



SAVONIA

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

KORVAKKEEN MITOITUS JA SUUNNITTELU EUROCODE 3 - STANDARDIN MUKAAN

ANDRITZ Oy, Varkaus

TEKIJÄ/T:

Ari Nenonen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Tutkinto-ohjelma Konetekniikan tutkinto-ohjelma	
Työn tekijä(t) Ari Nenonen	
Työn nimi Korvakkeen mitoitus ja suunnittelu eurocode 3 standardin mukaan	
Päiväys 15.5.2022	Sivumäärä/Liitteet 25/4
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Andritz Oy	
Tiivistelmä Työ suoritettiin Andritz oy:lle keväällä 2022. Työn tarkoituksena oli mitoittaa ja suunnitella soodakattilan korvake, joka osaltaan ottaa vastaan kattilassa tapahtuvia paineen muutoksia. Työn lähtökohtana käytettiin jo olemassa olevaa korvaketta, jonka kestävyudessa oli havaittu ongelmia. Uusi korvake suunniteltiin Eurocode 3 -standardin mukaiseksi, suunnittelussa käytettiin apuna Solidworks-ohjelmistoa 3d-mallinnukseen ja Ansys-simulointiohjelmistoa korvakkeen kestävyuden määrittämiseen. Suunnittelussa otettiin huomioon ensisijaisesti korvakkeen kestävyys, mutta myös hyvä valmistettavuus oli määräävä tekijä valintoja tehdessä. Työn tulokseksi saatiin reunaehtoihin sopiva korvake. Korvakkeeseen kohdistuvat voimat olivat todella suuria, joten lopputulokseen pääsemiseksi tarvittiin monia toistoja ja korjauksia suunniteltavaan korvakkeeseen.	
Avainsanat soodakattila, eurocode 3	

Field of Study Technology, Communication and Transport	
Degree Programme Degree Programme in Mechanical Engineering	
Author(s) Ari Nenonen	
Title of Thesis Dimensioning and design of fastener according to eurocode 3 standard	
Date 15 May 2022	Pages/Appendices 25/4
Client Organisation /Partners Andritz Oy	
<p>Abstract</p> <p>The work was carried out for Andritz Oy in spring 2022. The purpose of the work was to dimension and design a fastener to help absorb changes in the pressure of the soda boiler. The starting point for the work was an existing bracket, the durability of which had been found to be problematic.</p> <p>The new fastener was designed to comply with Eurocode 3 standard. Solidworks software was used for 3d modelling and Ansys simulation software was used to determine the durability of the fastener. In the design primarily the durability of the fastener was taken into account, but good manufacturability was also a determining factor in making the choices.</p> <p>The result of the work was a fastener that met the requirements. The forces applied to the fastener were really high which required many repetitions and corrections to the fastener to reach the desired end result.</p>	
<p>Keywords</p> <p>recovery boiler, eurocode 3</p>	

ESIPUHE

Tämä opinnäytetyö tehtiin varkaudessa Andritz Oy:lle kevään 2022 aikana. Haluan erityisesti kiittää opinnäytetyön ohjaajiani, Andritz Oy:n Tero Nokkaa ja Savonia-AMK:n Simo Mäkistä ja Mikko Nissistä. Lisäksi kiitokset Savonia-AMK:n opettajille koulun aikana saamastani opetuksesta ja luokkatovereilleni mukavasta opiskelujasta.

