosuudessa selvitettiin projektitoiminnan perusteita ja erityisesti projektin esisuunnitteluvaihetta. Työssä perehdyttiin erityyppisiin projekteihin ja projektien vaiheistukseen ja elinkaareen. Työssä selvitettiin myös millaisia projektin esisuunnitteluvaiheessa tarvittavia dokumentteja ja asiakirjoja vaaditaan hyvään lopputulokseen, ja miten projektien kustannuksia voidaan arvioida esisuunnitteluvaiheessa.

Työn tuloksena laadittiin projektin esisuunnitteluvaiheeseen tarkoitettu laskentatyökalu, jolla voidaan laskea putkistolle painehäviöitä ja mitoittaa putkistolle sopiva pumppu. Laskentatyökalusta saatuja olennaisia tuloksia voidaan hyödyntää pumpun hankinnan yhteydessä. Laadittua laskentatyökalua voidaan hyödyntää suoraan tulevissa projekteissa esisuunnitteluvaiheessa. Laskentatyökalun tarkoituksena on helpottaa erilaisiin projekteihin osallistuvien suunnittelijoiden työskentelyä projektien esisuunnitteluvaiheessa.

Avainsanat: esisuunnittelu, projektitoiminta, kustannusarviot, laskentatyökalu, mitoitus, pumput

Abstract

Toivonen, Valtteri: Development of the pre-planning phase of the project: Boliden Harjavalta Oy
Bachelor's thesis
Degree programme: Energy and Environmental Engineering
May 2023
Number of pages: 24

The purpose of this thesis was the development of the pre-planning phase of the project. Boliden Harjavalta Oy has an ongoing development project, and this work was one part of it. The aim of the thesis was to determine the necessary documentation for the pre-planning phase and develop a calculation tool that can be used to calculate pressure losses in the pipeline and size the pump suitable for it.

In the theoretical part of this thesis, the basics of project activities were introduced, with a particular focus on the pre-planning phase of the project. The thesis covered different types of projects, project phasing, and the project life cycle. Additionally, it clarified the required documents in the pre-planning phase to achieve good results and explained how project costs can be estimated during this phase.

As a result of the thesis, a calculation tool was developed for the pre-planning phase of the project. This tool allows for the calculation of pressure losses in the pipeline and proper sizing of the pump. The relevant results obtained from the calculation tool can guide the pump procurement process. The developed calculation tool can be used directly in future projects in the pre-planning phase. The purpose of the calculation tool is to facilitate the work of designers participating in various projects in the pre-planning phase of the projects.

Keywords: pre-planning, project activities, cost estimates, calculation tool, dimensioning, pumps

ALKUSANAT

Haluan kiittää opinnäytetyön tilaajaa ja rahoittajaa Boliden Harjavalta Oy:tä mahdollisuudesta tehdä kiinnostava ja mielenkiintoinen opinnäytetyö projektien esisuunnitteluun liittyen. Työtä varten sain hyvin apua ja kehitysideoita usealta eri henkilöltä. Erityiskiitos kuuluu Boliden Harjavalta Oy:n pääsuunnittelija Timo Männistölle ja Satakunnan ammattikorkeakoulun lehtori Pekka Sirénille tuesta opinnäytetyön ohjaamisessa ja tarkistamisessa. Haluan myös kiittää suuresti läheisiäni tuesta opinnäytetyötä tehdessä.

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	6
2 BOLIDEN AB	7
2.1 Boliden Harjavalta Oy.....	8
2.2 Harjavallan tuotantoprosessit	8
3 PROJEKTIN ESISUUNNITELU JA KUSTANNUSARVIOT.....	10
3.1 Projektityön perusteet.....	10
3.2 Projektin elinkaari ja vaihejako	11
3.3 Esisuunnitteluvaihe	14
3.4 Esisuunnittelussa vaadittava dokumentaatio.....	14
3.5 Projektien kustannusten arviointi.....	15
4 ESISUUNNITTELUVAIHEEN LASKENTATYÖKALU	17
4.1 Lähtötiedot.....	17
4.2 Laskentatyökalun esittely	18
4.3 Laskentatyökalun laskenta	19
5 POHDINTA	23
LÄHTEET	25

1 JOHDANTO

Tämän työn aiheena oli projektien esisuunnitteluvaiheen kehittäminen. Osana kehitystyötä oli laskentatyökalun laatiminen Boliden Harjavalta Oy:lle käyttöön. Laskentatyökalu laadittiin esisuunnitteluvaiheen tueksi pumppujen mitoitusta varten. Työkalua voidaan hyödyntää osana Boliden Harjavalta Oy:n mekaniikka- sekä sähkö- ja automaatio suunnittelussa hahmottamaan esisuunnitteluvaiheen putkien ja pumppujen mitoitusta.

Työssä käsiteltiin projektien eri vaiheita, ja erityisesti esisuunnitteluvaihetta, ja siihen vaadittavia dokumentteja ja kustannusarvioita. Yhtenä työn tarkoituksena oli soveltaa teknisten asiakirjojen luovutussopimuksista käsittelevää standardia ja yrityksen omaa asettamisasiakirjaa esisuunnitteluvaiheen kehittämisessä.

Työn tavoitteena oli myös laatia laskentatyökalu pumppumitoituksia varten esisuunnitteluvaiheen tueksi. Laskentatyökalun avulla pystytään tiettyjen lähtötietojen avulla laskemaan putkiston painehäviöt ja mitoittamaan tarvittavat pumput. Laskennasta saatuja tuloksia hyödyntäen voidaan lopulta laskea pumppuille tehoja.

2 BOLIDEN AB

Boliden on korkean tason metallialan yritys, jolla on sekä kaivos- että sulatto-toimintaa Pohjois-Euroopassa. Yrityksen toiminnan tuotteina syntyvät niin perusmetalleja kuin jalometalleja teollisuuden tarpeisiin. Bolidenillä on toimintaa mm. Ruotsissa, Suomessa, Norjassa ja Irlannissa ja yritys työllistää kaiken kaikkiaan n. 6 000 henkilöä. Yritys on keskittynyt kaivos- ja sulattotoiminnan lisäksi myös malmien etsimiseen. (Bolidenin www-sivut 2023.)

