



Painelaitesuunnittelun oppimateriaalin päivittäminen

Eetu Tammenjoki

Opinnäytetyö, AMK

Lokakuu, 2024

Insinööri (AMK), Konetekniikka

Tammenjoki, Eetu

Painelaitesuunnittelun oppimateriaalin päivittäminen

Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. **Lokakuu 2024**, 50 sivua.

Konetekniikan tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö, AMK.

Julkaisun kieli: suomi

Julkaisulupa avoimessa verkossa: kyllä

Tiivistelmä

Painelaitesuunnittelun valtavan ja monimutkaisen kokonaisuuden takia Jyväskylän ammattikorkeakoulun opintojakso Painelaitesuunnittelu ja -lainsäädäntö tarvitsi päivittämistä ja kehittämistä. Opintojaksolla oli tarvetta varmistua, että sen materiaalit olivat ajan tasalla muuttuvien standardien takia sekä kehittyä paremmaksi uusien tehtävien avulla.

Toimintatutkimuksen tavoitteena oli päivittää painelaitesuunnittelun opintojakso uusimpien EN-standardien mukaisiksi sekä kehittää siihen uusia työelämän kaltaisia tehtäviä ja lisäyksiä. Tehtäväksi tuli selvittää tärkeitä asioita ja yleisiä ongelmia painelaitesuunnittelusta haastatteluilla alan ammattilaisille sekä havainnoimalla opintojakson materiaalit.

Tulokset saatiin havainnointijaksoilla käymällä läpi opintojakson materiaalit lukuisat kerrat ja haastattele-malla painelaitesuunnittelun ammattilaisia. Havainnoinnissa käytiin opintojakson laskutehtävät tarkasti läpi sekä verrattiin materiaaleja uusimpiin standardeihin. Haastatteluissa selvitettiin painelaitesuunnittelun tärkeitä asioita ja yleisiä ongelmia. Tutkimuksessa selvinneitä painelaitesuunnittelun tärkeitä asioita olivat materiaalinvalinta sekä standardien luku ja tulkitseminen, mutta tärkeimpinä asioina muiden edelle nousivat hitsaus ja lähtötiedot. Tärkeitä hitsaukseen liittyviä asioita, joita suunnittelijan on hyvä ymmärtää, olivat tarkastukset, hitsausohjeet sekä eri menetelmät. Lähtötietoja painotettiin tärkeänä, koska ne ovat tärkeitä suunnittelun aloittamisessa. Lähtötietoja on suuri määrä mitä täytyy tietää, että painelaitteen suunnittelu voidaan toteuttaa kuten, esim. suunnittelukoodi, paine, elinikä ja sisältö.

Opintojaksolla ei standardien suhteen ollut lopulta paljoa päivitettävää. Viittaukset vanhentuneihin standardeihin olivat suurin ongelma, mutta vanhentuneissakin standardi viittauksissa kaavat ja vaiheet olivat pysyneet samoina.

Kuitenkin tärkeimpänä asiana mitä haastattelujen kautta onnistuttiin saamaan, olivat kaksi esimerkkitehtävää, jotka ottivat huomioon monia asioita, joita tutkimuksessa selvisi. Ensimmäisenä saatiin tehtävä, johon liittyi vahvasti tärkeää materiaalinvalintaa standardeista ja toisena saatiin konepiirustus työelämästä, joka sisälsi lähtötiedot sekä hitsausmerkkejä. Sen mukaan saatiin vielä esimerkki painelaitelaskenta-ohjelmalla tehty ratkaisu. Piirustuksesta saatiin paljon mahdollisia tehtäviä, jotka perustuvat oikeaan työelämän painelaitesuunnitteluun.

Avainsanat (asiasanat)

Painelaitteet, Suunnittelu

Muut tiedot (salassa pidettävät liitteet)

-

Tammenjoki, Eetu

Updating the teaching material for pressure vessel design

Jyväskylä: JAMK University of Applied Sciences, October 2024, 50 pages

Degree Programme in Mechanical Engineering. Bachelor's thesis.

Permission for open access publication: Yes

Language of publication: Finnish

Abstract

Due to the huge and complex nature of pressure vessel design, the Jyväskylä University of Applied Sciences course Pressure Vessel Design and Legislation needed updating and development. The course needed to ensure that its materials were up-to-date due to changing standards and to develop it better with new assignments.

The goal of the action research was to update the pressure vessel design course to comply with the latest EN standards and to develop new tasks and additions to it, similar to working life. The task of the research was to find out important issues and general problems in pressure vessel design by interviewing professionals in the field and observing the course materials.

The results were obtained by observing the course materials numerous times and interviewing pressure vessel design professionals. In the observation part of the research, the calculation tasks of the course were carefully reviewed, and the materials were compared to the latest standards. The interviews explored the important issues and characteristics of pressure vessel design and designer. The important aspects of pressure vessel design that emerged from the study were material selection, reading and interpreting standards, but welding and initial values stood out as the most important things in designing pressure vessels. Important issues related to welding included inspections, welding procedure specifications and various methods. Initial values were emphasized because it is important when starting a new design project. There is a large amount of initial data that you need to know so that the design of a pressure vessels can be implemented such as, for example, a design code, pressure, lifespan and content.

In the end, the course did not have much to update in terms of standards. References to obsolete standards were the main problem, but even with outdated standard references, the formulas and steps had remained the same.

However, the most important thing managed to get, through the interviews were two example assignments that took into account many of the things that the study found. The first was a task that strongly involved important material selection from standards, and the second was a drawing directly from working life, which included initial values and welding marks, and an example solution made with pressure vessel calculation software was obtained. The drawing provided a lot of tasks based on real life pressure vessel design.

Keywords/tags (subjects)

Pressure Vessels, Design

Miscellaneous (Confidential information)

-

Sisältö

1	Johdanto	6
1.1	Toimeksiantaja Jyväskylän ammattikorkeakoulu.....	7
2	Tutkimusasetelma	7
2.1	Tutkimusote	8
2.2	Aineisto.....	8
2.3	Kohde	10
2.4	Kehittämistutkimus	10
3	Teoria	13
3.1	Tuotekehitys ja sen työvaiheet	13
3.2	Painelaitteet	14
3.2.1	Painelaitteiden säädökset.....	14
3.2.2	Painelaitteiden suunnittelu	15
3.2.3	Painelaitteiden SFS-EN-Standardit	19
3.2.4	Painelaitteiden laskenta	21
3.3	Painelaitteiden mitoitus	24
3.3.1	Lieriöt	24
3.3.2	Päädyt	24
3.4	Painelaitteiden materiaalien jäljitettävyys	26
3.5	Painelaitesuunnittelun yleisiä ongelmia Kiwa Inspectan mukaan.....	26
4	Tutkimustulokset	27
4.1	Painelaitesuunnittelun opintojakson havainnointi	27
4.1.1	Havainnointijakso 1, laskutehtävien läpikäynti	28
4.1.2	Laskutehtävien läpikäynnin tulokset	29
4.1.3	Havainnointijakso 2, oppimateriaalien vertaaminen standardeihin	30
4.1.4	Vertailun tulokset	31
4.2	Haastattelut.....	31
4.2.1	Haastattelujen tulokset	36
4.3	Esimerkkitehtävä 1	36
4.4	Esimerkkitehtävä 2	38
5	Johtopäätökset	42
6	Pohdinta	43
6.1	Luotettavuustarkastelu	45

Lähteet	47
Liitteet	49
Liite 1. Piirustus ja lähtötiedot esimerkkitehtävään 2	49
Liite 2. Visual Vessel Designin lieriön paksuuden ratkaisu esimerkkitehtävään 2.....	50

Kuviot

Kuvio 1. Yksi yhdeksästä luokan määrittämisen arviointitaulukosta (Painelaitteiden suunnittelu, valmistus ja vaatimustenmukaisuuden arviointi n.d.)	17
Kuvio 2. Esimerkki standardin tunnuksesta (Mitä standardi tarkoittaa? n.d.)	20
Kuvio 3. Havainnollistava kuva esimerkkitehtävään 1.....	37
Kuvio 4. Piirustus esimerkkitehtävään 2	39
Kuvio 5. Lähtöarvot esimerkkitehtävään 2	39
Kuvio 6. Materiaalilista ja osaluettelo esimerkkitehtävään 2.....	41

Taulukot

Taulukko 1. Painelaitteiden luokittelu taulukko (Painelaitteiden suunnittelu, valmistus ja vaatimustenmukaisuuden arviointi n.d.)	16
Taulukko 2. CLP asetuksen aineluettelo (Painelaitteiden suunnittelu, valmistus ja vaatimustenmukaisuuden arviointi n.d.)	16
Taulukko 3. Painelaiteluokat ja moduulit (Painelaitteiden suunnittelu, valmistus ja vaatimustenmukaisuuden arviointi n.d.)	18
Taulukko 4. Testausryhmän 4 vaatimuksia (SFS-EN 13445-5:2021, 16, muokattu)	23

1 Johdanto

Jyväskylän ammattikorkeakoulun opintojakso Painelaitesuunnittelu ja lainsäädäntö sisältää lukuisia aiheita kuten, painelaitteiden mitoitus, venymistä, jännitysten laskemista, standardien ymmärtämistä sekä yhtenä isona osana on painelaitteiden lainsäädäntö. Opintojaksolla on suuri merkitys painelaitteiden suunnittelun osaamisen suhteen, mutta kuten usein korkeakoulujen opintojaksot, niiden materiaalit ovat laajat ja hankalat. Lainsäädäntö ja standardit muuttuvat jatkuvasti ja opintojaksolle voi helposti jäädä vanhentunutta tietoa. On tärkeää, että opintojakson materiaalit ovat ajan tasalla ja selkeitä oppilaiden ja myös opettajien ymmärtämisen avuksi. On myös ehdottoman tärkeää, että opintojakson tehtävät ovat oikeaan työelämään perustuvia, joilla valmistetaan opiskelija tuleviin työelämän haasteisiin.

Opinnäytetyön tavoitteena oli saada selville mitä painelaitesuunnittelun opintojaksoon täytyisi lisätä ja mitkä asiat vaativat päivitystä. Opiskelijat ja opettavat hyötyvät päivityksestä nykyaikaisesta opintojaksosta ja sitä kautta yritykset saavat valmiimpaa henkilöstöä palkattua. Työn tehtävinä olivat vanhentuneiden asioiden etsiminen opintojakson materiaalista, materiaalien selkeyden pohtiminen sekä haastattelut alan ammattilaisilta ja heidän kauttansa saatavat työelämään perustuvat tehtävät ja muut mahdolliset lisäykset opintojakson materiaaliin.

Työn toteutus tapahtui tutustumalla ja opiskelemalla painelaitesuunnittelun ja lainsäädännön opintojakso, seulomalla opintojakson materiaalit puutteista vertaamalla uusimpiin painelaitteisiin liittyviin standardeihin, tehtävien ja luentomateriaalien selkeyden tutkimista ja pohtimista opiskelijan näkökulmasta. Tärkeänä osana työhön kuului painelaitteiden suunnittelun ammattilaisten näkökulmien mukaan tuonti haastattelujen avulla. Haastatteluilla saatiin selvitettyä mitä opintojakson materiaaliin täytyi lisätä ja opintojaksolle saatiin kehitettyä uusia työelämän mukaisia tehtäviä.

Opintojakson suurin osuus painelaitteiden lainsäädäntö rajattiin työstä pois sen laajuuden vuoksi sekä pienempi putkisto-osuus. Lainsäädäntö on kuitenkin vahvasti mukana suunnittelussa, joten painelaitedirektiivistä mainitaan työssä lukuisia kertoja, mutta opintojakson lainsäädäntö osuutta ei kommentoida lainkaan. Työ keskittyy suurilta osin painelaitteiden suunnitteluun. Valmistuksesta ei mainita paljoa, mutta se on silti huomioitu tärkeänä osana myös suunnittelua.

1.1 Toimeksiantaja Jyväskylän ammattikorkeakoulu

Jamk eli Jyväskylän ammattikorkeakoulu on kansainvälisesti tunnustettu monialainen ja monikulttuurinen korkeakoulu, jonka kolme kampusta sijaitsevat Jyväskylässä sekä biotalousinstituutti Tarvaalassa Saarijärvellä. Jamkissa on 9500 opiskelijaa yli 70 maasta ja 1500 opiskelijaa valmistuu vuosittain. Mahdollisuutena on opiskella 7 eri alalta insinööriksi, agrologiksi, restonomiksi, musiikkipedagogiksi, sosiaali- ja terveysalan osaajaksi sekä tradenomiksi. Tutkintovaihtoehtoja on yli 40. (Jamk n.d.)

Jyväskylän ammattikorkeakoulu perustettiin 1994 ja sen omistaa Jyväskylän Ammattikorkeakoulu Oy. Yhtiön omistavat Jyväskylän kaupunki, Äänekosken ammatillisen koulutuksen kuntayhtymä POKE ja Jämsän kaupunki. 90 % omistuksesta on Jyväskylän kaupungilla. Rehtorina on Vesa Saarikoski. (Jamkin hallinto n.d.)

Jamkin visiona on olla uuden sukupolven korkeakoulu, joka uudistaa ja kehittää oppimista ja kilpailukykyä. Missiona on osaaminen kilpailukyvyksi. Arvoina vastuullisuus, luottamus ja luovuus. Tehtävänään tuoda opetusta, joka perustuu työelämän vaatimukseen ja vahvistamiseen sekä työelämää tukevaa tutkimus- ja kehitystyötä. Jamk listaa vahvuuksikseen biotalouden, kyberturvallisuuden, monialaisen kuntoutuksen, automaation ja robotiikan, matkailun sekä uudistuvan oppimisen. (Jamk n.d.)

2 Tutkimusasetelma

Tutkimusongelmana on, että painelaitesuunnittelun opintojakso ei pysy ajan tasalla ilman päivitystä säädösten ja standardien muuttuessa. On myös tarvittavaa varmistaa, että opintojakson tehtävät ovat mahdollisimman hyvin työelämään valmistavia opiskelijoiden, mutta myös opettajien vuoksi. Ongelmien kautta tuodut tutkimuskysymykset ovat:

1. Mitä painelaitesuunnittelun opintojaksosta päivitetään?
2. Mitä opintojaksolle voisi lisätä ja kehittää, jotta se valmistaisi mahdollisimman hyvin työelämään?

Tavoitteeksi muodostuu opintojakson materiaalien ajan tasaisuuden varmistaminen ja uusien työelämää mukailevien tehtävien kehittäminen. Tavoitteena on myös pohtia painelaitesuunnittelua

kestävän kehityksen kannalta, etsiä kokonaiskuva painelaitteiden suunnittelusta ja myös muista siihen läheisesti liittyvistä asioista, kuten tarkastuksista.

Painelaitesuunnittelun opintojakson lainsäädäntö ja putkisto-osuudet ovat rajattu työstä pois. Painelaitteet ovat valtava kokonaisuus, joten valmistus on suurimmalta osin rajattu pois. Valmistuksella on kuitenkin suuri merkitys myös suunnitteluun, joten siitä on valikoidusti mainittu. Pääosin työ rajoittuu vain EN-standardeilla käytävään painelaitteiden suunnitteluun. Laskentaa tarkastellaan vain hyvin tiivistetysti ja yksinkertaisesti lieriöllä ja päädyillä, koska suunnittelustandardin koko läpikäynti olisi valtava tehtävä ja rungot ja päädyt ovat oleellinen osa painelaitteita. Muista suunnittelukoodeista mainitaan vain niiden olemassaolosta, jotta huomioidaan, että suunnittelijalla on mahdollisuus myös niiden avulla tehdä laskentaa. Muut suunnittelukoodit ovat myös isoja kokonaisuuksia, joiden läpikäymiseen eivät resurssit riitä.