Varkaudessa 15.5.2022

Ari Nenonen

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	6
2	TAUSTATIEDOT	7
2.1	Andritz Oy	7
2.2	Savonia	7
3	SOODAKATTILA	8
3.1	Soodakattila osana sellun valmistuksessa	8
3.2	Soodakattila	9
4	EUROCODE 3	10
5	TEORIA	11
5.1	Kattilan sisäisen paineen vaikutus palkistoon	11
5.2	Niveltapillisen rakenneosan geometriset mittavaatimukset	12
5.3	Niveltappiliitos	12
5.4	Hitsausliitoksen mitoitus	13
5.5	Elementtimenetelmän käyttö mitoituksessa	15
5.6	Lämpötilan vaikutus teräksen mekaanisiin ominaisuuksiin	15
6	TULOKSET	17
6.1	Soodakattilan sisäisen paineen aiheuttamat voimat palkistoon	17
6.2	Niveltappiliitos	17
6.3	Niveltapillisen rakenneosan geometriset mittavaatimukset	17
6.4	3D-malli	17
6.5	FEM-Laskenta	17
6.6	Hitsausliitos	18
7	PIIRUSTUKSET	20
8	YHTEENVETO	22
	LÄHTEET	23
	LIITE 1: PAINEEN AIHEUTTAMAT VOIMAT PALKISTOSSA	24
	LIITE 2: NIVELTAPPILIITOKSEN MITOITUS	25
	LIITE 3: HITSALIITOKSEN MITOITTAMINEN	26
	LIITE 4: MUUTTUIJEN VAIKUTUS JÄNNITYKSIIN	27

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö käsittelee korvakkeen suunnittelua ja mitoitusta Eurocode 3 standardin mukaan. Korvake, joka suunnitellaan, on soodakattilan palkiston ja kammion välissä oleva korvake, joka ottaa vastaan kattilan sisällä tapahtuvan paineenvaihtelun aiheuttamat voimat sivuseinän palkistoon. Korvakkeen kestävyudessa oli havaittu ongelmia ja jonka takia korvake oli suunniteltava uudelleen. Korvaketta käytetään monen kokoisessa soodakattilassa ja näin ollen korvakkeeseen kohdistuvat voimat vaihtelee hyvin paljon riippuen minkä kokoisessa soodakattilassa se sijaitsee. Uusi korvake suunnitellaan tähän asti isoimmalle soodakattilalle, joten sitä voidaan käyttää pienemmissäkin kattiloissa, tämä vakioiminen tuo kustannustehokkuutta ja toimintavarmuutta.

Osa opinnäytetyön tiedoista ja dokumenteista on poistettu opinnäytetyön julkaistavasta versiosta, koska ne sisälsivät salassa pidettäviä tietoja.

2 TAUSTATIEDOT

2.1 Andritz Oy

ANDRITZ Oy on yksi maailman johtavista sellu- ja paperiteollisuuden järjestelmien, laitteiden ja palveluiden toimittajista. Sen tuotealueita ovat puunkäsittely, massankäsittely, kuituprosessit ja kemikaalien talteenotto. ANDRITZ Oy tarjoaa myös erilaisia biomassakattiloita ja kaasutuslaitoksia energian tuotantoon. ANDRITZ Oy:n päätoimipaikkana on Helsinki ja sillä on kuusi sivutoimipaikkaa, jotka sijaitsevat Varkaudessa, Kotkassa, Lahdessa, Lappeenrannassa, Savonlinnassa ja Tampereella. ANDRITZ Oy:llä on myös neljä tytäryhtiötä, Varkaudessa toimiva ANDRITZ Warkaus works Oy, Savonlinnassa toimiva ANDRITZ Savonlinna Works Oy, Tampereella sijaitseva ANDRITZ Hydro Oy ja Keravalla toimiva ANDRITZ Fabrics and Rolls Oy. ANDRITZ Oy:n hallituksen puheenjohtajana toimii Wolfgang Leither ja toimitusjohtajana Kari Pekka Tuominen. (Andritz Oy, 2022)