Yrityksen päätuotteita ovat mm. perusmetallit, kuten kupari (Cu), sinkki (Zn), nikkeli (Ni) ja lyijy (Pb). Boliden on Euroopan johtavin kuparin ja nikkelin tuottaja ja yksi maailman johtavista sinkintuottajista. (Bolidenin www-sivut 2023.)

Bolidenin koko konsernin liikevaihto vuonna 2022 oli n. 86 437 miljoonaa Ruotsin kruunua ja voittoa yritys teki 12 410 miljoonaa Ruotsin kruunua (Boliden 2023).

Kaivostoimintaa Bolidenillä on Ruotsissa, Irlannissa ja Suomessa. Ruotsissa kaivosalueet sijaitsevat Aitikissa, Garpenbergissä ja Bolidenissä. Ruotsin kaivoksilla louhitaan pääasiassa kuparia, sinkkiä, jalometalleja kuten kultaa (Au) ja hopeaa (Ag), lyijyä sekä telluriumia (Te). Irlannin kaivostoiminta on keskittynyt Taran alueelle, jossa louhitaan sinkkiä, hopeaa ja lyijyä. Suomessa kaivostoimintaa harjoitetaan Kevitsan alueella. Kevitsassa louhitaan kuparia, nikkeliä, kultaa, palladiumia (Pd) ja platinaa (Pt). (Bolidenin www-sivut 2023.)

Sulattoja Bolidenillä on Ruotsissa, Suomessa ja Norjassa. Sulattoja yrityksellä on yhteensä viisi kappaletta. Ruotsissa sijaitsevat Bergsöen ja Rönnskärin lyijy- ja kuparisulatot, Suomessa Kokkolan sinkkitehdas ja Harjavallan kuparisulatto sekä Norjassa Oddan sinkkisulatto. Bergsöen lyijysulattolla valmistetaan käytännössä vain lyijyä, eikä sieltä tule juuri sivutuotteita kuten muilla sulatoilla. Rönnskärin sulatolla kuparin lisäksi valmistetaan sinkkiä, lyijyä, kultaa, hopeaa ja rikkihappoa (H₂SO₄). Sekä Kokkolassa että Oddassa valmistetaan

sinkin lisäksi rikkihappoa. Harjavallan sulatolla kuparin lisäksi valmistetaan nikkeliä, hopeaa, kultaa ja rikkihappoa. (Bolidenin www-sivut 2023.)

2.1 Boliden Harjavalta Oy

Boliden Harjavalta Oy:n tehtaot sijaitsevat Lounais-Suomessa. Harjavallassa sijaitsee kupari- ja nikkelisulatto ja Porissa kuparielektrolyysi. Lisäksi Harjavallassa on toiminnassa rikkihappotehdas. Kuparisulaton toiminta alkoi Imatralla vuonna 1936. Sodan vuoksi liiketoiminta siirrettiin henkilöstöineen Harjavaltaan 1944. Kuparielektrolyysi aloitti toimintansa Porissa 1941. (Bolidenin www-sivut 2023.)

Vuonna 2021 Boliden Harjavallassa valmistettiin kuparia 151 000 tonnia, 715 000 tonnia rikkihappoa, 19 000 tonnia nikkeliä, 7 tonnia kultaa ja 83 tonnia hopeaa. Harjavallan sulatto työllisti vuonna 2022 reilu 500 henkilöä. (Bolidenin www-sivut 2023.)

2.2 Harjavallan tuotantoprosessit

Boliden Harjavallan sulatoissa valmistetaan kuparia ja nikkelikiveä. Valmistus alkaa rikasteen jalostamisesta. Kuparin tuotannossa rikaste sulatetaan liekki-sulatusuunissa liekkisulatustekniikkaa käyttäen. Uunin pohjalle muodostuu kuparikivi, jonka kuparipitoisuus on 64 %. Rikasteen sisältämän raudan ja rikin palamislämpö otetaan hyötykäyttöön. Kuparikivi siirretään sitten konvertteriuuniin, jossa siitä erotellaan epäpuhtaudet, kuten rauta ja rikki. Kuparikivi hahpetetaan lähes 100 % raakakupariksi. Raakakuparia käsitellään anodi-uunissa ja siitä valetaan n. 400-kiloisia anodeja. Nämä anodit toimitetaan kuparielektrolyysiin Poriin. (Boliden Harjavalta Oy 2020.)

Nikkelin valmistaminen Boliden Harjavallassa aloitetaan kuparin valmistamisen tavoin rikasteen jalostamisesta. Rikasteissa on n. 7–14 % nikkeliä. Raaka-aineen sulatus tapahtuu liekkisulatusuunissa. Uunin pohjalle muodostuu kivi-sulaa, joka lasketaan rakeistusaltaaseen. Kiven päälle muodostunut kuona

puolestaan lasketaan sähköuuniin, jossa se pelkistetään. Pelkistyksessä metallit erottuvat ja laskeutuvat uunin pohjalle. Sähköuunissa syntyvä kivi laskeaan rakeistusaltaaseen. Siellä sula pisaroituu ja jäähtyy kiveksi vedessä. Lopputuotteena nikkelin tuotannosta valmistuu rakeistettua nikkelikiveä. (Boliden Harjavalta Oy 2020.)

3 PROJEKTIN ESISUUNNITELU JA KUSTANNUSARVIOT

Tässä luvussa käydään läpi projektien eri vaiheita yleisellä tasolla, sekä syvennytään projektin käynnistämävaiheeseen ja siihen liittyvään esisuunniteluun. Lisäksi luvun lopussa käydään läpi projektien kustannusten arviointia. Projektit muodostuvat joukosta ihmisiä sekä muista resursseista, jotka tilapäisesti kootaan yhteen suorittamaan tiettyä tehtävää. Projektiin sisältyy tämän lisäksi kiinteä aikataulu ja budjetti. Projektit ovat ainutkertaisia kokonaisuuksia, joita ei voida toistaa sellaisenaan. (Ruuska 2007, 19.)

3.1 Projektityön perusteet

Projektit ovat kertaluontoisia tehtäviä. Erilaisia projekteja on paljon, ja ne voidaan jakaa niiden luonteen perusteella eri tyyppeihin. Jaottelu ei ole yksiselitteinen, vaan se jakaa projektit keskeisten johtamisseikkojen mukaisesti. Tuotekehitysprojektissa lopputulos on sarjavalmistukseen soveltuva tuote. Projektin päättyessä tuotetta aletaan valmistamaan ja myymään. Tällaisissa projekteissa vaikeuksia aiheuttavat tavoitteiden määrittely ja niiden muuttuminen projektin aikana.