2.1 Tutkimusote

Tutkimusotteeksi valikoitui toimintatutkimus, koska aineisto kerätään käyttämällä laadullisen ja määrällisen tutkimuksen menetelmiä eli havainnoiteja ja haastatteluita, jotka koostuvat teksteistä ja numeroista. Tutkija on myös opiskelijana mukana muutoksissa. Työn tekijä ei muokkaa opintojakson aineistoa vaan ottaa huomioita ylös, joiden kautta muutoksia voidaan tehdä. Tutkimusote sopii oppimateriaalin kehittämiseen, sillä otteella pyritään saavuttamaan kokonaiskuva ilmiöstä eli tässä tapauksessa painelaitesuunnittelusta, jolla kyetään selvittämään mitä opintojaksosta täytyy kehittää ja päivittää.

2.2 Aineisto

Primääriaineistona ovat haastattelut ja havainnointijaksoista saatavat huomiot. Haastattelut tehdään painelaitesuunnittelun ammattilaisille, jotka kokemuksellaan kertovat aiheen tärkeimmät asiat, joiden perusteella pyritään luomaan opintojaksolle uusia tehtäviä. Haastattelusta pyritään myös saamaan haastateltavilta henkilöiltä tai yritykseltä suoraan oikean maailman esimerkkitehtäviä. Haastattelut ovat puolistrukturoitua eli kaikilta haastateltavilta kysytään samat kysymykset, mutta aiheen tullessa enemmän haastattelijalle tutuksi, kysymyksiä lisätään ja eri asioita voidaan painottaa. Opintojakson materiaalille tehdään kaksi havainnointijaksoa. Ensimmäinen on laskutehtävien läpikäynti ja toinen on opintojakson materiaalien vertailu uusimpiin painelaitteisiin liittyviin

standardeihin. Havainnointijaksoilla kirjataan havainnointipäiväkirjaan ylös kaikki epäkohdat, jotka tulevat vastaan materiaalien ja tehtävien tutkimisessa. Laskutehtävissä huomioidaan, miten laskujen ratkaiseminen onnistuu annetuilla materiaaleilla yhden opiskelijan näkökulmasta ja standardiin vertailussa pyritään löytämään asiat, jotka eivät enää pidä paikkaansa opintojakson materiaaleista. Havainnointikeinona käytetään yleisluontoista havainnointia. Jotta havainnointi täyttää tieteelliselle tutkimukselle asetetut vaatimukset, ei muistiinpanoja kirjoiteta muistin varaisesti jälkeensä, vaan heti asioiden tullessa ilmi.

Nämä keinot valittiin aineiston keräämiseen, koska näillä saadaan rakennettua kokonaiskuvaa painelaitteiden suunnittelun maailmasta sekä opintojakson materiaalit tulevat hyvin tutuksi. Materiaalien läpikäynnin aikana tulee myös ala tutuksi, joka auttaa ymmärtämään ja kehittämään haastatteluja. Keinot tukevat toisiaan ilmiön kokonaiskuvan saamiseksi ja ongelmien ratkaisemiseksi.

Aineiston analysointi tapahtuu perehtymällä siihen lukemalla, vertaamalla, sen tiivistämisellä ja tulkitsemisellä. Haastattelut pyritään äänittämään, jonka jälkeen saadut vastaukset tiivistetään ja tulkitaan. Lopulta ne yhdistetään haastattelukysymysten saaduiksi vastauksiksi raporttiin. Havainnointijaksoilta saadut huomiot tiivistetään ja kirjataan raporttiin asioina, joita opintojakson haltija voi pohtia muutettavaksi.

Reliabiliteetin kautta luotettavuutta voi heikentää haastattelujen pieni määrä, tulosten tulkinta, sekä havainnoinnin tapahtuminen vain yhden henkilön toiminnasta. Jotkin tulokset voivat olla yhdelle henkilölle tapahtuneita sattumia. Validiteetin kautta laatua heikentää haastattelukysymysten laatu. Ei ole varmuutta ovatko kysymykset tarvittavan hyviä, pitäisikö niitä olla enemmän ja mitä tarkalleen täytyisi kysyä. Luotettavuutta pyritään varmistamaan saamalla haastattelujen kautta suoraan oikeita esimerkkitehtäviä työelämästä sekä saada ammattilaisten näkökulmasta tietoa tärkeistä asioista, joita opintojaksolla täytyisi opiskella ja kiinnittää enemmän huomiota. Jotta varmistetaan epäkohtien huomaaminen opintojakson materiaalissa, käydään materiaalit läpi kahteen kertaan havainnointijaksojen myötä. Molemmissa jaksoissa pyritään etsimään asioita mitä pitäisi muuttaa.

2.3 Kohde

Painelaitesuunnittelu ja -lainsäädäntö on Jyväskylän ammattikorkeakoulun 5 opintopisteen opintopakso, joka on jaoteltu seitsemään aihealueeseen:

1. Paine, siirtymä, venymä ja ID jännitys
2. Painelaitelainsäädäntö
3. 2D jännitystila, lieriön ja pallon jännitykset
4. Painelaitestandardit, materiaalit ja nimellisjännitykset
5. Lieriön, pallon ja päätyjen mitoitus
6. Kuorien aukot ja niiden mitoitus
7. Putkistot

Lainsäädäntöä lukuun ottamatta jokaiseen aihealueeseen liittyvät omat diat, apuvideot, esimerkkilaskutehtävät sekä opiskelijan ratkaistavat laskutehtävät, joita on alueesta riippuen 2-5. Tehtävät vaihtelevat yksinkertaisista hyvinkin vaativiin ja pitkiin tehtäviin. Aihealueista pidetään myös yhdet laskutunnit. 1. aihealue on enemmän lujuusopin perusasioiden kertausta. Aihealueet 2 ja 7 on rajattu opinnäytetyöstä pois. Opintopaksoilla pidetään kaksi tenttiä, yksi painelaitelainsäädännöstä ja toinen painelaitteiden laskennasta. Laskentatentissä on 2 laskua ja osuus arviointiin on 65%, lainsäädännön osuus on 35%. Opintopaksoilla on ollut opiskelijoita keskimäärin 20 ja se kuuluu Energia- ja ympäristötekniikan suuntaaviin ammattiaineisiin.

2.4 Kehittämistutkimus

Kehittämistutkimus on monimenetelmäinen tutkimusote, jolla pyritään muutoksiin ja toimiviin käytännön ratkaisuihin. Sitä käytetään yritysten ja organisaatioiden kehittämiseen, ja sillä tavoitellaan aina kehitystä parempaan. Sen avulla parannetaan niiden tuotteita, palveluita ja niihin liittyviä prosesseja. Se voi olla syklistä kehittämistä, joka koostuu ongelman kuvaamisesta, toimenpide-ehdotuksista, toteutuksesta ja tuloksista. Kehittämistutkimus on monipuolinen ja sitä ei pidetä omana tutkimusmenetelmänä vaan se voi koostua kvalitatiivisista (laadullinen) tai kvantitatiivisista (määrällinen) tutkimusmenetelmistä. Menetelmät vaihtelevat tutkimuskohteen mukaan.

Laadullinen tutkimus on menetelmä, jossa ilmiötä pyritään ymmärtämään keräämällä aineistoa haastatteluilla sekä havainnoinnilla. Tutkija kerää aineistoa keskustelemalla ilmiöstä sen kokenei-

den kanssa, jolla pyritään saamaan kokonaiskuva ilmiöstä. Tutkija käyttää syklistä kehittämistä rakentaessaan kuvaa ilmiöstä. Aineisto ohjaa tutkijaa ja kertoo mitä tarkentavia kysymyksiä kannattaa lisätä. Aineistot ja tulokset ovat sanallista tekstiä eivätkä sisällä tilastoja kuten lukuja. Lopullisena tavoitteena on ilmiön syvälinen ymmärtäminen.

Muita yhdistelmä tutkimuksia kehittämistutkimuksen lisäksi ovat tapaustutkimus ja toimintatutkimus. Näissä käytetään määrällisen ja laadullisen tutkimuksen menetelmiä. Tapaustutkimus tai toiselta nimeltään case-tutkimus tarkoittaa otetta, jossa monilla menetelmillä pyritään saamaan kokonaisvaltainen kuva kohdeilmiöstä. Toimintatutkimus on hyvin samanlainen kuin kehittämistutkimus, suurimpana erona on se, että tutkija on itse mukana muutosprosessissa.

Määrällinen tutkimus on menetelmä, joka koostuu luvuista. Aineistoa yleisimmin kerätään kyselylomakkeella, jota analysoimalla saadaan aineistona lukuja ja jakaumia. Lomake koostuu kysymyksistä, jotka saadaan ilmiön teorioista ja malleista. Menetelmällä saadaan kuva ilmiöstä tiivistetyksi eikä sitä voi tehdä, jos ilmiö on vielä tuntematon.

Laadullisen tutkimuksen aineistonkeruumenetelmiin kuuluvat dokumentit (sekundääriaineisto), sekä havainnointi, haastattelut ja kyselyt (primääriaineisto). Primääriaineistoon kuuluvat menetelmiä hyödyntämällä luodut aineistot, jotka kohdistuvat ilmiöön, kun taas sekundääri aineisto on ilmiöön liittyvät valmiiksi saatavat dokumentit.

Sekundääriaineistoon kuuluvat dokumentit pitävät sisällään esim. äänitteitä, kuvia, kirjoja, raportteja ja tallenteita. Ne voivat koostua verkosta saatavista dokumenteista tai fyysisistä dokumenteista. Olemassa olevilla aineistoilla voi saada kuvaa ilmiöstä jo etukäteen.

Havainnoinnin tarkoitus on ymmärtää ilmiötä havainnoimalla, seuraamalla ja ymmärtämällä kohdetta. Se pitää sisällään osallistuvaa-, suoraa-, teknistä- tai piilohavainnointia. Menetelmästä pidetään havainnointipäiväkirjaa, johon kirjataan kaikki mahdollinen ylös. Päiväkirjaa ei saa täyttää muistelemalla vaan se täytetään päätetyn havainnointijakson aikana. Muistelemalla tehty päiväkirja ei ole tieteellistä.

Taulukko 1. Havainnointipäiväkirjan yksinkertainen malli, voi muokata omaan tutkimukseen sopivaksi (Kananen 2015).

HAVAINNOINTIPÄIVÄKIRJA

Havainnointikohde:				Havainnointijakso:		Havainnoija:		
Aika	Paikka, tila	Tilanne	Toimijat/ paikalla	Toiminta	Kuvaus tapahtumasta

Haastatteluilla tavoitteena on etsiä ongelmia ja niiden syitä. Ne voivat olla strukturoitua, puolistrukturoitua, teema- ja sähköpostihaastattelua. Strukturoimaton tarkoittaa sisällöltään joustavaa haastattelua ja strukturoitu tarkoittaa sitä, että sen sisältö on tarkasti mietitty eikä sitä muuteta. Puolistrukturoitu on näiden kahden välimuoto. Haastateltavina ovat he, joilla on tietämystä ilmiöstä tai ongelmista ja joita mahdolliset ratkaisut koskettavat. Ongelmat haastatteluissa ovat se, että kohteiden näkemykset vaihtelevat, joka tarkoittaa, että oikeaa tai väärää vastausta ei välttämättä ole. Ne voivat viedä myös paljon aikaa ja rahaa, sekä haastatteluajkojen löytäminen voi olla hankalaa. Etuna on ilmiön hyvä ymmärtäminen siihen liittyvien henkilöiden kautta.

Analysointi laadullisessa tutkimuksessa tapahtuu aineistojen muuttamisella yhdenmukaisiksi. Tallenteet ja videot muutetaan litteroimalla tekstiksi. Videot ja kuvat tulkitaan käymällä ne läpi lukuisia kertoja. Kun aineisto on koottu yhdenmukaiseksi, se luetaan moneen kertaan läpi, luokitellaan, tiivistetään ja lopuksi tulkitaan.

Luotettavuuden ja laadun tarkistaminen kehittämistutkimuksessa tapahtuu reliabiliteetilla ja validiteetilla. Reliabiliteetilla tarkoitetaan, että tulokset eivät ole sattumaa vaan pitäviä. Validiteetilla tarkoitetaan oikeiden asioiden tutkimista. (Kananen 2015)

3 Teoria

Teoriaosuus käsittelee tuotekehitystä ja painelaitteita. Osuuksissa syvennyttään jatkuvasti pidemmälle painelaitteiden maailmaan. Tuotekehityksen vaiheista siirrytään painelaitteisiin, sen säädöksiin, suunnittelun vaiheisiin, standardeihin ja laskennasta mitoituskeeseen. Mainintaa on myös painelaitteiden muodoista, materiaaleista ja todistuksista. Laskenta ja mitoitus osuuksissa keskitytään vain EN-standardeihin ja osuudessa esiintyvät laskentakaavat ovat valittu esimerkeiksi, eikä niillä voida kokonaista laskentaa suorittaa.

Painelaitteiden suunnittelussa esiintyvistä ongelmista löydettiin tietoa tarkastuslaitos Kiwa Inspectan dokumentista, josta on kerrottu kohdassa 3.5. Painelaitteiden suunnittelun oikeanlaisesta opettamisesta tai standardien muutoksista ei löytynyt artikkeleita tai dokumentteja.

3.1 Tuotekehitys ja sen työvaiheet

Tuotekehitystoiminnalla tarkoitetaan uuden tai vanhan tuotteen kehittämistä. Se sisältää monia vaiheita ja jatkuva tuotekehitys on tärkeää yrityksille, sillä kun tuotteet vanhentuvat, myynti laskee ja lopulta lakkaa. Tuotekehityksessä pyritään saamaan tavoitteet aikaiseksi mahdollisimman taloudellisesti ja teknisesti. Siihen tarvitaan tietoa ihmiselämästä ja luonnosta, sekä luovuutta. Koostuu yleisesti neljästä vaiheesta; käynnistäminen, luonnostelu, kehittäminen ja viimeistely.

Käynnistämisen vaihe alkaa selvittämällä vaadittavia tietoja projektiin, kuten tuoteidea, kustannukset, markkinat, kehitysnäkymät, tuotot, sekä terveyteen ja ympäristöön liittyvät asiat. Näiden asioiden pohjalta tehdään lopullinen kehityspäätös tuotteen luomisesta.

Kehityspäätöksen jälkeen alkaa luonnosteluvaihe, joka aloitetaan tehtävän analysoimisella, sillä tässä vaiheessa itse kehitystyöhön osallistuvat ovat mahdollisesti eri henkilöitä, kuin he, jotka tekivät kehityspäätöksen. Tässä kohdin asetetaan tuotteelle vaatimukset ja tavoitteet, joka johtaa vaatimuslistaan. Seuraavaksi aloitetaan yleistys, jossa selvitetään projektin ongelmat ja toiminto. Seuraavaksi hyödynnetään ideointimenetelmiä, kuten esim. aivoriihiä, tuplatiimiä ja muuntelumenetelmää. Parhaat ratkaisuideat löydetään niitä arvioimalla ja vertaamalla vaatimuslistaan. Vaiheen lopuksi saadaan tulokseksi ratkaisuluonnos, joita voi olla myös monia. Ne arvostellaan, jotta löydetään paras vaihtoehto.

Kehittämävaiheessa luodaan kokoonpanoluonnos oikeissa mitoissaan. Tässä vaiheessa pyritään hyödyntämään optimointia eli etsitään tuotteen ominaisuuksiin parhaimmat ratkaisut käyttämällä esim. arvoanalyysia tai matemaattisia optimointimenetelmiä. Jos vaatimukset eivät täyty tarpeeksi hyvin, täytyy prosessi aloittaa alusta.