Tuotekehitysprojektia edeltää yleensä tutkimusprojekti. Siinä pyritään löytämään tietty ratkaisu tai arviomaan suunnitellun tuotteen/toiminnan taloudellisuutta. Uusien asioiden äärellä työskentely on tyypillistä tutkimusprojektille.

Toiminnan kehittämissuorituksen tavoitteena on tehostaa johtamista ja toimintoja. Kyseisillä projekteilla pyritään kehittämään yrityksen sisäistä toimintaa, kuten organisaation uudistamista tai uusien työtapojen käyttöönottoa.

Toimitusprojektissa yritys tekee toimeksiannon asiakkaalle. Projekti alkaa asiakkaan ja yrityksen välisestä sopimuksesta ja päättyy tuotteen luovutukseen. Olennaista on aikataulun pitävyys ja projektin kannattavuus.

Investointiprojektit puolestaan tuottavat tuloksenaan esim. teollisuuslaitoksen tai jonkun osan siihen. Investointiprojektien arviot ovat tarkkoja ja projektin luonne on selväpiirteinen. Ennen projektipäätöstä projektin kannattavuus sekä tuotanto- ja investointilaskelmat arvioidaan. Investointiprojekteihin liittyy toimittajia ja urakoitsijoita. (Pelin 2020, 20–21.)

Projektille asetetaan sisällölliset, ajalliset, laadulliset ja taloudelliset tavoitteet, ja näiden tavoitteiden toteutumisen mittaaminen projektin päättyessä on yksiselitteistä. Projekti on onnistunut silloin, kun se saavuttaa sille asetetut laadulliset ja sisällölliset tavoitteet ja valmistuu asetetun aikataulun ja budjetin mukaisesti. Lisäksi kriteeriksi voidaan asettaa se, miten projektiryhmä kokee projektin. (Pelin 2020, 22.)

Projektin onnistumisen mittaavat kriteerit vaihtelevat sen mukaan, kenen näkökulmasta lopputulosta tarkastellaan. Esimerkiksi tilaajalle eli asiakkaalle on tärkeää, että kustannusarviot ja aikataulut pitävät, kun taas käyttäjiä kiinnostaa työn tuloksena syntynyt tuote ja sen ominaisuudet. Projektiryhmän kannalta tärkeät onnistumiset voivat liittyä teknisiin ratkaisuihin tai käytettäviin työvälineisiin. Projektin onnistumista arvioidaan suhteessa projektisuunnitelmaan, mikä on usein riittävää. Hyvin laadittu projektisuunnitelma mahdollistaa onnistuneen projektin. (Ruuska 2007, 274–275.)

3.2 Projektin elinkaari ja vaihejako

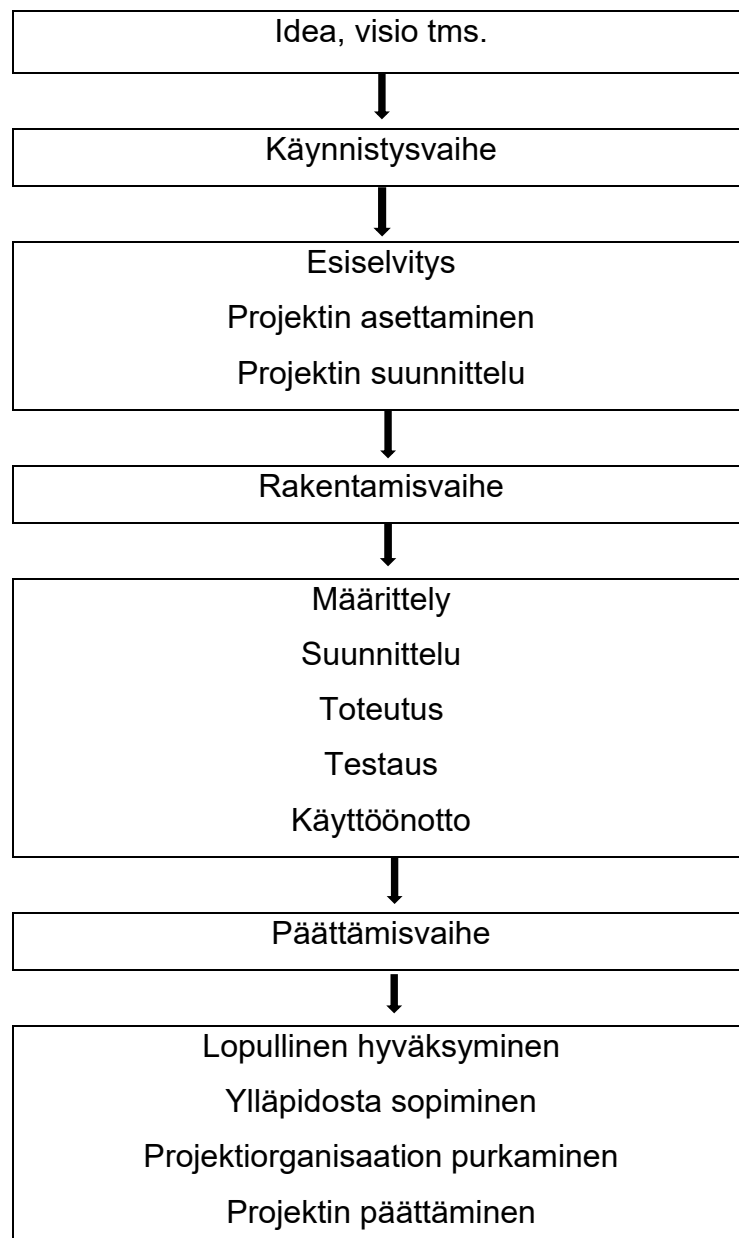
Projekti on tehtäväkokonaisuus, jolla on selkeä alkamis- ja päättymisajankohta eli elinkaari. Kun puhutaan projektien vaiheistuksesta, viitataan sillä usein rakennusvaiheeseen, eli itse toteutusprosessin sisäiseen vaiheistukseen. Vaiheistus kattaa kaikki tehtävät projektin käynnistämisestä aina projektin päättämiseen. Projektista saatujen hyötyjen ja kustannusten osalta tarkastelua voidaan laajentaa koskemaan sen tuloksena syntyviä järjestelmien tai tuotteiden elinkaarta. (Ruuska 2007, 33.)