Viimeinen tuotekehitysprosessin vaihe on viimeistely, jossa luodaan tuotteen piirustukset, osaluettelot ja ohjeet. Tuotteen yksityiskohdat ja muoto saadaan valmiiksi. Sen jälkeen voidaan tehdä prototyyppi ja testata valmistusmenetelmiä, joilla saadaan tietoa tuotteen ominaisuuksista. Viimeistelyn tultua päätökseen, tehdään lopullinen päätös tuotteen tuotannon aloittamisesta. (Jokinen 2001, 9, 14-17, 40-44.)

3.2 Painelaitteet

Painelaite on suljettu tila/laitte, johon on mahdollista syntyä ylipainetta (Kivioja 2009, 143). Painelaitteita ovat höyrykattilat, painesäiliöt, putkistot ja kuljetettavat kaasusäiliöt. Painelaitteisiin lasketaan mukaan myös varo- ja lisälaitteet, kuten esim. venttiilit, painemittarit sekä rajoitin- ja valvontalaitteet. Monista painelaitteista koottua kokonaisuutta kutsutaan laitekokonaisuudeksi. (Kivioja 2009, 143 & Painelaitteiden suunnittelu, valmistus ja vaatimustenmukaisuuden arviointi n.d.)

Paineastioiden sisältönä olevat kaasut ja nesteet voivat olla vaarallisia, joten riskien takia painelaitteiden suunnittelua, valmistuksen vaiheita, käyttöä ja tarkastuksia valvovat viranomaiset. Suomessa viranomaistehtävät hoitaa TUKES (Turvallisuus- ja kemikaalivirasto), joka myös valvoo painelaitteita, jotka ovat markkinoilla. Painelaitteiden tarkastukset hoitavat tarkastuslaitokset. (Kivioja 2009, 144.) Tukesin hyväksymät painelaitteiden tarkastuslaitokset ovat DEKRA Industrial Oy, Finspection Oy, Inspecta, Insteam Oy, Suomen Höyrypursiseura r.y, Teollisuuden Voima Oyj ja Testlink Oy (Tukesin hyväksymät tarkastuslaitokset n.d.).

3.2.1 Painelaitteiden säädökset

Painelaitteille kuuluvat säädökset ovat painelaitelaki, asetukset sekä kauppa- ja teollisuusministeriön päätökset. Säädökset koskevat painelaitteita tai kokonaisuuksia, joilla suurin sallittu käyttö-

paine ylittää 0,5 bar. Merkittävää vaaraa aiheuttavat painelaitteet täytyy rekisteröidä ja rekisteröinnin myötä laitteet täytyy tarkastaa tietyin väliajoin. Tarkastuksiin kuuluvat esim. käyttötarkastus, painekoe, ensimmäinen määräaikaistarkastus sekä sijoitussuunnitelman tarkastus. (Kivioja 2009, 143.)

Direktiivi on Euroopan Unionin jäsenmaita koskettava velvoittava tavoite. Direktiivissä on tavoitteita, rajoituksia ja kieltoja, joita maat soveltavat lainsäädäntöönsä. (EU säädöstyypit n.d.) Painelaitteiden direktiivi on PED 2014/68/EU. Se sisältää painelaitteiden määritelmistä, markkinoille asettamisesta ja käyttöönotosta, teknisistä vaatimuksista, turvallisuusvaatimuksista, eri tahojen velvollisuuksista, vaatimustenmukaisuudesta ja luokittelusta.

Painelaitelaki 1144/2016 sisältää säännökset painelaitteiden suunnittelusta, valmistuksesta ja käytöstä lakitasolla. Se perustuu painelaitedirektiiviin. (Painelaitteiden suunnittelu, valmistus ja vaatimustenmukaisuuden arviointi n.d.)

Valtioneuvoston asetus on säädös, jolla täsmennetään lakia (Valtioneuvosto n.d.). Asetuksia painelaitteisiin liittyen on lukuisia. Esimerkkinä Valtioneuvoston asetus painelaitteista (1548/2016) sisältää painelaitedirektiivistä saadut tekniset vaatimukset suunnitteluun, valmistukseen sekä vaatimustenmukaisuuden arviointiin. (Painelaitteiden suunnittelu, valmistus ja vaatimustenmukaisuuden arviointi n.d.)

3.2.2 Painelaitteiden suunnittelu

Painelaitteen tai painelaittekokonaisuuden suunnittelun vaiheet:

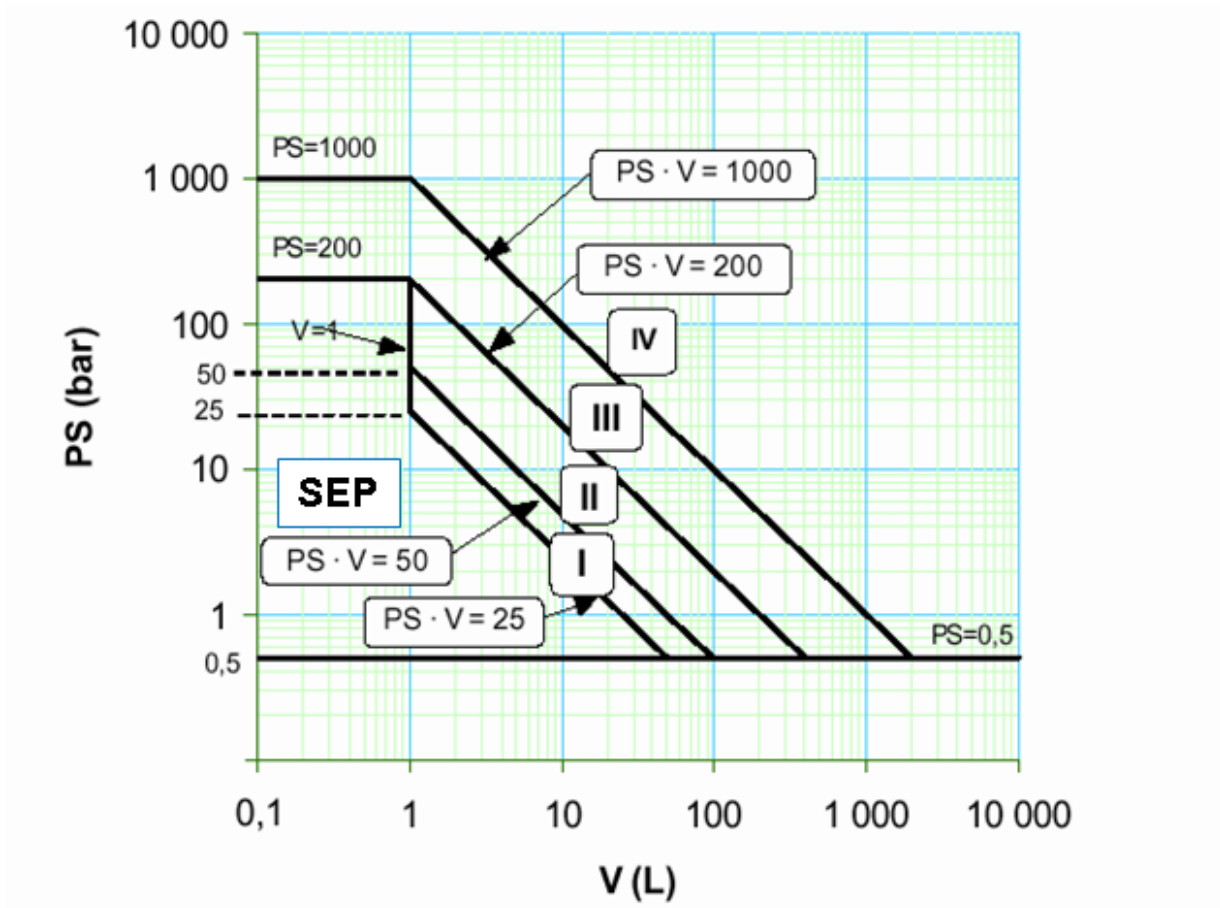
1. Suunnitteluun tarvittavien säädösten, direktiivien ja asetusten tunnistaminen. Direktiivejä on Painelaitte-, Kone-, Pienjännite-, Sähkömagneettisten yhteensopivuuden sekä Räjähdyksivaarallisten tilojen laitteita ja suojajärjestelmiä koskeva direktiivi. (Painelaitteiden suunnittelu, valmistus ja vaatimustenmukaisuuden arviointi n.d.)
2. Painelaitteen luokittelu painelaitteen tyyppin, sisällön ja vaarallisuuden mukaan. (Taulukot 2 ja 3) Sisällön ryhmä 1 tarkoittaa vaarallisia aineita ja ryhmä 2 tarkoittaa kaikkia muita aineita. Valitaan yksi yhdeksästä taulukosta, josta määritellään luokka I-IV. (Kuvio 1) Luokan I alapuolella on SEP eli hyvän konepajan käytäntö. (Painelaitteiden suunnittelu, valmistus ja vaatimustenmukaisuuden arviointi n.d.)

Taulukko 1. Painelaitteiden luokittelu taulukko (Painelaitteiden suunnittelu, valmistus ja vaatimustenmukaisuuden arviointi n.d.).

PAINELAITTEIDEN LUOKITTELU									
Painelaitedirektiivi (2014/68/EU), liitteen II taulukot 1– 9									
1. Painelaitteen tyyppi	Säiliöt				Höyryn tai ylikuumennetun veden tuotannon painelaitteet	Putkistot			
2. Sisältö	Kaasu		Neste		–	Kaasu		Neste	
3. Sisällön ryhmä	1	2	1	2	–	1	2	1	2
4. Taulukko (PED liite II)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
5. Luokitusuureet	PS, V				PS, V	PS, DN			
6. Luokka	SEP tai luokka I - IV				SEP tai luokka I - IV	SEP tai luokka I - III			

Taulukko 2. CLP asetuksen aineluettelo (Painelaitteiden suunnittelu, valmistus ja vaatimustenmukaisuuden arviointi n.d.).

CLP-vaaraluokat ja kategoriat (PED, artikla 13)	CLP-asetuksen vaaralausekkeet (H-lausekkeet)
1) Epästabiilit räjähteet tai vaarallisuusluokkiin 1.1, 1.2, 1.3, 1.4 ja 1.5 kuuluvat räjähteet	H200, H201, H202, H203, H204, H205
2) Syttyvät kaasut, kategoria 1 ja 2 (huom. tämä sisältää myös kemiallisesti epästabiilit kaasut)	H220, H221, H230, H231
3) Hapettavat kaasut, kategoria 1	H270
4) Syttyvät nesteet, kategoria 1 ja 2	H224, H225
5) Syttyvät nesteet, kategoria 3, jos suurin sallittu lämpötila on korkeampi kuin leimahduspiste	H226
6) Syttyvät kiinteät aineet, kategoria 1 ja 2	H228
7) Itsereaktiivinen aine tai seos, tyypit A–F	H240, H241, H242
8) Pyroforiset nesteet, kategoria 1	H250
9) Pyroforiset kiinteät aineet, kategoria 1	H250
10) Aineet ja seokset, jotka veden kanssa kosketuksiin joutuessaan kehittävät syttyviä kaasuja, kategoria 1, 2 ja 3	H260, H261
11) Hapettavat nesteet, kategoria 1, 2 ja 3	H271, H272
12) Hapettavat kiinteät aineet, kategoria 1, 2 ja 3	H271, H272
13) Orgaaniset peroksidit, tyypit A–F	H240, H241, H242
14) Välitön myrkyllisyys suun kautta: kategoria 1 ja 2	H300
15) Välitön myrkyllisyys ihon kautta: kategoria 1 ja 2	H310
16) Välitön myrkyllisyys hengitysteiden kautta: kategoria 1, 2 ja 3	H330, H331
17) Elinkohtainen myrkyllisyys – kerta-altistuminen, kategoria 1	H370



Kuvio 1. Yksi yhdeksästä luokan määrittämisen arviointitaulukosta (Painelaitteiden suunnittelu, valmistus ja vaatimustenmukaisuuden arviointi n.d.).

3. Painelaiteluokan mukaan valitaan moduuli tai moduuliyhdistelmä, jolla tarkoitetaan vaatimustenmukaisuuden arviointimenettelyä. (Kts. taulukko 3) Moduuleissa vaihtelevat ilmoitetun laitoksen tehtävät. Mitä suurempi luokka, sen enemmän tehtäviä ja arviointeja sillä on. Ilmoitetulla laitoksella tarkoitetaan tahoja, jotka arvioi, valvoo ja hyväksyy painelaitteiden vaatimustenmukaisuutta. Vaatimustenmukaisuus kertoo, onko painelaite direktiivin olennaisten turvallisuusvaatimusten mukainen. (Painelaitteiden suunnittelu, valmistus ja vaatimustenmukaisuuden arviointi n.d.)

Taulukko 3. Painelaiteluokat ja moduulit (Painelaitteiden suunnittelu, valmistus ja vaatimustenmukaisuuden arviointi n.d.).

Luokka I:	Moduuli A	Sisäinen tuotannonvalvonta
Luokka II:	Moduuli A2	Sisäinen tuotannonvalvonta ja valvotut painelaitetarkastukset satunnaisin väliajoin
	Moduuli D1	Tuotantoprosessin laadunvarmistus
	Moduuli E1	Painelaitteiden lopputarkastuksen ja testauksen laadunvarmistus
Luokka III:	Moduulit B + D	EU-tyyppitarkastus – suunnittelutyyppi + Tuotantoprosessin laadunvarmistukseen perustuva tyypinmukaisuus
	Moduulit B + F	EU-tyyppitarkastus – suunnittelutyyppi + Painelaitteen tarkastukseen perustuva tyypinmukaisuus
	Moduulit B + E	EU-tyyppitarkastus – tuotantotyyppi + Painelaitteen laadunvarmistukseen perustuva tyypinmukaisuus
	Moduulit B + C2	EU-tyyppitarkastus – tuotantotyyppi + Sisäiseen tuotannonvalvontaan perustuva tyypinmukaisuus ja satunnaisin väliajoin suoritettavat valvotut painelaitetarkastukset
	Moduuli H	Täydelliseen laadunvarmistukseen perustuva vaatimustenmukaisuus
Luokka IV:	Moduulit B + D	EU-tyyppitarkastus – tuotantotyyppi + Tuotantoprosessin laadunvarmistukseen perustuva tyypinmukaisuus
	Moduulit B + F	EU-tyyppitarkastus – tuotantotyyppi + Painelaitteen tarkastukseen perustuva tyypinmukaisuus
	Moduuli G	Yksikkökohtaiseen tarkastukseen perustuva vaatimustenmukaisuus
	Moduuli H1	Täydelliseen laadunvarmistukseen ja suunnittelun tarkastukseen perustuva vaatimustenmukaisuus

4. Painelaitteen turvallisuusvaatimuksien määrittäminen sekä riskien arviointi. Suunnittelun yhdenmukaisten EN-standardien käytön mahdollisuuden selvittäminen. (Painelaitteiden suunnittelu, valmistus ja vaatimustenmukaisuuden arviointi n.d.)
5. Teknisten asiakirjojen laatiminen ja toimittaminen laitokseen, jos on siihen edellytys. Tarvittavat testit ja pätevönnit ennen valmistamista. (Painelaitteiden suunnittelu, valmistus ja vaatimustenmukaisuuden arviointi n.d.)