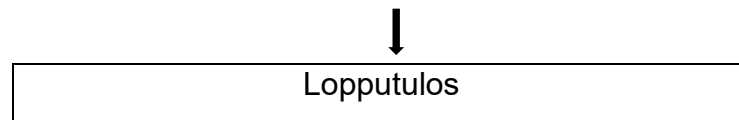
Projekti jaksotetaan tavallisesti ajallisesti peräkkäisiin välivaiheisiin. Vaiheistus helpottaa päätöksentekoa. Vaiheistus ei sitouduta liian hataralla pohjalla oleviin päätöksiin ja tarvittaessa voidaan vaiheen lopussa arvioida jatkosuunnitelma uudestaan. Kunkin vaiheen sisällä projekti jaetaan rinnakkaisiin osaprojekteihin. Nämä taas jaetaan edelleen osaprojekteihin projektin koon mukaan. Investointiprojektin vaiheita voi olla mm. esiselvitykset, esisuunnittelu, perusuunnittelu, hankintavaihe, rakennus- ja asennusvaihe sekä käyttöönotto ja käynnistys. Kunkin vaiheen lopussa on synnyttävä mitattava tulos. Se voi olla esimerkiksi määrittely, selvitys tai prototyyppi. Projektiryhmän kokoonpano voi vaihtua merkittävästi vaiheiden välissä. (Pelin 2020, 87–88.)

Projektin käynnistämällä luodaan pohja projektissa käytettäville työtavoille, projektiryhmän yhtenäisyydelle ja tiedonkululle projektissa. Käynnistämistoimenpiteitä ovat mm. tavoitteiden määrittely, projektiryhmän jäsenten tehtävien määrittely ja projektisuunnitelman laatimisen käynnistys. Ongelmia projektin alussa voi aiheuttaa esimerkiksi se, että henkilöt eivät tunne projektisuunnittelun menetelmiä. Lisäksi haasteita voi aiheuttaa henkilöiden tavoitteiden ja motivaation eroavaisuudet ja se, että he eivät tunne toisiaan. (Pelin 2020, 63.) Kun projekti on saatu käyntiin, voidaan siirtyä projektin rakentamisvaiheeseen.

Projektin rakentamisvaihe käynnistyy toimeksiannon kohteena olevan tuotteen määrittelyllä. Määrittelyvaiheessa ei oteta vielä kantaa teknisiin ratkaisuihin, vaan toimintaan. Määrittelyssä kuvataan, mitä tuotteella tehdään. Tämän pohjalta voidaan aloittaa tuotteen toiminnallinen suunnittelu. Suunnitteluvaiheessa tuotetaan tuotteelle vaatimusten perusteella tekninen ratkaisu. Siinä kuvataan yksityiskohtaisesti, miten tuote aiotaan toteuttaa rajapintojen, liittymien ja sisäisen rakenteen osalta. Toteutusvaiheessa valmistetaan suunnitteluvaiheen kuvausten mukainen tuote sekä laaditaan tarvittavat dokumentit ja käyttöohjeet. Testausvaiheessa tarkistetaan, että tuote vastaa vaatimuksia sekä teknisesti että toiminnallisesti ja tehdään tarpeen vaatiessa korjaukset. Käyttöönottovaiheessa varmistetaan, että uuden tuotteen tuotantokäyttö voidaan aloittaa häiriöttä. (Ruuska 2007, 39.)

Projekti on ajallisesti rajattu tehtävä, jolla täytyy olla selvä päätepiste. Projektin hallitun päättämisen edellytys on, että lopputuotteen hyväksymiskriteerit on sovittu yksityiskohtaisesti jo projektin alussa. Projekti pitää lopettaa jämäkästi, kun voimassa olevan rajauksen mukainen lopputuote on otettu käyttöön ja tilaaja on hyväksynyt toimituksen. Samalla sovitaan ylläpidosta, käyttäjätuen järjestelyistä ja käytössä ilmenevien virheiden korjaamisesta. Projektipäällikön tehtävänä on koota projektin aikana syntyneet asiakirjat ja dokumentit yhteen ja arkistoida ne. Projektipäällikkö laatii projektista loppuraportin. Tämän jälkeen projekti katsotaan päättyneeksi ja projektiorganisaatio puretaan. (Ruuska 2007, 40.)





Kuva 1. Projektin elinkaari ja vaihejako (mukaillen Ruuska 2007, 34.)

3.3 Esisuunnitteluvaihe

Tarve projektin käynnistämiseksi voi syntyä siksi, että halutaan uudistaa jokin vanhentunut järjestelmä tai tehdä siihen merkittäviä muutoksia. Projektin asettamista varten on kuvattava projektin tavoitteet ja lopputulos mahdollisimman tarkasti sekä laadittava työn aloittamiseksi tarvittavat suunnitelmat. Nämä tehtävät ajoittuvat projektin käynnistämisvaiheeseen. Ennen kuin projektia lähdetään toteuttamaan, tulisi kohdealueesta tehdä esiselvitys (feasibility study). Sen tarkoituksena on varmistaa, että projektin ennakoitu lopputulos tukee organisaation toiminnallisia tavoitteita ja kartoittaa aiotun hankkeen teknistaloudelliset edellytykset. Esiselvityksen tuloksena projektin asettaja saa riittävästi tietoa siihen, että onko projektin käynnistämiseksi olemassa riittävät edellytykset. Esiselvityksessä kuvataan karkealla tasolla projektin tekniset ja toiminnalliset tavoitteet, keskeiset ongelmat, tavoiteaikataulu, kustannusarvio ja lopputulos. Mikäli esiselvitys hyväksytään, voidaan projekti asettaa. (Ruuska 2007, 35.)

3.4 Esisuunnittelussa vaadittava dokumentaatio

Projektin käynnistysvaiheessa hyväksytyn esiselvityksen jälkeen projekti voidaan asettaa. Asettamisella tarkoitetaan sitä, että projekti voidaan käynnistää. Projekti asetetaan erillisellä asettamisasiakirjalla. Asettamisasiakirjan tarkoituksena on muodostaa perusta projektin aloittamiselle. Se antaa ymmärrystä liiketoiminnan tarpeista, varhaisen kuvan odotetusta toimituksesta ja raamit valmistelutyölle. (Boliden Harjavalta Oy 2021.) Asettamisasiakirjassa kuvataan lyhyesti projektin tausta, tehtävä ja aikataulu. Lisäksi siinä nimetään sekä projektipäällikkö että projektin johtoryhmä. Asettamisasiakirjasta ei ole tarpeen tehdä liian yksityiskohtaista, sillä yksityiskohdat tarkennetaan myöhemmin

projektin suunnittelu- ja määrittelytyön yhteydessä. Projektipäälliköllä on tärkeää tarkastaa asettamisasiakirja ja käydä sen yksityiskohdat läpi. Tällä voidaan varmistaa, että projektipäälliköllä ja asettajalla on yhteinen näkemys tavoitteista ja rajauksista projektiin liittyen. (Ruuska 2007, 36–37.)

Projektin esisuunnitteluun liittyy projektin asettamisen lisäksi myös projektin aikataulun ja edistymisraporttien laatimista, esisuunnittelun alkutietojen keräämistä, toteutuksen kuvaukset sekä toimintaohjeet sekä luettelo tarvittavista luvista ja toimintamalleista. Projektin esisuunnittelulle laaditaan oma esisuunnittelun aikataulu ja edistymisraportit. Esisuunnittelulle tärkeitä alkutietoja ovat mm. taloudelliset perusteet sekä teknilliset ja tuotannolliset tavoitteet. Kun lähdetään miettimään projektin toteutuksen kuvausta, tulisi esisuunnittelussa huomioida mm. projektiin liittyvät standardit, projektin toimintakuvaus, turvallisuusvaatimukset sekä suunnittelu ja käyttöönotto. Näiden lisäksi esisuunnittelussa tulisi huomioida myös lupakäytännöt ja viranomaisasiakirjat, kuten työsuojelu-, palosuojelu-, rakentamis- ja sähköistysasiakirjat sekä ympäristövaikutusten arviointi (YVA). (PSK 2601-4 2022, 1–2.) Jos projekti käsittelee prosessisuunnittelua, tulisi esisuunnitteluvaiheessa ottaa huomioon edellä mainittujen perusasioiden lisäksi mm. prosessiselvitykset- ja määräykset, prosessi-, lohko- ja virtauskaaviot, taselaskelmat ja laiteluettelot. (PSK 2601-4 2022, 2.)

3.5 Projektien kustannusten arviointi

Projekteilla on tietyt taloudelliset tavoitteet, ja niistä kertyviä kustannuksia voidaan tarkastella kokonaisuudessaan vasta kun projekti on saatu päätökseen. Kustannuksia tulee arvioida projektin edetessä ja niitä arvioidaan saavutettuihin tuloksiin. Projektikustannusten hallinnointi kattaa projektiin liitettävien kustannusten arvioinnin, budjetoinnin ja seurannan. Tällä pyritään varmistamaan, että projekti toteutetaan kannattavasti ja kustannustehokkaasti. Projektin suunnitteluvaiheessa tehdään päätökset sen aikataulusta, laajuudesta ja resursoinnista. Kun projekti etenee toteutusvaiheeseen, on siinä vaiheessa vaikeaa säästää toteutuskuluissa, sillä niistä päätetään jo suunnitteluvaiheessa. Tämän takia projektien kustannusten hallinta on tärkeää jo

suunnitteluvaiheessa. Toki kustannusten hallinta on projektin toteutusvaiheesakin tarpeen esimerkiksi kulujen arvioinnin ja resurssien suunnittelun muodossa. (Mäntyneva 2016, 75.)

Kustannusten arviointiin liittyy tarkkuusvaatimuksia, jotta projektia päästään ylipäänsä käynnistämään. Liian suuri kustannusarvio projektissa voi antaa tilaajalle tunteen, ettei sitä kannata toteuttaa. Liian optimistinen aikataulutusta ja kustannusten arviointi saattaa johtaa siihen, että projektipäällikkö ajaa takaa epärealistisia taloudellisia tavoitteita. Tämä voi johtaa projektien laatuvaatimuksissa väärin painotuksiin. (Mäntyneva 2016, 76.)

Projektien esisuunnittelun osalta alustava kustannusarvio palvelee esisuunnittelun alustavia rahoitustarvearvioita ja kannattavuuslaskelmia. Sen tarkkuus voi vaihdella paljonkin. Tavallisimmin se on välillä -20...+40 %. Peruskustannusarvio tehdään esisuunnitteluprojektin tuottamien määriteltujen pohjalta. Tällöin on käytössä laiteluettelot, tehtäväluettelot ja alustavat tarjouskyselyt. Peruskustannusarviossa tarkkuus vaihtelee +/- 10 % välillä. Tähän pohjautuu lopullinen investointipäätös. Teollisuuslaitosprojekteissa peruskustannusarvion pohjana ovat tarjoukset kone- ja laitekustannuksista. (Pelin 2020, 163.)

Lähtökohtaisesti projekteihin kohdistuu suorina ja epäsuorina kustannuksia. Suorina kustannuksina voidaan pitää henkilöstön työaikaa, koneita ja kalustoa sekä alihankkijoiden suorittamaa työtä. Epäsuorina kustannuksina voidaan puolestaan pitää vakuutuksia, tilakustannuksia ja tietoliikennekuluja. Näiden lisäksi voidaan budjetoida odottamattomien kulujen varalta jonkinlainen prosentuaalinen osuus kaikista kustannuksista. Tällaisella varautumisella voidaan antaa liikkumavaraa projektin kustannuksiin ilman, että odottamattomat kustannukset ylittävät heti projektin budjetin. (Mäntyneva 2016, 78.)

4 ESISUUNNITTELUVAIHEEN LASKENTATYÖKALU

Opinnäytetyössä laadittiin projektien esisuunnitteluvaiheen tueksi laskentatyökalu pumppujen mitoitusta varten. Työkalu laadittiin Excelissä, ja sen tarkoituksena on laskea eri lähtötietoja käyttäen putkiston painehäviöitä sekä painehäviöiden avulla mitoittaa putkistolle tarpeellinen pumppu. Laskentatyökalu laskee arvion pumpun tehon tarpeesta. Laskentatietoja voidaan hyödyntää pumpun valinnassa. Laskentatyökalu muodostuu välilehdistä, joita ovat Ohjesivu, Ekvivalenttipituus, Laskentasivu, Tulossivu ja Lähtöarvot.