Painelaitteiden rakenteet ovat yleisesti yksinkertaisia ja saattavat sisältää monia eri osia kuten esim. sekoittimia, lämmitys- ja jäähdytysosia, arinoita ja sihtejä. Rakenteita ovat lämmönsiirtimet, reaktorit, varastosäiliöt sekä palavien nesteiden ja kaasujen putkistot ja säiliöt. Tavallisesti lämmönsiirtimien rakenne koostuu vaipasta ja putkista. Vaipan ja putkien lämpölaajenemiset voivat aiheuttaa suuria jännityksiä toisiinsa, joka voidaan ratkaista tasaimella, U-putki- tai uivapäätteisellä rakenteella. Reaktorien rakenne on tehty kestäväksi korkeita paineita ja lämpötiloja paksulla seinämävahvuudella ja kemiallisen vahvuuden tarpeessa sisälle tehdään korroosion kestävä seinämäkerros. Varastosäiliöiden rakenne on yleensä suuri tilavuuksinen lieriö tai pallo, jossa on varastoitu nestettä paineettomassa tilassa. Huomioitavaa on sisällön luoma hydrostaattinen paine sekä luonnon aiheuttamat kuormat, kuten tuuli ja lumi. Putkistojen ja säiliöiden rakenteet, jotka ovat palaville nesteille ja kaasuille ovat paljolti standardisoitu käytännön yhtenäistämisen ja turvallisuuden vuoksi. (Kivioja 2009, 146–147.)

Painelaitteiden materiaalin valintaan vaikuttavat paine, lämpötila sekä materiaalin kanssa tekemisissä oleva aine (Kivioja 2009, 148). Osat, jotka ovat paineenalaisia täytyvät olla tarvittavan sitkeitä, lujia, iskusitkeitä sekä kemiallisia vaikutuksia kestäviä, jotta materiaalit soveltuvat suunniteltuun käyttöön ja käyttöikänsä (Painelaitteiden suunnittelu, valmistus ja vaatimustenmukaisuuden arviointi n.d.). Alhainen lämpötila voi vaikuttaa haurausmurtumisalttiuteen ja korkeat lämpötilat heikentävät lujuutta sekä voivat altistaa materiaalin virumiselle. Yleinen ongelma materiaaleille on korroosio, jonka takia voidaan käyttää materiaalina lujitemuovia, pinnoitettua ainetta tai lasia, mutta edellä mainituille aineille liian korkeissa lämpötiloissa, voidaan käyttää titaania tai nikkelioksidia. Vetyhaurautta vastaan voidaan käyttää hiiliterästä tai ruostumatonta terästä, jonka käyttömahdollisuudet ovat hyvin laajat. (Kivioja 2009, 148.) Suositeltavaa on käyttää EN-standardien materiaaleja ja suositukset vaihtelevat standardeittain (Painelaitteiden suunnittelu, valmistus ja vaatimustenmukaisuuden arviointi n.d. & Kivioja 2009, 148).

3.2.3 Painelaitteiden SFS-EN-Standardit

Standardilla tarkoitetaan kirjallista julkaisua, johon on määritelty tuotteiden ja palvelujen vaatimuksia, suosituksia ja ohjeita. Näillä asiakirjoilla varmistetaan arjen turvallisuutta ja sujuvuutta. Se voi tarkoittaa kansallista, eurooppalaista tai kansainvälistä standardia. (Mitä standardi tarkoittaa? n.d.)

SFS on Suomen standardoinnin keskusjärjestö, joka kykenee vaikuttamaan standardeihin sekä varmistaa, että Suomessa on käytettävissä standardikokoelma (SFS – standardoinnin keskusjärjestö Suomessa n.d.). Järjestö on antanut valtuuksia standardointivastuistaan eri toimialojen organisaatioille. SFS tarkoittaa myös Suomen kansallista tunnusta, joka kertoo, että standardi on vahvistettu Suomessa. Muilla valtioilla on omat tunnuksensa, esim. Saksassa tunnus on DIN. (Mitä standardi tarkoittaa? n.d.) ASME eli American Society of Mechanical Engineers on Yhdysvalloissa toimiva organisaatio, joka kehittää ja julkaisee standardeja (ASME-standardit SFS-kaupassa ja SFS Onlinessa n.d.). Kuviossa 2 on esimerkki standardin tunnuksesta.

Eurooppalainen standardin tunnus on EN. Euroopan standardointijärjestön (CEN) jäsenten täytyy vahvistaa kaikki EN-standardit. Tunnusmerkintä vahvistaa standardin eurooppalaiseksi. Kansainvälinen standardin tunnus on ISO. Eri kirjainyhdistelmät kertovat millä alueilla standardi on voimassa. (Mitä standardi tarkoittaa? n.d.)



Kuvio 2. Esimerkki standardin tunnuksesta (Mitä standardi tarkoittaa? n.d.).

Painelaitteiden SFS-EN standardeja on listattuna taulukossa 4. Siitä puuttuvat standardit käsisammuttimille, painelaitemateriaaleille, venttiileille, laipoille ja laippaliitoksille, sekä hitsaajan pätevyyskokeille ja hitsauksen menetelmäkokeille. Yhdenmukaistettuja standardeja ei ole pakko käyttää, kunhan valmistaja kykenee osoittamaan teknisissä asiakirjoissa laitteen turvallisuusvaatimusten täyttymisen. (Painelaitteiden suunnittelu, valmistus ja vaatimustenmukaisuuden arviointi n.d.)

Taulukko 4. Painelaitteiden yhdenmukaistettuja standardeja (Painelaitteiden suunnittelu, valmistus ja vaatimustenmukaisuuden arviointi n.d.).

Tuoteryhmä	SFS-EN standardeja
Painelaitteet, yleistä	764
Lämmittämättömät painesäiliöt	13445
Metalliset teollisuusputkistot	13480
Vesiputkikattilat	12952
Tulitorvikattilat	12953
Varolaitteet yleiskäyttöön	4126
Jäähdytysjärjestelmät ja lämpöpumput	378, 12263, 13136 jne.
Nestekaasusäiliöt	12542, 13175, 14129, 14570
Kryogeeniset säiliöt	1626, 12434, 13371, 13458 jne.

3.2.4 Painelaitteiden laskenta

Suunnittelutilan lujuusarvojen perustana ovat kuormitukset, jotka kohdistuvat rakenteeseen. Standardit määrittelevät kunkin materiaalin minimivaatimuksia, joita ovat mm. murtolujuus, vetomyötöraja ja murtovenymä. (Kivioja 2009, 149.)

Standardissa SFS-EN 13445-3:2021 taulukossa 6-1 on terästen suunnittelun nimellisjännitykset. Taulukossa on eri teräslajeille kaavat normaaleille käyttöolosuhteille sekä koe- ja poikkeustilanteille. (SFS-EN 13445-3:2021, 30.) $R_{p0,2/t}$ tarkoittaa venymisrajaa lämpötilassa t , laskennassa on mahdollista käyttää myös myötörajaa R_{eH} venymisrajan sijasta. $R_{m/20}$ tarkoittaa materiaalin murtolujuutta 20 °C (Kivioja 2009, 149.). Alla on esimerkki koeolosuhteiden ja poikkeustilanteiden kaavasta teräksille kohdan 6.2 mukaan, joilla $A < 30\%$. A tarkoittaa murtovenymän prosenttia (SFS-EN 10028-2:2017, 10).

Koeolosuhteen kaava teräksille, joilla $A < 30\%$ (SFS-EN 13445-3:2021, 30).

$$f_{test} = \left(\frac{R_{p0,2}/T_{test}}{1,05} \right)$$

Laskentapaineena on vähintään käytettävä painetta, jonka alaisena painelaite voi käyttöaikanaan olla. Huomioon on otettava myös lämpötilariippuvuus, alipaine, paine-erot, staattinen paine sekä painehuiput ja -iskut. Laskentalämpötilana on vähintään käytettävä seinämän käyttöajan odotettua lämpötilaa. Tietäessä lämpötilan muutoksen seinämän läpi voidaan käyttää myös keskimääräistä lämpötilaa.

Mitoituksessa on otettava huomioon myös kertoimet ja varat. Kertoimia ovat lujuuskertoimet ja varoja ovat muovaus-, ohenemis- ja toleranssivara. Hitsaussaumoiille on annettu tietyt lujuuskertoimet, joka määrittyvät saumasta, tarkastuksesta sekä kuormituksesta. Muovausvaralla tarkoitetaan valmistuksessa seinämän ohenemisen huomioimisen. Ohenemisvaralla huomioidaan ympäristön syövyttävä vaikutus paitsi korroosiota kestäville aineille. Toleranssivara huomioi nimellismittan sallitun alituksen, löytyy toimitusehtostandardista. (Kivioja 2009, 150.) Standardissa SFS-EN 13445-5:2021 taulukossa 6.6.1-1 on teräksisten painesäiliöiden testausryhmistä tehty taulukko, joka kertoo testausryhmien vaatimuksista. Taulukossa mainittu NDT tarkoittaa rikkomattomaa aineenkoetusta tarkastusta. (SFS-EN 13445-5:2021, 7 & 16.) Taulukossa 4 on mukailtu esimerkki osasta testausryhmän 4 vaatimuksista. Rikkomattoman aineenkoetuksen laajuus määritetään yleisesti prosenttilukuna hitsausliitoksen tai -ryhmän koko hitsin pituudesta. Prosenttiluku määritetään standardista EN 13445-5:2021 taulukosta 6.6.2-1. (SFS-EN 13445-5:2021, 17.)

Taulukko 4. Testausryhmän 4 vaatimuksia (SFS-EN 13445-5:2021, 16, muokattu).

Vaatimukset	Testausryhmä 4
Sallitut materiaalit	1.1, 8.1
Mitoitettavien hitsien NDT-tarkastuslaajuus.	0%
Lujuuskerroin	0,7
Suurin sallittu aineen- paksuus	16 mm ryhmille 1.1, 8.1

Kaikille säiliöille on tehtävä koeponnistus. Normaalisti käytetään nestepainekoetta koeponnistuksessa. Tiettyjen ehtojen toteutuessa voidaan painekoe tehdä myös tilastollisin menetelmin, kaasulla tai neste-kaasulla. Koepaineen laskemisen kaavoja on kaksi, joista valitaan saatava suurempi arvo.

$$P_t = 1,43 \cdot P_s$$

Toinen koepaineen kaavoista, jossa P_t = koepaine mitattuna koeasennossa olevan säiliön kammion korkeimmasta kohdasta ja P_s = säiliön suurin sallittu käyttöpaine. (SFS-EN 13445-5:2021, 31-32.)

3.3 Painelaitteiden mitoitus

Standardien laskenta on yksinkertaistettuja ohjeita vaativimmista teoreettisista lausekkeista. Standardi SFS-EN 13445-3 sisältää painelaitteiden lieriön, päätyjen ja haaroituksen laskentaa. (Kivioja 2009, 150-154)

3.3.1 Lieriöt

Lieriön vaadittu paksuus lasketaan kaavalla,

$$e = \frac{P \cdot D_i}{2f \cdot z - P}$$

jossa e = vaadittu paksuus, D_i = lieriöosan sisähalkaisija, f = nimellinen suunnittelujännitys (MPa), z = hitsausliitoksen lujuuskerroin ja P = Laskentapaine (MPa). Lieriön paksuus voidaan myös laskea kaavalla 7.4-2.

Suurin mahdollinen paine valitulle rakenteelle,

$$P_{max} = \frac{4f \cdot z \cdot e_a}{D_m}$$

jossa e_a = laskettu paksuus, D_m = kuoren keskimääräinen halkaisija, f = nimellinen suunnittelujännitys (MPa), z = hitsausliitoksen lujuuskerroin ja P_{max} = suurin mahdollinen paine (MPa). (SFS-EN 13445-3:2021, 7.4-3 s.13,31 & 32.)

3.3.2 Päädyt

Standardissa 13445-3 kohdassa 7 on laskentakaavat kaaripäädyille, elliptisille päädyille ja kartiopäädyille. Kaaripäätyihin kuuluvat Klöpper- sekä Korbboogen tyypit. Kaaripäätyjen laskentaan on

annettu ehtoja kohdassa 7.5.3.1, joiden toteutuessa voidaan käyttää paksuuden laskemiseen kolmea kaavaa e_s (7.5-1), e_y (7.5-2), ja e_b (7.5-3), joiden suurin saatu vastaus on päädyn vaadittu paksuus.

$$e_s = \frac{P \cdot R}{2f \cdot z - 0,5P}$$

Yksi kolmesta kaavasta vaaditun paksuuden määrittämiseen, jossa e_s = päädyn keskiosan kalvojännityksen perusteella vaadittu paksuus, R = kaaripäädyn kalottiosan sisäpuolinen kaarevuussäde, f = nimellinen suunnittelujännitys (MPa), z = hitsausliitoksen lujuuskerroin ja P = laskentapaine (MPa).

Vaaditun paksuuden kaavassa e_b (7.5-3) tarvitsee määrittää kerroin β kuvasta 7.5-1 tai käyttää kohdan 7.5.3.5 menetelmää, jolla korvataan paksuus e paksuudella e_y . Suurimman mahdollisen paineen laskennassa tarvitsee myös määrittää kerroin β , mutta käyttämällä kuvaa 7.5-2. P_{\max} valitulle rakenteelle on vähintään P_s , P_y ja P_b . P_b :n laskemista ei tarvita, jos $e_a > 0,005 D_i$.

$$P_s = \frac{2f \cdot z \cdot e_a}{R + 0,5e_a}$$

Yksi kolmesta suurimman mahdollisen paineen laskennan kaavasta, jossa e_a = laskettu paksuus, R = kaaripäädyn kalottiosan sisäpuolinen kaarevuussäde, f = nimellinen suunnittelujännitys (MPa), z = hitsausliitoksen lujuuskerroin ja P = suurin sallittu käyttöpaine (MPa).

Elliptiset päädyt mitoitetaan samalla tavalla kuin vastaavanlaiset kaaripäädtyt, jos ehto $1,7 < K < 2,2$ toteutuu. K = elliptisen päädyn muotokerroin, sen määrittämiseen on annettu kaava kohdassa 7.5-18. Kaaripöydän sisäpuolisen kaarevuussäteen R ja sisäpuolisen taivesäteen r laskemisiin on annettu omat kaavansa kohdissa 7.5-19-20. (SFS EN-13445-3:2021, 31, 33-34, 37, 39.)

3.4 Painelaitteiden materiaalien jäljitettävyys

Valmistajan on pidettävä yllä materiaalien tunnistusjärjestelmää, jolla pystytään tunnistamaan valmistuksessa käytettyjen materiaalien alkuperä, jotka ovat paineenalaisia tai niihin pysyvästi hitsattu kiinni. Valmistajan käyttämän tunnistusjärjestelmän on täytettävä standardin EN 13445-4:2021 vaatimukset. Lopullisissa asiakirjoissa on oltava vaaditut materiaalitodistukset. (SFS-EN 13445-5:2021, 12.)

Painelaitemateriaalien ainestodistuksia ovat tyypit 3.1, 3.2, 2.2 ja 2.1. Painelaiteluokkien II, III ja IV paineenalaisille pääosille vaaditaan tuotekohtainen tarkastustodistus 3.1 tai 3.2, muille kuin pääosille sekä paineenalaisiin osiin kiinnitettyihin osiin tarvitaan 2.2 todistus. Luokan 1 laitteen pääosille vaaditaan ainestodistus 2.2. (SFS-EN 10204, 8.) Pääosilla tarkoitetaan osia, jotka ovat välttämättömiä laitteen paineenkestävyydelle (SFS-EN 13445-1:2021, 7). Muille osille mitä painelaitteeseen kiinnitetään, riittää todistus 2.2, tämä pätee kaikkiin luokkiin (SFS-EN 10204, 8).

3.5 Painelaitesuunnittelun yleisiä ongelmia Kiwa Inspectan mukaan.

Tarkastuslaitos Kiwa Inspectan moduuli G:n ohjeistuksessa mainitaan suunnittelun yleisistä ongelmista. Usein suunnittelija ei tiedä tarpeeksi materiaaleista, erityisesti puuttuu tietämystä direktiivin vaatimusten mukaisista materiaaleista. Yksi suuri ongelma on myös mitoituskalkulaatiossa sallittu jännitystason määrittämisen osaamisessa, usein suunnittelija on määrittänyt materiaaleja ja niiden lujuusarvoja käyttämällä lähdettä, joka ei ole direktiivin mukainen.