4.1 Lähtötiedot

Laskentatyökalun laskennan laatiminen aloitettiin lähtötietojen keräämisellä. Suurin osa lähtöarvoista ja laskennassa käytetyistä yhtälöistä saatiin työpaikalta sekä Virtaustekniikan kurssimateriaaleista (Sirén 2022). Boliden Harjavalta Oy:n prosesseissa käytetään yleisinä väliaineina vettä, 93 % rikkihappoa sekä 50 % lipeää. Näistä aineista laskennan kannalta olennaiset tiedot ovat aineen lämpötila, tiheys sekä kinemaattinen viskositeetti. Väliaineiden virtausnopeuksissa tulee huomioida kyseisen väliaineen virtausnopeus putkistossa. Vedelle on esitetty suositeltavat ja suurimmat virtausnopeudet kullekin putken nimelliskoolle (PSK 2401 2009, 3). Hapuille ja emäksille on esitetty omat virtausnopeudet. Laskentatyökalussa happona käytetään rikkihappoa ja emäksenä lipeää. Rikkihapon virtausnopeuden tulee standardin mukaan olla <math><1,5\text{ m/s}</math> ja lipeän välillä $0,5\text{--}1\text{ m/s}$. (PSK 2401 2009, 4.) Käytännössä myös rikkihapon virtausnopeus tulee olla myös välillä $0,5\text{--}1\text{ m/s}$. Suuremmilla nopeuksilla oksidikalvo häipyä putken pinnalta, ja pienemmillä virtausnopeuksilla on vetykertymän vaara.

Lähtötietiedoissa tulee huomioida myös tilavuusvirta, putken pituus ja karheus, putkiston korkeuserot sekä putken DN-koko, mikä määrittää putken ulkoalkaisijan sekä putken seinämän paksuuden. Eri putkimateriaaleilla on määriteltä omat DN-koot. Laskentatyökalussa putkimateriaaleina käytetään terästä ja muovia. Laskennassa tulee ottaa huomioon myös ekvivalenttipituus ja siihen

vaadittavat lähtöarvot. Ekvivalenttipituus kuvaa sitä suoran putken pituutta, joka vastaa putkiston kertavastusten (mm. mutkat, venttiilit) painehäviöitä (Katmar Software 2022).

4.2 Laskentatyökalun esittely

Laskentatyökalussa on viisi erillistä välilehteä. Välilehdet on jaettu seuraavasti: Ohjesivu, Ekvivalenttipituus, Laskentasisivu, Tulossivu ja Lähtöarvot. Ensimmäinen välilehti on Ohjesivu, jossa on ohjeita laskentatyökalun käyttämiseen. Ohjesivulla on jaettu ohjeet sen mukaan, mitä milläkin välilehdellä käsitellään.

Ekvivalenttipituus -välilehdellä voidaan laskea putkistolle ekvivalenttipituus. Ekvivalenttipituudella kuvataan kertavastushäviöitä, kuten mutkia ja venttiilejä. Jokaiselle mutkalle ja venttiilille on annettu oma vakioarvo, ja yhdessä vakioarvon ja mutkan tai venttiilin kappalemäärän kanssa lasketaan kyseiselle kertavastukselle ekvivalenttipituus. Kun kaikkien tarvittavien kertavastusten ekvivalenttipituudet on saatu laskettua, summataan ne yhteen. Tästä saadaan kokonaisekvivalenttipituus, mikä lasketaan putken pituuden kanssa yhteen. Nämä yhdessä muodostavat putkiston laskennallisen kokonaispituuden, jonka perusteella painehäviö lasketaan.

Laskentasisivulla on esitetty painehäviöiden ja pumppujen tehojen laskenta kokonaisuudessaan. Laskentasisivulle haetaan Lähtöarvot-välilehdeltä tarvittavat arvot laskennan kannalta. Näiden tietojen perusteella Laskentasisivulla suoritetaan tarvittavat laskennat putkiston painehäviöiden, pumpun pumppaustehon ja pumpun akselitehon osalta. Laskentasisivulla syötetään halutut lähtöarvot laskentaan joko alavetovalikosta tai syöttämällä arvo manuaalisesti. Tämän jälkeen työkalu suorittaa laskennan itse ja antaa valmiit vastaukset jokaiseen välivaiheeseen.

Tulossivulla esitetään Laskentasisivulta saadut tärkeimmät tulokset, kuten staattinen ja dynaaminen nostokorkeus, virtaava väliaine ja sen lämpötila jne. Näiden tulosten avulla voidaan hahmotella tarvittavaa pumppua kyseiselle

putkistolle. Lisäksi tulossivulle on koottu oleelliset tulokset, jotta pumpputoimittajalle voidaan antaa selkeät tiedot tarvittavasta pumpusta ja vertailla toimittajan tarjoamia pumppuja laskennasta saatuihin pumppujen tehoihin.

Lähtöarvot -välilehdelle on koottu kaikki tarvittavat lähtöarvot laskentatyökalua varten, kuten väliaineet ja niiden oleelliset ominaisuudet, kuten lämpötila, tiheys ja kinemaattinen viskositeetti. Aineominaisuuksien lisäksi välilehdelle on koottu tarvittavat putkimateriaalit sekä niiden DN-koot ja karheudet. Tältä välilehdeltä laskentatyökalu hakee Laskentasivulle edellä mainitut lähtöarvot, jotka voidaan valita Laskentasivulla alasetoalikoista. Staattinen nostokorkeus sekä putken pituus eivät ole Lähtöarvot-välilehdellä, sillä käyttäjä syöttää ne erikseen Laskentasivulle.

4.3 Laskentatyökalun laskenta

Kun laskentaan vaadittavat lähtöarvot on selvitetty, voidaan siirtyä itse painehäviöiden laskentaan. Laskenta lähtee putken sisähalkaisijan ja sen poikkipinta-alan selvittämisestä. Putken ulkohalkaisija ja seinämäpaksuus saadaan kyseisen putken DN-koosta, ja näiden avulla voidaan selvittää sisähalkaisija ja poikkipinta-ala. Putken sisähalkaisija saadaan vähentämällä putken ulkohalkaisijasta sen seinämäpaksuus kahdesti.

Putken poikkipinta-ala saadaan seuraavasta kaavasta:

$$A = \pi r^2 \quad (1)$$

A = poikkipinta-ala, m²

r = putken sisähalkaisijan säde, m

Virtausnopeuden selvittämiseksi tarvitaan tilavuusvirta ja putken poikkipinta-alan mitat. Tilavuusvirta syötetään laskentaan kuutiota tunnissa, joten tilavuusvirta pitää muuttua kuutiometreiksi sekunnissa, jotta se vastaisi virtausnopeuden yksikköä metriä sekunnissa. Virtausnopeus saadaan jakamalla

tilavuusvirta putken poikkipinta-alalla. On tärkeää huomioida väliaineen vaikutus suositeltuun virtausnopeuteen. Laskentatyökalussa käytetyille väliaineille löytyy standardoidut virtausnopeudet väliaineen mukaan (PSK 2401 2009).

Kun virtausnopeus on saatu selvitettyä, lasketaan dynaaminen paine kitkapainehäviöitä varten seuraavasti:

$$p_d = \frac{1}{2} * \rho * v^2 \quad (2)$$

ρ = väliaineen tiheys, kg/m³

v = väliaineen virtausnopeus, m/s

Seuraavaksi lasketaan Reynoldsin luku, joka määrittelee sen, onko virtaus laminaarinen vai turbulenttinen. Lisäksi lasketaan suhteellinen karheus. Näitä tarvitaan kitkavastuskertoimen selvittämisessä. Jos Reynoldsin luku on $Re < 2000$, virtaus on laminaarinen. $Re > 4000$ on taas turbulenttinen virtaus. Reynoldsin luvun ollessa välillä 2000–4000 on virtaus epämääräinen. Suhteellinen karheus saadaan jakamalla putken karheus putken sisähalkaisijalla.

Reynoldsin luku:

$$Re = \frac{v * d_h}{\nu} \quad (3)$$

v = väliaineen virtausnopeus, m/s

d_h = putken sisähalkaisija, m

ν = väliaineen kinemaattinen viskositeetti, m²/s

Reynoldsin luku määrittelee sen, mitä kitkavastuskertoimen kaavaa hyödynnetään. Yhtälöissä 7 ja 8 esiintyvä d on putken sisähalkaisija ja k putken sisäpinnan karheus. Kummankin yksiköt ovat millimetriä. Alla on lueteltu laskentatyökalussa käytetyt kaavat kitkavastuskertoimen λ selvittämiseen:

Laminaarinen virtaus:

$$Re = \frac{64}{\lambda} \quad (4)$$

Turbulenttiset virtaukset, voimassa kun $Re * k/d < 65$:

Blasiuksen yhtälö, voimassa kun $Re = 2320 \dots 10^5$

$$\lambda = 0,3164 * Re^{-0,25} \quad (5)$$

Nikuradsen yhtälö, voimassa kun $Re = 10^5 \dots 5 * 10^6$

$$\lambda = 0,0032 + 0,221 * Re^{-0,237} \quad (6)$$

Moodyn yhtälö, voimassa kun $Re * k/d > 1300$

$$\lambda = 0,0055 + 0,15 * \left(\frac{k}{d}\right)^{0,333} \quad (7)$$

Wadmarkin yhtälö, voimassa kun $Re = 4 * 10^3 \dots 10^8$ ja $k/d = 10^{-8} \dots 0,05$

$$\lambda = \left(\frac{1}{-2 \cdot \log\left(\frac{k}{d} - \frac{5,045}{Re} \cdot \log\left(\frac{k}{d} + \frac{5,6 - 37 \cdot \frac{k}{d}}{Re^{0,9}}\right)\right)} \right)^2 \quad (8)$$

Kun haluttu kitkavastuskerroin on selvitetty, voidaan selvittää painehäviöt, joita mitoitettussa putkistossa syntyy. Kitkapainehäviötä laskettaessa tulee ottaa huomioon se, että kertavastuspainehäviöt on huomioitu yhtälössä putken pituudessa ekvivalenttipituudella.

Kitkapainehäviö:

$$\Delta p_\lambda = \lambda * \frac{l}{d_s} * p_d \quad (9)$$

λ = kitkavastuskerroin

l = putken pituus, m

d_s = putken sisähalkaisija, m

p_d = dynaaminen paine, Pa

Hydrostaattinen painehäviö:

$$\Delta p_h = \rho * g * h \quad (10)$$

ρ = väliaineen tiheys, kg/m³

g = putoamiskiihtyvyyys, m/s²

h = korkeus lähtöpisteen ja päätepisteen välillä, m

Kokonaispainehäviö:

$$\Delta p = \Delta p_\lambda + \Delta p_h \quad (11)$$

Kun kokonaispainehäviö on saatu laskettua, voidaan putkistolle soveltuvaa pumppua alkaa määrittää. Pumpun soveltuvuutta arvioidessa tarvitaan putkiston kokonaispainehäviö sekä väliaineen tilavuusvirta. Pumppaustehoa laskettaessa tilavuusvirta kerrotaan putkiston kokonaispainehäviöllä. Pumpun akselitehoa laskettaessa tarvitaan puolestaan pumpun hyötysuhde ja pumppausteho. Laskentatyökalussa on arvioitu pumpun hyötysuhteeksi 60 %. Akseliteho saadaan jakamalla tilavuusvirran ja paineenkorotuksen tulo hyötysuhteella. Pumpun laskennassa käytetyt yhtälöt 12–13 saatiin Teemu Puumalan opinnäytetyöstä (Puumala 2021, 28).

Pumpun teoreettinen tehontarve:

$$P_{teor} = \Delta p * \dot{V} \quad (12)$$

Δp = kokonaispainehäviö, Pa

\dot{V} = tilavuusvirta, m³/s

Pumpun akseliteho:

$$P_{aks} = \frac{P_{teor}}{\eta} \quad (13)$$

η = pumpun hyötysuhde

5 POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää projektien esisuunnitteluvaihetta ja selvittää siinä tapahtuvaa kustannusarviota ja vaadittavaa dokumentaatiota. Lisäksi kehitettiin esisuunnitteluvaiheen tueksi laskentatyökalu, jolla voidaan laskea putkiston painehäviöitä ja mitoittaa putkistolle sopiva pumppu.