Kiwa Inspectan suositus on, että painelaitteiden suunnittelu, valmistus ja tarkastus tapahtuu yhdenmukaistettujen standardikokonaisuuksien mukaan. Esimerkiksi, jos mitoituskalkulaatio tehdään EN 13445-3 mukaan niin muut asiat, valitaan muista EN-13445 standardien osista. Materiaalit (EN-13445-2), valmistus (EN-13445-4) ja tarkastukset (EN-13445-5). Yhdenmukaistettujen standardien käyttäminen ei ole pakollista, mutta on huomioitava, että muut standardit eivät vastaa direktiivin kaikkia osia. Valmistajan hakemuksessa tarkastuslaitokselle on esitettävä mitä ja millä laajuudella standardeja on sovellettu. (Moduuli G: Yksikkökohtaiseen tarkastukseen perustuva vaatimustenmukaisuus n.d.)

4 Tutkimustulokset

Painelaitteiden laskentaa on opintojakson jokaisella aihealueella, joten koettiin tärkeäksi, että laskutehtävät käydään läpi havainnointijakson avulla. Näin saadaan huomioita mitä asioita tehtäviin liittyen voidaan kehittää. Opintojakson päivittäminen tehtiin myös havainnointijaksolla, jossa opintojakson materiaaleja verrattiin uusimpiin standardeihin. Havainnointijaksoilla kirjoitettiin ylös huomioita heti kun ne tulivat ilmi ja raporttiin huomiot on koottu ja tiivistetty. Havainnointijaksot ovat tehty yhden opiskelijan näkökulmasta, joka tarkoittaa, että osa huomioista voivat olla vain sattumaa tai jollekin toiselle henkilölle asia ei olisi huomionarvoinen. Tulokset painelaitesuunnittelun olennaisista asioista, joiden avulla pystyttäisiin muodostamaan esimerkkitehtäviä ja muita huomioita opintojaksolle saatiin haastatteluilla alan ammattilaisille.

Aineiston keräämisen ensimmäisenä vaiheena tehtiin havainnointijaksona laskutehtävien läpikäynti. Laskutehtävien jälkeen opintojakson materiaaleja verrattiin uusimpiin painelaitteiden standardeihin. Ennen havainnointijaksoja opiskeltiin opintojakso normaaliin tapaan, mutta mitään huomioita ei otettu ylös. Opintojakson läpäisemisellä ja kahdella havainnointijaksolla varmistettiin, että opintojakson materiaalit tulivat käytyä lukuisia kertoja läpi ja painelaitesuunnittelun asiat tulivat tutuiksi. Havainnointijaksojen ohella kehitettiin kysymyslista haastatteluille ja haastattelut aloitettiin. Osa kysymyksistä kysyttiin kaikilta haastateltavilta ja haastattelujen lisääntyessä kysymyksiä lisättiin aiempien vastausten ja haastattelijan uusien ajatusten pohjalta. Haastattelut jatkuivat pitkälle yli havainnointijaksojen.

4.1 Painelaitesuunnittelun opintojakson havainnointi

Opintojakson materiaalin päivittäminen toteutettiin havainnointipäiväkirjaa hyödyntäen havainnointijaksoilla. Toteutettiin 2 jaksoa, laskutehtävien läpikäynti sekä oppimateriaalin vertaaminen standardeihin. Havainnot ovat tehty miettimällä, kuinka helposti tehtävät voidaan ratkaista saatavan materiaalin avulla. On myös mietitty materiaalien selkeyttä sekä tehtävien hyödyllisyyttä työelämää ajatellen. Tähän osaan on kirjoitettu tiivistetty palaute jokaisen aihealueen havainnoista. Havainnointijakso 2:ssa käytiin kaikki materiaalit läpi ja verrattiin uusimpiin painelaitteiden standardeihin. Havainnoinnit tapahtuivat yhden henkilön toimesta, joten asioita jäi varmasti huomauttamatta ja löytyneet huomiot eivät välttämättä olisi kaikille huomionarvoisia.

4.1.1 Havainnointijakso 1, laskutehtävien läpikäynti

Kohde: Aihealue 1: Paine, siirtymä, venymä ja ID jännitys.

Ensimmäisessä aihealueessa ei erityisiä ongelmia, tehtävät ovat helposti ratkaistavissa, kunhan löytää materiaalista oikeat kaavat. On syytä olla kuitenkin tarkkana, kun etsii tarvittavaa kaavaa. Parannettavaa on sekavassa ratkaisut esittävässä pdf-tiedostossa, sillä se on käsin tehty, joka on sitten skannattu pdf-tiedostoksi.

Kohde: Aihealue 2: 2D Jännitystila, lieriön ja pallon jännitykset.

Laskutehtävien oheismateriaalin diaesitys vaikuttaa hyvältä, mutta tehtävien ratkaisuun tarvittaisiin kuitenkin selkeämpiä ohjeita ja kaavakokoelma. Tukiwebinaarin avulla tehtävät 1 ja 2 ovat ratkaistavissa. Ei ole varmuutta onko muilla opintojakson toteutuksilla samoja mahdollisuuksia ratkaista tehtäviä, koska tukiwebinaari oli tallennettu yhden toteutuksen opiskelijoiden hyödyksi. Toisella toteutuksella ei välttämättä videolla tule samat kysymykset tai asiat ilmi. Tehtävä 3c on hankala, koska tarvittavaa sylinterin muodon muutoksen kaavaa ei löytynyt materiaalista. Tehtävä 4 on erittäin hankala, ratkaisussa on esitetty levyn leveyteen kaava, jota ei löytynyt materiaalista. Tehtävä 5 on oikean kaavan löytämisellä ja tukiwebinaarin avulla ratkaistavissa.

Kohde: Aihealue 3: Painelaitestandardit, materiaalit ja nimellisjännitykset.

Kolmannella aihealueella tehtävät menevät nopeasti hankalaksi ja sen vuoksi tarvittaisiin enemmän esimerkkitehtäviä. Tehtävä 1 on hankala ja on epäselvää mistä tarvittavat kaavat säteen muutokseen ja venymään saadaan. Tehtävissä 2, 3 ja 5 täytyy osata etsiä standardeista asioita, joiden käyttöä ei ole ohjeistettu kunnolla. Tehtävä 3 vaikutti hyödylliseltä työelämää ajatellen, koska siinä lasketaan pallomaisen säiliön seinämän vahvuutta.

Kohde: Aihealue 4: Lieriön, pallojen ja päätyjen mitoitus.

Aihealueella tuodaan esille asiaa testausryhmistä, mikä on tärkeä asia painelaitteiden suunnittelussa. Tehtävissä täytyy osata käyttää kolmea eri standardia, on vaikeaa hahmottaa mitä käyttää ja

mistä asiat löytyvät. Tehtävät ovat hyvin pitkiä ja hankalia. Tehtävä 4:n Korbobogen-päädyn mitoitustehtävään ei ole esimerkkiä. Päätyjen kaavat ja diat ovat päätyneet 3.aihealueen sivulle opintojakson työtilassa.

Kohde: Aihealue 5: Kuorien aukot ja niiden mitoitus.

Tehtävät ovat pitkiä ja entistä hankalampia. Materiaalit ovat sekaiset. Pitkän diamateriaalin pohjasta löytyvät tarvittavat kaavat, niitä voi olla vaikea huomata. Tarvittavat kaavat voisivat olla omassa esityksessään.

4.1.2 Laskutehtävien läpikäynnin tulokset

Toistuvia huomiota opintojakson tehtävistä:

- Tehtävien vaiheiden selitysten puuttuminen, niitä tarvittaisiin esimerkkeihin.
- Tehtävät menevät nopeasti hyvin hankalaksi ja pitkiksi. Tehtäviin täytyy varata paljon aikaa ja kärsivällisyyttä.
- Ratkaisuja voi olla hankala lukea, koska osa oli käsin tehty ja skannattu. Näissä olisi myös hyvä selittää vaiheet.
- Standardeista etsiminen on vaikeaa ja kaavoja voi olla hankala löytää.

Parannus ehdotuksia opintojaksolle:

- Tiivis ja selkeä kaavakokoelma, jota voi käyttää koko opintojakson ajan.
- Ratkaisut tietokoneella tehdyksi ja niiden täytyy sisältää kaavat ja tiedot mistä osaa standardia kaavat löytyvät.
- Esimerkkitehtävien vaiheet selitettynä ymmärtämisen avuksi.
- Kuvan lisääminen kaikkiin tehtäviin selkeyden vuoksi.
- Tukiwebinaareissa usein toistuvien kysymysten vastaukset apupaketeiksi jokaiselle opintojakson toteutukselle.
- Enemmän standardien käytön opastusta/ohjeistusta.
- SFS Onlinen käytön ohjeistus. Palvelusta löytyvät standardit opiskelijoiden käyttöön.

4.1.3 Havainnointijakso 2, oppimateriaalien vertaaminen standardeihin

Standardien muutoksista ei löytynyt selkeää listaa, eikä vanhempia versioita ollut saatavilla, joten opintojakson materiaali on vain silmämääräisesti verrattu uusimpiin standardeihin. Aihealueissa 1 ja 2 ei ollut yhtään mainintaa standardeista.

Kohde: Aihealue 3: Painelaitestandardit, materiaalit ja nimellisjännitykset.

Aihealueen diaesityksessä puhutaan lämmittämättömistä painesäiliöiden standardeista vuodelta 2019, uusimmat SFS Onlinessa ovat 2021(osat 1 ja 5) ja 2023 (osat 2-4). Sama juttu putkistostandardeissa, ne ovat uudistuneet. Dioissa esitettävissä testauskaavoissa ei lue mistä standardista ne ovat. Vaikka aihealueesta löytyi asioita vanhentuneista standardeista, eivät asiat ole muuttuneet uudemmissa versioissa.

Kohde: Aihealue 4: Lieriön, pallojen ja päätyjen mitoitus.

Aihealueen diaesitys perustuu EN 13445-2009 standardiin, uusin on 2021. Uuden ja vanhan standardin vertailu on hankalaa, koska vanhempi on suomenkielinen ja uudesta oli saatavilla vain englanninkielinen versio. Suomenkielinen versio löytyi myöhemmin, mutta ei löytynyt havainnointijakson aikana. Tehtävien ratkaisut ovat hyvät ja perustuvat uusimpaan standardiin. Esimerkit ovat muuten ajan tasalla, mutta klöpper-päädyn esimerkissä kaavoille e_y ja e_s on merkattu väärältä sivulta löytyväksi. Ovat uudessa standardissa sivulla 38, kaavat ovat kuitenkin pysyneet muuttumattomina.

Kohde: Aihealue 5: Kuorien aukot ja niiden mitoitus.

Uusimpiin standardeihin perustuvat ratkaisut ja esimerkit ovat hyvät. Sivulla 11 sijaitseva vahvistukseen laskettavien pienahitsien poikkipinta-ala A_{fw} määritetään kohdan 9.5.2.3.4 mukaan, uudessa standardissa se on 9.5.2.3.3. Diojen sivuilla 25 ja 20 sijaitsevista kaavoista ei ole kerrottu mistä standardista ne ovat. Kaikki dioissa esitetyt kaavat eivät vaikuta muuttuneen uuteen standardiin.

4.1.4 Vertailun tulokset

Yleisesti ottaen opintojakson materiaali, joka kuului opinnäytetyön alueeseen, on ajan tasalla. Vaikka se sisältää viittauksia vanhoihin standardeihin, kaavat ja periaate ovat pysyneet samana. Parannusehdotuksena on, että ratkaisuihin ja materiaaleihin kannattaa kirjoittaa aina käytetyn standardin nimen perässä oleva vuosiluku, jotta tietää minkä vuoden standardia on käytetty. Tämä tekee tulevaisuudessa opintojakson päivittämisestä helpompaa.

4.2 Haastattelut

Haastattelujen vastauksiin saatiin paljon kokemuksen tuomaa ääntä. Haastateltavien ikä ja kokemukset vaihtelivat paljon, mutta useimmille kokemusta painelaitteista ja niiden suunnittelusta oli kertynyt vuosikymmen tai sitä enemmän. Yhteydenotto haastateltaviin tapahtui sähköpostin välityksellä ja lukuun ottamatta yhtä sähköpostihaastattelua, jokainen haastattelu tehtiin videopuhelun välityksellä. Kaikille haastateltaville lähetettiin kysymykset ennakoon haastatteluun valmistautumista varten ja sähköpostin välityksellä käydyssä haastattelussa annettiin hyvin aikaa vastata. Tällä keinolla varmistettiin vastauksien laatu. Raportoinnissa on osaan kysymyksistä ensin selitetty sen merkityksestä ja tavoitteista.

1. Yleisimmät ongelmat ja haastavimmat asiat painelaitteiden suunnittelussa?

Haastavin asia painelaitteiden suunnittelussa haastattelujen perusteella oli lähtötiedot, joka toistui useasti haastatteluissa. Asiakkailta saatavissa lähtötiedoissa voi tulla vastaan ongelmia, kun asiakas ei aina tiedä mitä haluaa ja mitkä ovat laitteen speksit esim. lämpötila ja paine. Kommunikaatiossa asiakkaan ja valmistajan välille voi tulla helposti väärinymmärryksiä esim. eri standardien termien määrittelyssä.

Muita ilmi tulleita haastavia asioita olivat suunnittelijan hitsaustietämys eli tiedot railon muodosta, tarkastuksista, hitsausohjeista ja -menetelmistä, sekä painelaitteiden jaottelusta kattiloihin, painestioihin ja putkistoihin sekä miten näitä kokonaisuuksia käsitellään ja luokitellaan.

2 & 3. Onko uusilla työntekijöillä/juuri valmistuneilla jokin puute taidoissa & onko jokin aihe/vaihe mitä olisi pitänyt opiskeluvaiheessa opiskella enemmän?

Kysymykset 2 ja 3 olivat hyvin samankaltaisia, mutta kolmannessa kysymyksessä tavoitteena oli selvittää haastateltavan henkilökohtainen kokemus, mikä olisi hänelle itselle ollut hyödyllistä opiskella enemmän kouluaikana. Asia ei tullut aina selkeästi esiin haastattelussa, joten raportointiin on yhdistetty molempien kysymysten vastaukset niiden ollessa hyvin samankaltaisia.

Kysymyksiä vastauksien toistuvat asiat olivat hitsaus, standardit, määräykset, säädökset ja koneenpiirustukset. Hitsaus on oleellinen osa painelaitteita, niin sen merkitystä taas korostettiin usein näiden kysymysten vastauksissa ja yhden haastattelun aikana ilmaantui käsite WPS eli Welding Procedure Specification, jolla tarkoitetaan hitsausohjetta, jossa määritellään kaikki hitsauksen parametrit.

2D piirustusten teko ja niiden merkinnät nousivat esiin useasti, vastavalmistuneilla on hankaluuksia teknisessä piirtämisessä saada merkinnät oikein ja sen takia niitä joudutaan korjailemaan usein. Muita huomioita olivat lujuusopin ja FEM:in (Finite Element Method) eli lujuuslaskentaohjelmien käytön opiskelun lisääminen niiden paremmaksi ymmärtämiseksi sekä painelaitteiden opiskelun lisääminen, sillä moni ei tiedosta sen olemassaoloa suurena kokonaisuutena.

4. Kuinka hyvin olet selvillä painelaitesuunnittelun standardeista? Miten löydät sieltä tarvittavat?

Ei tule yllätyksenä, että vuosikymmenen tai sitä suuremman kokemuksen omaaville standardit ovat tulleet tutuksi. Osalle haastatelluista ASME-standardit olivat myös tuttuja. Muutaman vuoden kokemuksen suunnittelusta omaava henkilö kertoi osaavansa suurimmat asiat standardista. Yksi haastateltavista varoitti, että ei kannata luottaa vain muistiin vaan aina tarkistaa asiat standardista.

Standardeista tarvittavien asioiden löytäminen on monelle muistamista suunnilleen mistä kohdin standardia asiat löytyvät. Apuna voi käyttää Control-F toimintoa ja tärkeistä asioista voi tehdä muistiinpanot.

5. Miten pysytte perässä suunnittelun vaiheista, vaatimuksista, sekä standardien muutoksista?

Suunnittelun vaiheista pysytään ajan tasalla esim. Microsoft Plannerilla, palavereilla ja muistiinpanoilla.

Painelaitteiden muutokset tapahtuvat hitaasti. Painelaittepäivillä ja EU:n virallisesta lehdestä voi tulla ilmi muutoksia painelaitteisiin liittyen. Asiakkaiden vaatimukset tallennetaan verkkolevylle ja standardit speksataan asiakkaan kanssa sopimukseen. Lisäksi seminaarit, koulutukset ja laatu- ja tarkastussuunnitelmat auttavat pysymään asioista perillä.

Standardien muutoksista saadaan tietää seuraamalla yhdenmukaistettujen standardien listaa ja käydä ne esim. vuosittain läpi. SFS Online ylläpitää standardeja ja sieltä saa uusimmat versiot. SFS:n uutiskirjeen voi tilata sähköpostiin, jossa kerrotaan standardien muutoksista. On muistettava, että myös ohjelmistot täytyvät pitää ajan tasalla.

6. Tehdäänkö laskentaa käsin paljon?

Haastatteluiden perusteella käsin laskenta on nykypäivänä vähäistä, mutta ei olematonta. Ohjelmien avulla on tehokasta tehdä laskentaa, esim. PV Elitellä. Käsin laskua tehdään vielä, jos ohjelmiston tuloksiin ei olla voitu luottaa, se ei ole kyennyt laskemaan haluttua asiaa tai lasketaan suurten sarjojen joitain tiettyjä komponentteja. Käsin laskua tehdään esim. Excelillä, SMathilla ja Mathcadilla.

Seuraavat kysymykset olivat esimerkkitehtävien muodostamiseen selvittämällä arvoja sekä tärkeitä toistuvia asioita painelaitesuunnittelusta.

7. Onko teillä tarjota oikean elämän esimerkkitehtävää painelaitteiden suunnitteluun liittyen?

Suora kysymys, joka kysyttiin kaikilta haastateltavilta, jotta yritysmaailmasta saataisiin työelämään perustuva esimerkkitehtävä. Yritysten esimerkkejä on vaikea saada luottamuksellisten tietojen takia, mutta kaksi tehtävää onnistuttiin saamaan. Niistä enemmän kohdissa 4.3 ja 4.4.

8. Tärkein asia ja vaihe painelaitteiden suunnittelussa?

Haastattelujen perusteella tärkein asia ja vaihe painelaitteiden suunnittelussa ovat lähtöarvot. Asiakkailta voi olla vaikeuksia tietää täsmälleen mitä he tarvitsevat, mikä voi tuottaa ongelmia. Toisena tärkeänä asiana painotettiin materiaalinvalintaa.

Haastatteluissa selvinneitä lähtöarvoja:

- Määräykset (PED, ASME...)
- Paine
- Laskentalämpötila ja pienin lämpötila
- Korroosio- ja kulumisvara
- Elinikä
- Vaihteleva kuormitus
- Testausryhmät
- Tilavuus
- Luokittelu PED
- Sisältö
- Laippastandardi

Huomioitavaa on kuitenkin, että loppujen lopuksi painelaitteissa pitää kaiken olla täysin kunnossa.

9. Yleisimpiä laitteita, tilavuuksia, sisältöjä ja paineita?

Odotetusti painelaitteita tehdään laidasta laitaan. Haastateltavilta yrityksen edustajilta yleisimmät laitteet olivat kattilat, paineastiat sekä putkistot. Painemäärät vaihtelivat yleensä 5-30 bar ja yleisimmät sisällöt olivat vesi, typpi, ilma ja höyry. Tilavuudet vaihtelivat paljon, kymmenistä litroista tuhansiin kuutioihin.

10. Mitä testausryhmät käytännössä tarkoittavat? Mikä määrää ryhmän?

Testausryhmä määrittelee hitsien tarkastuslaajuuden ja yrityksen sisällä kyse on optimoinnista, halutaanko minimoida testauskuluja testaamalla vähän, jolloin täytyy kompensoida lisäämällä ainevahvuutta vai testataanko enemmän ja säästetään ainevahvuudessa. Ryhmän saa valita yleensä vapaasti. Yleisin ryhmä monella oli 3b, joka on varma valinta pienen epäonnistumisen riskin takia.

Isommissa laitteissa valitaan usein testausryhmä, jonka lujuuskerroin $z = 1$, jolloin testauskulut lisääntyvät, mutta materiaalit ovat ohuempia. Valinnassa täytyy muistaa huomioida konepaja, laitteen vaativuus ja asiakkaan vaatimukset.

Seuraavat kysymykset olivat haastattelujen lisääntyessä keksittyjä lisäkysymyksiä, joita ei kysytty kaikilta haastateltavilta.

11. Olisiko hitsauksen opettamisen lisääminen mielestänne tärkeää? Jos on niin mitä hitsaukseen liittyvää pitäisi lisätä?

Hitsauksesta kysyttiin enemmän, koska ensimmäisistä haastatteluista tuli ilmi sen tärkeys. Haastatteluissa toivottiin opiskelijoille enemmän perusymmärrystä NDT:stä sekä hyvän ja huonon hitsin tunnistamisesta.

12. Mitkä ovat suunnittelijan tehtävät?

Selvittää lähtötiedot, tehdä huolellisesti lujuustarkastelut ja suunnittelu valmistusnäkökohdat huomioiden. Muita mahdollisia tehtäviä suunnittelijalle voi olla esim. dokumenttien valmistelu ja valmistuksen avustaminen.

13. Mitkä ovat tärkeitä ja useasti käytettyjä taulukoita/sivuja/kaavoja standardeissa?

Useasti käytettyjä standardien osuuksia:

- PSK:n putkiluokkastandardien putkien ja muiden osien materiaalit ja paksuudet
- EN 13445-3 liite A Suunnitteluvaatimukset paineenalaisille hitseille
- EN 13445-3 liite B ja C eli numeeristen menetelmien käyttö lujuuslaskennassa
- EN 13445-3 Table 5.3.2.4–1 — Load combinations
- EN 13445-3 Table 6-1, suunnittelujännityksen määrittäminen

Muita huomioita haastatteluista:

Muutamalta haastateltavalta tuli puhetta siitä, kuinka painelaitesuunnittelun osaajat ovat vähentymässä, joka tarkoittaa, että sen oikea opettaminen on tärkeä asia. Haasteena ovat, että painelaitteisiin liittyvät määräykset ja vaatimukset ovat valtavat, niitä voi opiskella lopun ikäänsä. Koulut eivät tietenkään pysty opettamaan kaikkea, mutta edes maininta painelaitteiden olemassaolosta olisi hyödyllistä. Painelaitesuunnittelun opiskelu kuitenkin hyödyttää myös muissa suunnittelutyöissä.

4.2.1 Haastattelujen tulokset

Haastatteluissa selvisi selkeästi, että lähtötiedot ja hitsaus ovat kaksi aihetta, joista jonkinlainen tehtävä tai lisäys opintojaksolle olisi erittäin hyödyllistä. Opiskelijoille ja vastavalmistuneille painelaitteiden mallintaminen ja muodot eivät ole niinkään ongelma, mutta piirustuksien merkit ovat asia, johon pitäisi myös panostaa enemmän. Selvisi myös paljon asioita mitä painelaitesuunnittelijalla olisi hyvä olla, kuten standardien, lujuusopin ja materiaalien ymmärrystä. Huomattavaa on, että painelaitteiden suunnittelu on suuri kokonaisuus ja vaatii valtavasti työtä oppia. Näillä selvytyksillä kuitenkin saatiin arvokasta tietoa esimerkkitehtäviä varten, joita onnistuttiin saamaan kaksi, jotka ottavat haastatteluissa ilmi tulleita tärkeitä asioita huomioon. Tuloksilla on vaikea kehittää omaa esimerkkitehtävää, koska kysymykset eivät olleet siihen tarpeeksi tarkkoja, mutta joi-
tain lukuja saatiin, kuten yleisiä paineen arvoja ja tieto yleisimmästä testausryhmästä 3b:stä.

4.3 Esimerkkitehtävä 1

West Welding Oy:n projekti-insinööri Taneli Panttilan kehittämä painelaitesuunnittelun tehtävä. Kun esimerkkitehtävä 1 saatiin yritysmaailmasta, se pyrittiin ensin ratkaisemaan itse ja sitten kysyttiin tarkentavia kysymyksiä, jotta ei tulisi vääriin ymmärryksiä tehtävään liittyen.

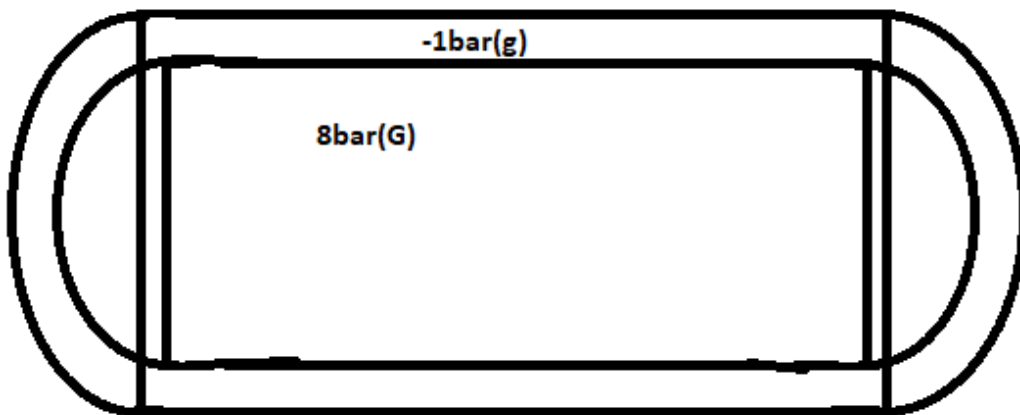
Tehtävänanto:

LNG-säiliö koostuu kahdesta päällekkäisestä säiliöstä. Sisäsäiliön sisäinen paine on 8bar(g) ja ulom-
maisena säiliön sisäinen paine on -1bar(g). Suunnittelulämpötila sisäsäiliölle on -192°C/20°C, joten
säiliö on kryogeeninen.

Säiliö on vaakamallinen 5,5m sisähalkaisijaltaan ja LNG:n tiheys 421kg/m³, mikä on kokonaispaine,
joka sisäsäiliön kuoreen vaikuttaa, jos säiliö on täynnä?

Standardissa EN13458-2 Liitteestä K löytyvät soveltuvat materiaalit kryogeenisiin painelaitteisiin. Mitä EN levy materiaaleja on käytettävissä sisäsäiliön kuoren valmistukseen, jos halutaan mitoittavien hitsien tarkastuslaajuudeksi 10 % eli testausryhmäksi 3b (Käytä apuna standardia EN13445-5 selvittääksesi testausryhmän rajoitteet ja standardia 13445-2 materiaalityypin selvittämiseen)

Vastaus: 9,2 bar ja standardin EN13458-2 liite K:n EN 10028-7 materiaalit.



Kuvio 3. Havainnollistava kuva esimerkkitehtävään 1

Apuja tehtävän ratkaisemiseen:

Laskutehtävään käytä hydrostaattisen kokonaispaineen kaavaa.

Hae standardista SFS-EN 13445-5 taulukko 6.6.1 -1 Teräksisten painesäiliöiden testausryhmät.

Katso taulukosta testausryhmä 3b:n sallitut materiaalit.

Seuraavaksi tarkastellaan taulukkoa, joka löytyy standardista EN13458-2 liitteestä K. Huomataan, että 1.1 ja 1.2 luokan hiiliteräksiä ei löydy listalta. Austeniittiset 8.1 ruostumattomat teräkset, joissa Cr vähemmän tai yhtä paljon kuin 19% löytyy pitkä rivi. Esimerkiksi CrNi18-9 luetaan Cr18% Ni9% esimerkiksi. Haetaan levy materiaalia, joten EN10028-7 on oikea tuotestandardi. Eli oikea

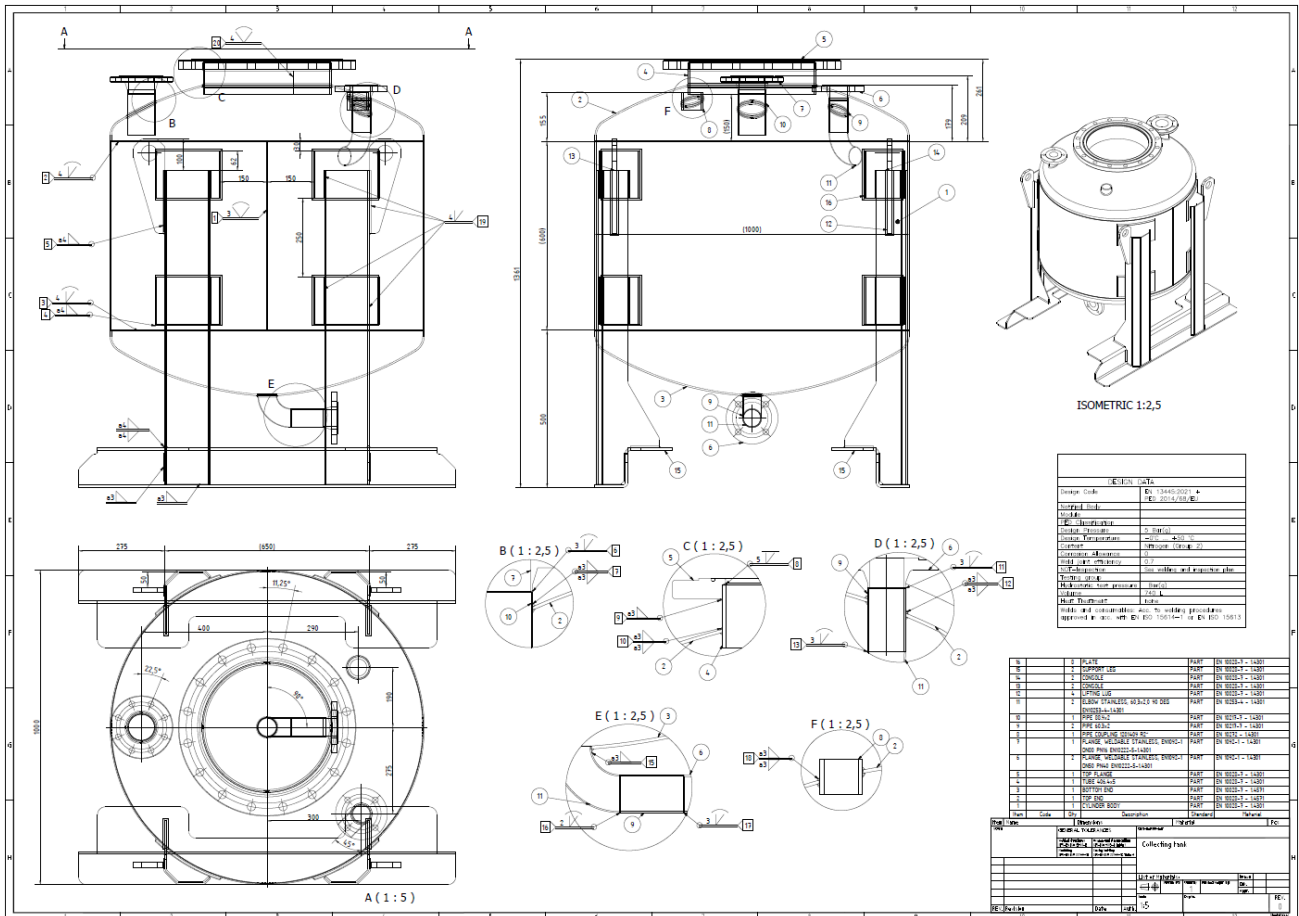
vastaus on EN10028-7 materiaalit K-liitteen materiaalilistalta. Tämä teksti on muotoiltu Panttilan kanssa käydystä sähköpostikeskustelusta.