Opinnäytetyön aihe oli kiinnostava ja työstä hyötyvät molemmat osapuolet. Työn aiheita on entuudestaan käsitelty Satakunnan ammattikorkeakoulun kursseilla, mutta opin työn aikana paljon uutta niin projektitoiminnasta ja esisuunnittelusta kuin myös putkiston ja pumppujen mitoittamisesta. Käsitteet ja termit, joita työssä käytettiin, olivat jotenkin hallussa ennen työn aloittamista, mikä helpotti työn tekemistä ja sopivien lähteiden etsimistä. Lisäksi minulla oli aiempaa kokemusta laskentatyökalun laatimisesta, mutta uutena asian minulle tuli pumppujen mitoittaminen ja ekvivalenttipituuden käyttäminen kertavastuspainehäviöiden laskennassa.

Projektitoiminnan perusteista ja projektin esisuunnittelussa vaadittavista dokumenteista ja kustannusarvioista oli tarjolla runsaasti luotettavia ja kattavia lähteitä. Lisäksi laskentatyökalua laadittaessa suurin osa lähtöarvoista, kuten putkien karheudet ja DN-koot, olivat helposti saatavilla. Painehäviöiden laskemista varten tarvittavat virtaustekniikan yhtälöt olivat myös helposti saatavilla, ja niiden pohjalta oli selkeää luoda pohja laskentatyökalulle.

Laskentatyökalussa väliaineeksi valikoituivat vesi, 93 % rikkihappo sekä 50 % lipeä. Näitä väliaineita käytetään pääsääntöisesti Boliden Harjavalta Oy:n prosesseissa. Kertavastuspainehäviöiden laskemiseen käytetään ekvivalenttipituutta, sillä sen avulla voidaan huomioida jokaisen kertavastuksen kappalemäärä ja sen aiheuttama häviö erikseen. Putken materiaalia valittaessa voidaan valita joko haponkestävä teräsputki tai muoviputki, sillä nämä ovat Boliden Harjavalta Oy:n prosesseissa yleisimmät käytössä olevat putkimateriaalit. Tulosten esittelyssä olennaisiksi laskentatyökalusta saaduiksi tuloksiksi valikoituvat väliaine ja sen lämpötila, staattinen, dynaaminen ja

kokonaisnostokorkeus ja kokonaispainehäviö. Nämä tiedot ovat tärkeimpiä pumpun valmistajalle sopivan pumpun valitsemisessa.

Työtä tehdessä haasteita aiheuttivat erityisesti laskentatyökalussa rikkihapon ja lipeän lähtöarvojen selvittäminen. Lopulta tiedot löytyivät opettajan ja työpaikan ohjaajien avustuksella. Lisäksi laskentatyökalussa ekvivalenttipituuden hyödyntäminen kertavastushäviöiden laskemisessa oli minulle uutta, ja aiheen omaksuminen vaati aikaa ja perehtymistä.

Työhön liittyviä jatkokehitysideoita voisi olla mm. kustannusten arviointi mitoitettulle pumpulle. Työhön olisi voinut lisätä laskentatyökaluun kustannusarvioinnin pumppujen osalta. Kun pumpun kustannusarvioihin liittyvät seikat olisivat tiedossa, voisi erillisellä välilehdellä laskea alustavan kustannusarvion mitoitettulle pumpulle. Näin saataisiin nopeasti esisuunnitteluvaiheessa selville hintaluokka ja takaisinmaksuaika, joka pumpulle tulisi. Pumppujen hinnastojen pitäisi olla päivittyvät, jolloin kustannusarvioiden tekeminen olisi relevanttia vuosienkin päästä, sillä mm. inflaatio ja muuttuvat markkinat voivat vaikuttaa nopeasti hintojen vaihteluun.

LÄHTEET

Bolidenin www-sivut. 2023. Viitattu 28.3.2023. <https://www.boliden.com>

Bolidenin www-sivut. 2023. Boliden Harjavalta. Viitattu 28.3.2023. <https://www.boliden.com/fi/operations/smelters/boliden-harjavalta>

Boliden. 2023. Interim Report for the fourth quarter and year-end report 2022. Viitattu 15.3.2023. <https://vp217.alertir.com/afw/files/press/boliden/202302141754-1.pdf>

Boliden Harjavalta Oy. 2020. Yritysesite. Viitattu 21.3.2023. <https://indd.adobe.com/view/978b9e46-3492-45e2-9ad7-ae1c844ab22b>

Boliden Harjavalta Oy. 2021. Projektin asettamisasiakirja. Viitattu 11.4.2023.

Katmar Software. 2022. Equivalent Lengths of Pipe Fittings and Valves. Viitattu 24.4.2023. <https://www.katmarsoftware.com/articles/pipe-fitting-equivalent-length.htm>

Mäntyneva, M. 2016. Halittu projekti: jäntevästä suunnittelusta menestykselliseen toteutukseen. Helsinki: Kauppakamari. Viitattu 11.4.2023.

Pelin, R. 2020. Projektihallinnan käsikirja. 8. uud. p. Helsinki: Projektijohtaminen Oy Risto Pelin. Viitattu 10.4.2023

PSK 2401. Putkiston virtausnopeudet. Flow velocities in piping. 2009. PSK Standardointiyhdistys ry. Helsinki: PSK. Viitattu 24.4.2023. www.psk-standardointi.fi

PSK 2601-4. Teknisten asiakirjojen luovutus sopimus. Delivery agreement for technical documents. 2022. 3. p. PSK Standardointiyhdistys ry. Helsinki: PSK. Viitattu 13.4.2023. www.psk-standardointi.fi

Puumala, T. 2021. Putkistosuunnittelu. AMK-Opinnäytetyö. Centria-ammattikorkeakoulu. Viitattu 24.4.2023. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/494427/teemu_puumala.pdf?sequence=2

Ruuska, K. 2007. Pidä projekti hallinnassa: suunnittelu, menetelmät, vuorovai-
kutukset. Helsinki: Talentum. Viitattu 11.4.2023.

Sirén, P. 2022. Virtaustekniikka Moodle kurssimateriaali. Viitattu 24.4.2023.