Panttila kertoi myös, että painelaitteiden suunnittelussa materiaalien tuotestandardit ovat keskeisessä osassa ja ne tulisi esimerkiksi aina mainita ihan piirustuksien osaluetteloissa, jotta ostaja ei tilaa väärän standardin levyä. EN13445-2:ssa on pitkä taulukko E.2-1, jossa kerrotaan tuotemuoto ja mikä on sen EN standardi. Saman standardin taulukko E.1-1 kertoo painelaiteteräksien ja teräsosien eurooppalaiset standardit taulukkona.

Esimerkkitehtävään 1 on tuotu mukaan tärkeä asia eli materiaalin etsimistä standardista ja sen tulkitsemista sekä otetaan huomioon mahdollisuus monikerroksiseen painelaitteeseen. Laskutehtävä on yksinkertainen, joka ei lisää paljoa opiskelijan kuormitusta. Se sisältää myös hahmottavan kuvan (kts. kuvio 3) sekä ohjeistusta mitä/miten standardeja täytyy käyttää. Tehtävä ottaa huomioon lukuisia asioita, joita tutkimuksessa selvisi.

4.4 Esimerkkitehtävä 2

Kuviossa 4 (kts. myös liite 1) on Mimet Oy:lta saatu säiliön piirustus, joka sisältää materiaalilistan (kts. kuvio 6), kuvannot mittoineen ja hitsausmerkkeineen sekä sivussa on lista lähtöarvoista (kts. kuvio 5). Piirustuksesta saatavat mahdolliset tehtävänannot sekä tarvittavat tiedot niiden ratkaisuun on kerrottu piirustuksen alla. Liitteeksi 2 on lisätty säiliön paksuuden ratkaisu testausryhmällä 4 Visual Vessel Design (VVD) ohjelmistolla.



Kuvio 4. Piirustus esimerkkitehtävään 2

DESIGN DATA	
Design Code	EN 13445:2012 + PED 2014/68/EU
Notified Body	
Module	
PED Classification	
Design Pressure	5 Bar(g)
Design Temperature	-0°C ... +50 °C
Content	Nitrogen (Group 2)
Corrosion Allowance	0
Weld joint efficiency	0.7
NDT-Inspection	See welding and inspection plan
Testing group	
Hydrostatic test pressure	Bar(g)
Volume	740 L
Heat Treatment	none
Welds and consumables: Acc. to welding procedures approved in acc. with EN ISO 15614-1 or EN ISO 15613	

Kuvio 5. Lähtöarvot esimerkkitehtävään 2

Tehtäviä piirustukseen perustuen.

1) Määritä laitteelle PED-luokitus, moduuli, lieriön ja päädyn paksuus sekä koepaine

PED-luokitus ja moduuli määritetään painelaitedirektiivistä 2014/68/EU.

Määritä lieriön ja päädyn materiaalit osaluettelon avulla (kuvio 6).

Kaavat lieriön ja päädyn laskentaan löytyvät standardin SFS-EN 13445-3:2021 osista 6 ja 7.

Koepaineen määrittämiseen tarvittavat kaavat löytyvät standardista SFS-EN 13445-5:2021 kohdasta 10.2.3.3.

2) Valitse laitteen hitseille tarkastuslaajuus sekä tarkastusmenetelmä

Haetaan prosenttilukua hitsausliitoksen tai -ryhmän koko hitsin pituudesta. Prosenttiluku määritetään standardista EN 13445-5:2021 taulukosta 6.6.2-1 Rikkomattoman aineenkoetuksen tarkastuslaajuus. Hitsinumerot saadaan piirustuksesta.

Esimerkki testausryhmä 3b:llä:

Hitsi 1 – Tarkastusmenetelmä RT eli Röntgentarkastus - tarkastuslaajuus 10%

3) Tee laitteelle riskianalyysi.

Kuormituksesta johtuvat vaarat, jotka kohdistuvat painesäiliöön täytyy sisältyä tekniseen dokumentaatioon (SFS-EN 13445-5:2021, 8). SFS-EN 13445-3:2021 sivulla 16 kohdassa 5.3.1 on kerrottu suunnittelun huomioon otettavista kuormituksista. Katso myös SFS-EN 13445-1:2021 s.11 Riskien arviointi ja käsittely.

4) Tee materiaalista, joka sisältää tiedon vaadittavista materiaalitodistuksista (kts. kuvio 6)

16		8	PLATE	PART	EN 10028-7 - 1.4301
15		2	SUPPORT LEG	PART	EN 10028-7 - 1.4301
14		2	CONSOLE	PART	EN 10028-7 - 1.4301
13		2	CONSOLE	PART	EN 10028-7 - 1.4301
12		4	LIFTING LUG	PART	EN 10028-7 - 1.4301
11		2	ELBOW STAINLESS; 60,3x2,0 90 DEG EN10253-4-1.4301	PART	EN 10253-4 - 1.4301
10		1	PIPE 88.9x2	PART	EN 10217-7 - 1.4301
9		2	PIPE 60.3x2	PART	EN 10217-7 - 1.4301
8		1	PIPE COUPLING 1201409 R2"	PART	EN 10272 - 1.4301
7		1	FLANGE, WELDABLE STAINLESS; EN1092-1 DN80 PN16 EN10222-5-1.4301	PART	EN 1092-1 - 1.4301
6		2	FLANGE, WELDABLE STAINLESS; EN1092-1 DN50 PN40 EN10222-5-1.4301	PART	EN 1092-1 - 1.4301
5		1	TOP FLANGE	PART	EN 10028-7 - 1.4301
4		1	TUBE 406.4x5	PART	EN 10028-7 - 1.4301
3		1	BOTTOM END	PART	EN 10028-7 - 1.4571
2		1	TOP END	PART	EN 10028-7 - 1.4571
1		1	CYLINDER BODY	PART	EN 10028-7 - 1.4301
Item	Code	Qty	Description	Standard	Material

Kuvio 6. Materiaalilista ja osaluettelo esimerkkitehtävään 2

SFS-EN 10204 Metallituotteiden ainestodistukset kertoo neljästä eri painelaitteille soveltuvasta ainestodistuksesta. Katso myös opinnäytetyön kohta 3.4.

Tehtävä ottaa huomioon suunnittelun prosessia esittämällä yhden tärkeimmän tutkimuksessa selvinneen asian eli lähtöarvot, joiden perusteella voidaan tehdä säiliön laskenta. Piirustuksesta nähdään myös osaluettelo ja esimerkkejä hitsausmerkeistä. Jo yhdestä kuvasta saadaan paljon tärkeitä painelaitesuunnitteluun liittyviä asioita. Muita mahdollisia tehtäviä mitä kuvasta voisi saada on laippojen mitoitus, materiaalin valinta sekä yhdeputkien mitoitus.

Huomioitavaa esimerkkitehtävä 2:sta on, että laite laskettaisiin työelämässä tietokoneella. Esimerkkitehtävästä puhuttaessa Mimet Oy:n edustajan kanssa tuli esiin huomio, että standardeissa on niin paljon ehtoja ja sivuja, että niitä on hyvin vaikea ottaa kaikkea huomioon. Tästä syystä käytetään laskentaohjelmia. Liitteessä 2 on laskentaohjelma Visual Vessel Designin (VVD) laskema vastaus lieriön paksuudelle. VVD:n käytön tuki on jo lopetettu, mutta on silti hyvä esimerkki ohjelman antamasta vastauksesta. Laitteelle oli alun perin valittu testausryhmäksi 4, jotta säästettäisiin NDT-tarkastuksissa, mutta koska halutaan, että opiskelija määrittää hitsien tarkastuslaajuudet voi tehtävään valita testausryhmäksi esimerkiksi 3b:n. VVD:n vastaus ottaa huomioon C:n eli korroosiovaran ja NegDev:in, joka tarkoittaa valmistuksessa tapahtuvaa ohentumista (SFS-EN 13445-3:2021,

15). VVD:n ratkaisu ei kerro miten suunnittelujännityksen f arvo 168.75 on muodostettu. Huomioitavaa on myös, että se on laskettu vanhemmalla standardilla EN 13445:2014.

5 Johtopäätökset

Vertaamalla tuloksia tutkimuskysymyksiin voidaan tehdä johtopäätökset työstä.

1. Mitä painelaitesuunnittelun opintojaksosta päivitetään?

Standardien käytöstä opintojaksolla ei ollut suurempia asioita muutettavana vaikkakin vanhempia standardiversioita materiaaleihin oli käytetty. Joitain viittauksia standardien sivuihin täytyy vain muuttaa tai lisätä esim. tehtävien ratkaisuihin. Päivitettävät asiat eivät lopulta olleet merkittäviä.

2. Mitä opintojaksolle voisi lisätä ja kehittää, jotta se valmistaisi mahdollisimman hyvin työelämään?

Hitsaus, lähtöarvot, materiaalinvalinta olivat tärkeimmät asiat haastattelujen perusteella. Niiden painotettua opiskelua ei ole opintojaksolla. Opintojakson tehtävissä on yleensä materiaalit ja lähtöarvot vain annettu, joten syvempää asiaa näistä olisi hyödyllistä. Esimerkkitehtävä 1 ottaa huomioon materiaalinvalinnan etsimistä standardista. Esimerkkitehtävä 2:n piirustus huomioi lähtöarvot sekä hitsausmerkit, jotka molemmat löytyvät piirustuksesta. Se ei lisää erityisemmin tietämystä hitsauksesta, mutta jo esimerkki hitsausmerkeistä piirustuksessa sekä tehtävä tarkastuslaajuuksien määrittämisestä ovat hyödyllisiä. Hitsaukseen liittyvät asiat ovat enemmän valmistuksen puolta mikä on rajattu työstä pois. Esimerkkitehtävä 2:den laskentatehtävät eivät ole mitään uutta opintojaksolla, mutta etuna tässä tehtävässä on, että se on saatu suoraan työmaailmasta. Esimerkin muut tehtävät eli ainestodistusten määrittäminen sekä riskianalyysin tekeminen ovat perusasioita painelaitemaailmassa, mutta olisivat uusia asioita opintojakson tehtäviksi.

Havainnointijaksossa, jossa käytiin opintojakson laskutehtävät läpi, selvisi päivitettäviä/lisättäviä asioita, kuten ohjeita/apuja tehtäviin tai standardeihin. Myös muuta pienempää kuten kuvien lisäämistä tai isompana lisänä mahdollinen kaavakokoelma. Näitä asioita on otettu huomioon saaduissa esimerkkitehtävissä. Niissä ovat kuvat mukana sekä ohjeistusta tehtävän ratkaisemiseen.

Tulokset haastatteluista ja havainnointijaksoista olivat selkeitä ja hyviä. Työmaailmasta saadut esimerkit ovat erittäin hyödyllisiä ja ottavat huomioon monia tärkeitä asioita. Näiden perusteella saadaan opintojaksoa paremmin työelämään valmistavammaksi.

6 Pohdinta

Vastaavanlaista tutkimusta ei ole tehty painelaitteista. Tutkimuksessa selvinneet tärkeät asiat, lähtötiedot sekä standardien käyttö ovat painelaitteiden kirjallisuudessa, mutta niissä ei painoteta niiden tärkeyttä. Hitsauksesta löytyy paljon kirjallisuutta, mutta ei paljoa painelaitteiden suunnittelun näkökulmasta. Selvisi myös, että painelaitteet ovat suurelle osalle opiskelijoita tuntematon ja sitä opiskelleille ja työelämässä tutustuneille valtava kokonaisuus, joten sekin selittänee kirjallisuuden niukkuuden. Vaikka opintojaksolla on suuri osuus painelaitteiden lainsäädännöstä, niin on vaikea kuvitella, että se suuresti hyödyttää työelämässä, tekemällä oppii paremmin ja koulun niukka aika estää täydellisen syventymisen aiheeseen. Opintojaksolla käydään lainsäädännön jälkeen pelkkää standardeihin perustuvaa käsin laskemista mikä on työelämässä vähäistä, osan tästä ajasta voisi käyttää esimerkiksi hitsauksen opiskeluun esim. hyvän/huonon hitsin tunnistamista, hitsien tarkastuksista sekä piirustuksiin tulevista merkinnöistä. Standardien luku oli myös tärkeä asia, joka tuli ilmi haastatteluista. Opintojaksolla on paljon asiaa standardeista, mutta tarvittaisiin parempaa ohjeistusta niiden käyttöön, sillä se hyödyttäisi muidenkin suunnittelustandardien lukemista.

Työn teoriaosuus standardin EN13445-3 suunnittelu osasta on hyvin tiivistetty, sillä se on valtava kokonaisuus ja sen täysin oppiminen on mahdotonta. Vaikka keskittyisi vain suunnitteluun on kokonaiskuvaa painelaitteista hankala saada. Ehkä suurin ongelma koko painelaite suunnittelussa on vain se valtava määrä asioita mitä pitää ottaa huomioon. Sen tiivistäminen opintojaksoon koulun rajoitetussa ajassa on miltei mahdotonta sekä oikeiden kysymysten ja esimerkkitehtävien valinta on vaikeaa. Tämän tutkimuksen perusteella on nyt kuitenkin selvitetty lukuisia asioita mitä painelaitesuunnittelijan pitäisi ymmärtää/osata ja opetuksen sisällyttää, kuten esim. hitsausasiat ja materiaalivalinta.

Haastattelukysymys 12 suunnittelijan tehtävistä olisi ollut tärkeä kysymys kysyä useammaltakin. Sitä kysyttiin vain viimeisimmissä haastatteluissa, joten tulokset jäivät lyhyeksi. Kysymyksen vastausten perusteella olisi voinut rajata työtä vielä paremmin ja olisi ollut hyödyllistä tietää, että mitkä asiat tuotteen prosessista voivat olla suunnittelijan työtä. Jäi myös epäselväksi, oliko haastatteluissa ilmi tulleen WPS:n eli hitsausohjeen valitseminen/tekeminen usein suunnittelijan tehtävä. Epäselvyyden takia hitsausohjeet nopeaa mainintaa lukuun ottamatta rajattiin teoriaosuudesta pois. Sen lisäämistä voisi kuitenkin harkita opintojaksolle.

Kestävän kehityksen kannalta tämä tutkimus on tärkeä, koska halutaan saada painelaitteista ekologisia ohuilla materiaalin paksuuksilla. Ohuet materiaalit tarkoittavat pienempiä ostokuluja ja painoa, jotka pienentävät päästöjä. Tärkeää on myös suunnitella pitkäikäisiä, turvallisia ja kestäviä laitteita, jotka eivät aiheuta haittaa luonnolle, henkilöille tai omaisuudelle. Painelaitteiden suunnittelussa on muistettava huomioida konepajan laitteet, menetelmät ja esim. hitsaajien pätevyudet. Kestävän kehityksen kannalta on järkevää suunnitella käyttäen niitä materiaaleja mitä konepajasta jo valmiiksi löytyy. Tällä tavoin säästetään materiaalikustannuksissa eikä mene materiaaleja hukkaan.

Opinnäytetyön osassa 3.5 Ongelmia painelaitteiden suunnittelussa Kiwa Inspectan mukaan, mainittiin materiaalin valinnasta, jännitystason määrittämisestä ja varoitettiin muiden standardien kautta käytettävistä materiaaleja. Haastatteluista tuli ilmi samasta asiasta, että materiaalitietämystä täytyisi lisätä. Jännitystason määrittämisestä ja Kiwan mainitsemasta yhtenäistettyjen standardien käytöstä ei haastatteluista tullut mitään ilmi, mutta paljon muita ongelmia tuli ilmi, kuten hitsaukseen liittyvät asiat. Kiwa on kuitenkin akreditoitu tarkastuslaitos, joten sen kokemuksiin voidaan luottaa ja tästä syystä esimerkkitoteutuksissa käytetään vain EN-standardeja.

Eettisyyden kannalta tämä työ noudattaa hyvää tieteellistä käytäntöä sekä Jyväskylän ammattikorkeakoulun raportointiohjeita. Raportoinnissa pidettiin nimet piilossa lukuun ottamatta saatuja esimerkkitehtäviä, joihin kysyttiin lupa, että voidaanko yrityksen ja henkilöiden nimet julkaista. Haastatteluissa ei otettu ylös henkilötietoja lukuun ottamatta nimeä, työpaikkaa, painelaittekokemusta vuosissa ja työnimikettä. Haastattelujen tulokset-osioiden pidettiin anonyymina. Kerätty aineisto pidet-

tiin työn tekemisen aikana suojassa. Vain opinnäytetyön tekijällä oli pääsy aineistoon ja se hävitettiin työn valmistumisen jälkeen. Työn alussa tehty opinnäytetyösuunnitelma, jonka osana ollutta aineistohallintasuunnitelmaa noudattamalla varmistettiin työn eettisyyden onnistuminen.

Jatkossa painelaitteita pitäisi tutkia lainsäädännön puolelta, perehtyä enemmän turvallisuuteen, määräyksiin ja asetuksiin. Tässä työssä ei koskettu opintojakson painelaitelainsäädäntö osuuteen, joten sen päivittäminen ei varmasti olisi pahitteeksi. Toinen aihe mihin voisi perehtyä, vaikka opinnäytetyön muodossa ovat kaikki painelaitteiden hitsaukseen liittyvät asiat tai yleisesti niiden valmistuksesta ja tarkastuksista. Mielenkiintoista olisi myös tietää eri suunnittelukoodien eroja (esim. ASME ja EN) ja miten valmistus huomioidaan suunnittelussa näillä eri koodeilla.

6.1 Luotettavuustarkastelu

Tutkimuksen luotettavuutta lisää selkeät vastaukset haastattelu- ja tutkimuskysymyksiin. Vaikka haastatteluita olisi kaivattu lisää, niin silti haastatteluista saatiin usein samankaltaisia vastauksia, joka lisää tutkimuksen luotettavuutta reliabiliteetin kannalta tarkasteltuna. Aineiston keruun aikana tehdyissä haastatteluissa varmistettiin laadukkaat vastaukset kertomalla kysymykset etukäteen ja haastateltavilla oli usein paljon alan kokemusta. Opintojakson materiaalit tuli käytyä läpi lukuisia kertoja, jolla varmistettiin, että opintojakson epäkohdat tulivat huomatuiksi.

Validiteetin eli oikeiden asioiden tutkimisen kannalta luotettavuutta tarkasteltuna kysymykset olisivat voineet olla tarkempia, jotta esimerkkitehtäviä olisi voitu tehdä lisää. Toinen asia on myös, että työssä kehitetään oppimateriaalia, joten tietoperustaan ja haastattelukysymyksiin olisi voinut lisätä opetuksesta eli miten teknisiä ja monimutkaisia asioita kannattaisi opettaa.

Opintojakson ajan tasaisuuden varmistaminen on tehty vain yhden henkilön toimesta ja standardeihin vertaaminen on tehty silmämääräisesti, joka vähentää sen osuuden luotettavuutta tutkimuksessa. Olisi kaivattu selkeää listaa mitä muutoksia standardeissa on tapahtunut sekä tehtävien ja materiaalien havainnointiin olisi tarvittu useamman opiskelijan näkökulmia. Asioiden selkeys ja vaikeus vaihtelee eri henkilöiden mukaan. Kiinnostavaa olisi myös tietää, kuinka painelaitteiden ammattilainen pärjäisi opintojakson tehtävien kanssa. Haastattelujen alussa esiteltiin hiukan opintojaksoa haastateltaville, mutta ei esitelty tehtäviä tarkasti. Jälkeenpäin ajateltuna haastatteluihin olisi ollut hyvä saada ammattilaisten mielipiteitä tehtävistä, eli miten ne vastaavat työelämää. Olisi

ollut myös varmasti hyödyllistä saada enemmän haastateltavia ja heidän kauttansa lisää esimerkki-
tehtäviä.

Lähteet

ASME-standardit SFS-kaupassa ja SFS Onlinessa. 21.9.2023. Tietoa SFS:n verkkokaupassa. Viitattu 8.5.2024. <https://sales.sfs.fi/fi/index/tuoteuutiset/asme-standarditsfs-kaupassajasfonlinessa.html.stx>

Direktiivi EPNDir 2014/68/EU painelaitteiden asettamista saataville markkinoilla koskevan jäsenvaltioiden lainsäädännön yhdenmukaistamisesta 15.5.2014 (painelaitedirektiivi). Säädöstietopalvelu tukes.edilex. Viitattu 9.4.2024. <https://tukes.edilex.fi/fi/eu-lainsaadanto/32014L0068>

Jamk. N.d. Artikkelijamkin sivustolla. Viitattu 16.5.2024. <https://www.jamk.fi/fi/jamk>

Jamkin hallinto. N.d. Artikkelijamkin sivustolla. Viitattu 16.5.2024. <https://www.jamk.fi/fi/jamk/organisaatio/jamkin-hallinto>

Jokinen, T. 2001. Tuotekehitys. Otatieto. Viitattu 6.4.2024.

Kananen, J. 2015. Kehittämistutkimuksen kirjoittamisen opas. Jyväskylän ammattikorkeakoulun julkaisuja-sarja. Viitattu 27.3.2024.

Kivioja, S. 2009. Konetekniikka. 7. p. Helsinki: Gaudeamus.

Mitä standardi tarkoittaa? N.d. Artikkelijamkin sivustolla. Viitattu 12.4.2024. <https://sfs.fi/standardeista/mika-on-standardi/>

MODUULI G: YKSIKKÖKOHTAISEEN TARKASTUKSEEN PERUSTUVA VAATIMUSTENMUKAISUUS. N.d. Inspecta Tarkastus Oy:n moduuli G:n ohje. Viitattu 10.8.2024. <https://www.kiwa.com/4954de/globalassets/finland/pdf-tiedostoja/ohje-ped-moduuli-g.pdf>

Painelaitteiden suunnittelu, valmistus ja vaatimustenmukaisuuden arviointi. N.d. Artikkelijamkin nettisivuilla. Viitattu 8.4.2024. <https://tukes.fi/tietoa-tukesista/materiaalit/painelaitteet/painelaitteiden-suunnittelu-valmistus-ja-vaatimustenmukaisuuden-arviointi#painelaitteiden-ja-laitekokonaisuuksien-suunnittelu-ja-valmistus-seka-vaatimustenmukaisuuden-arviointi>

SFS – standardoinnin keskusjärjestö Suomessa. N.d. Artikkelijamkin sivustolla. Viitattu 12.4.2024. <https://sfs.fi/sfs-ry/meista/>

SFS-EN 10204. Metallituotteiden ainestodistukset. Suomen Standardisoimisliitto SFS. Vahvistettu 21.12.2004. Viitattu 10.9.2024. <https://janet.finna.fi/>, SFS Online.

SFS-EN 13445-1:2021 Lämmittämättömät painesäiliöt. Osa 1: Yleistä. Suomen Standardisoimisliitto SFS. Vahvistettu 21.5.2021. Viitattu 2.10.2024. <https://janet.finna.fi/>, SFS Online.

SFS-EN 13445-3:2021 Lämmittämättömät painesäiliöt. Osa 3: Suunnittelu. Suomen Standardisoimisliitto SFS. Vahvistettu 21.5.2021. Viitattu 2.10.2024. <https://janet.finna.fi/>, SFS Online.

SFS-EN 13445-3:2021: Unfired pressure vessels. Part 3: Design. Suomen Standardisoimisliitto SFS. Vahvistettu 21.5.2021. Viitattu 21.5.2024. <https://janet.finna.fi/>, SFS Online.

SFS-EN 13445-5:2021. Lämmittämättömät painesäiliöt. Osa 5: Tarkastus ja testaus. Suomen Standardisoimisliitto SFS. Vahvistettu 21.5.2021. Viitattu 2.10.2024. <https://janet.finna.fi/>, SFS Online.

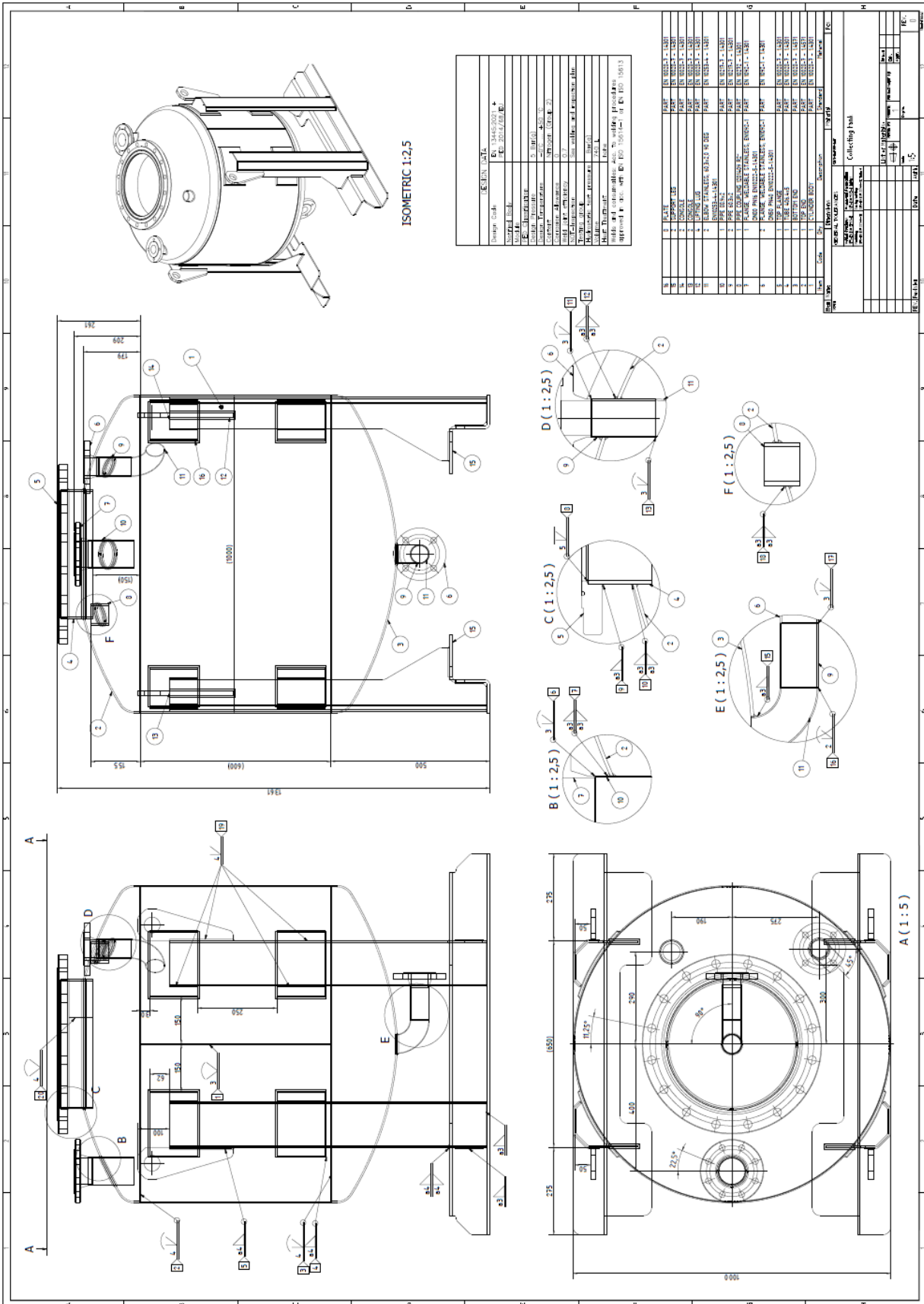
Säädöstyypit. N.d. Euroopan unionin virallisen verkkosivuston julkaisu. Viitattu 9.4.2024. https://european-union.europa.eu/institutions-law-budget/law/types-legislation_fi

Tukesin hyväksymät tarkastuslaitokset. N.d. Turvallisuus- ja kemikaalivirasto. Viitattu 6.4.2023. <https://tukes.fi/teollisuus/tarkastuslaitokset/tukesin-hyvaksymat-tarkastuslaitokset>

Valtioneuvoston termit selitettynä. N.d. Valtioneuvoston nettisivuston julkaisu. Viitattu 9.4.2024. <https://valtioneuvosto.fi/tietoa/valtioneuvoston-termit>

Liitteet

Liite 1. Piirustus ja lähtötiedot esimerkkit tehtävään 2



Liite 2. Visual Vessel Designin lieriön paksuuden ratkaisu esimerkkitehtävään 2

EN13445:2014 Issue 5+A8:2019 - 7.4.2 CYLINDRICAL SHELL
S1.1 L188731 pos1 03 Apr. 2024 13:33

INPUT DATA

COMPONENT ATTACHMENT/LOCATION

GENERAL DESIGN DATA

PRESSURE LOADING: Design Component for Internal Pressure Only

PROCESS CARD:

General Design Data : Temp= 50°C, P=0.5000 MPa, c=0.0 mm, Pext=0.0000 MPa
SPECIFIC DENSITY OF OPERATING LIQUID.....:SG 0.00
LIQUID HEAD.....:LH 0.00 mm

SHELL DATA

CYLINDER FABRICATION: Plate Material

WELD JOINT COEFFICIENT: Testing Group 4 (z=0.7)

DIAMETER INPUT: Base Design on Shell Outside Diameter

EN 10028-7:2016, 1.4301 X5CrNi18-10 C=Cold Rolled Strip, HT: THK<=8mm 50'C,A>=35%
Rm=540 Rp=260 Rpt=234.13 f=168.75 f20=180 ftest=270 E=197420(N/mm2) ro=7.93

OUTSIDE DIAMETER OF SHELL.....:De 1000.00 mm

LENGTH OF CYLINDRICAL PART OF SHELL.....:Lcyl 600.00 mm

NOMINAL WALL THICKNESS (uncorroded).....:en 4.0000 mm

NEGATIVE TOLERANCE/THINNING ALLOWANCE.....:th 0.3000 mm

Split shell into several shell courses and include welding information: NO

WELDING REQUIREMENTS TO EN 1708-1:2010

Comment(Optional):

Type of welded connection: Not Applicable

CALCULATION DATA

7.4.2 - CYLINDRICAL SHELLS UNDER INTERNAL PRESSURE

Required Minimum Shell Thickness Excl.Allow. emin :

$$emin = De * P / (2 * f * z + P)$$

$$=1000*0.5 / (2*168.75*0.7+0.5)=$$

$$(7.4-2) \\ \underline{2.1119 \text{ mm}}$$

Required Minimum Shell Thickness Incl.Allow. :

$$emina = emin + c + NegDev =2.11+0+0.3=$$

$$\underline{\underline{2.4119 \text{ mm}}}$$

Analysis Thickness

$$ea = en - c - NegDev =4-0-0.3=$$

$$\underline{\underline{3.7000 \text{ mm}}}$$

»7.4.1 Cond.of Applicability $emin/De=0.0021 \leq 0.16$ » OK«

Internal Pressure $emina=2.41 \leq en=4[\text{mm}]$

60.2%

OK