2.2 Savonia

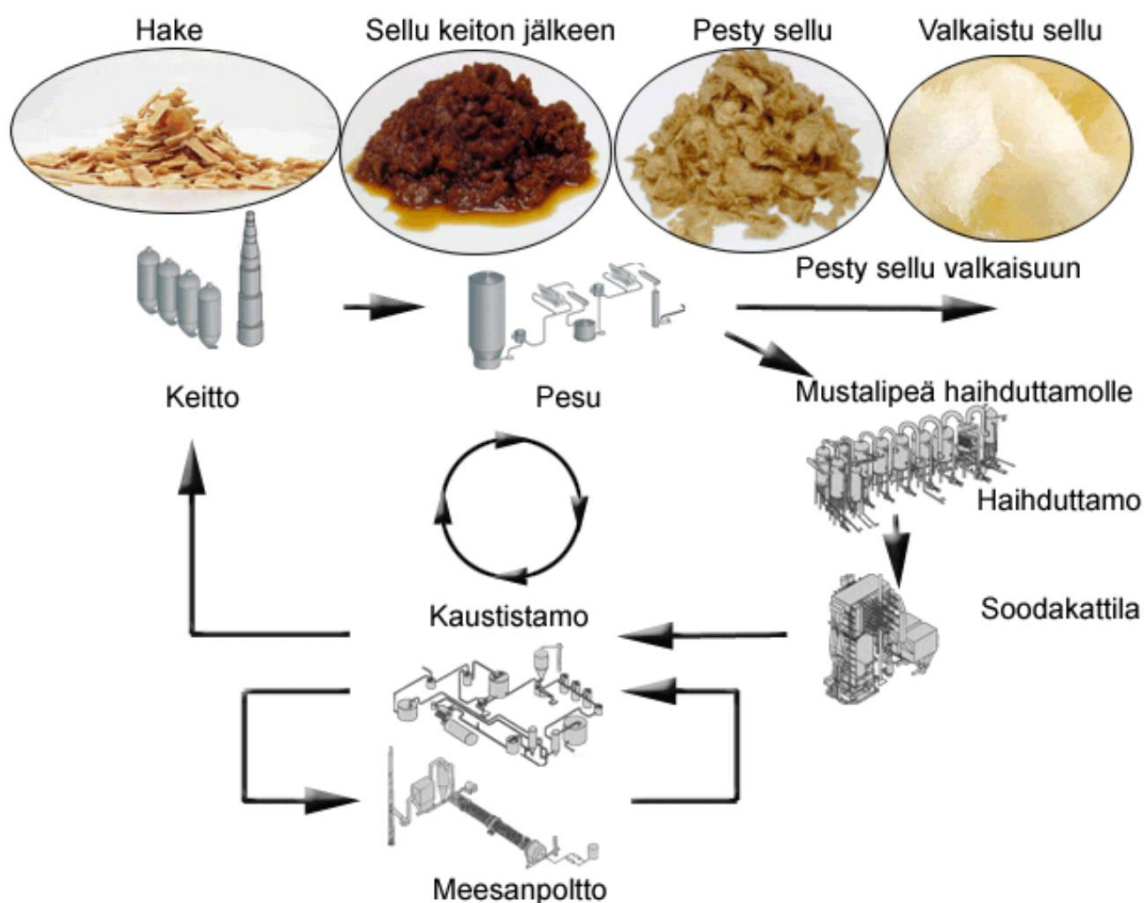
Savonia kuuluu suomen suurimpiin ja monipuolisimpiin ammattikorkeakouluihin, joka kouluttaa kaudelta eri koulutusaloilta vahvoja osaajia. Koulutusaloina ovat, liiketalouden ala, luonnonvara-ala, matkailu- ja ravitsemusala, sosiaali- ja terveysala, tekniikan ala sekä muotoilu, musiikki ja tanssi. Savonian kampukset sijaitsevat Kuopiossa, Iisalmessa ja varkaudessa, joissa opiskelee yli 7000 opiskelijaa, työntekijöitä Savonialla on noin 570. Savonialla opiskelu on joustavaa, joten se mahdollistaa hyvin töiden ohessa opiskelunkin tai työssä olevan henkilön osaamisen uudistamisenkin. (Savonia-ammattikorkeakoulu, 2022)

3 SOODAKATTILA

3.1 Soodakattila osana sellun valmistuksessa

Soodakattilalla on tärkeä tehtävä sellun valmistuksessa keittokemikaalien kierrätyksessä, jo sellun valmistuksen alkuvaiheissa kemikaaleja ruvettiin kierrättämään mustalipeästä takaisin prosessiin.

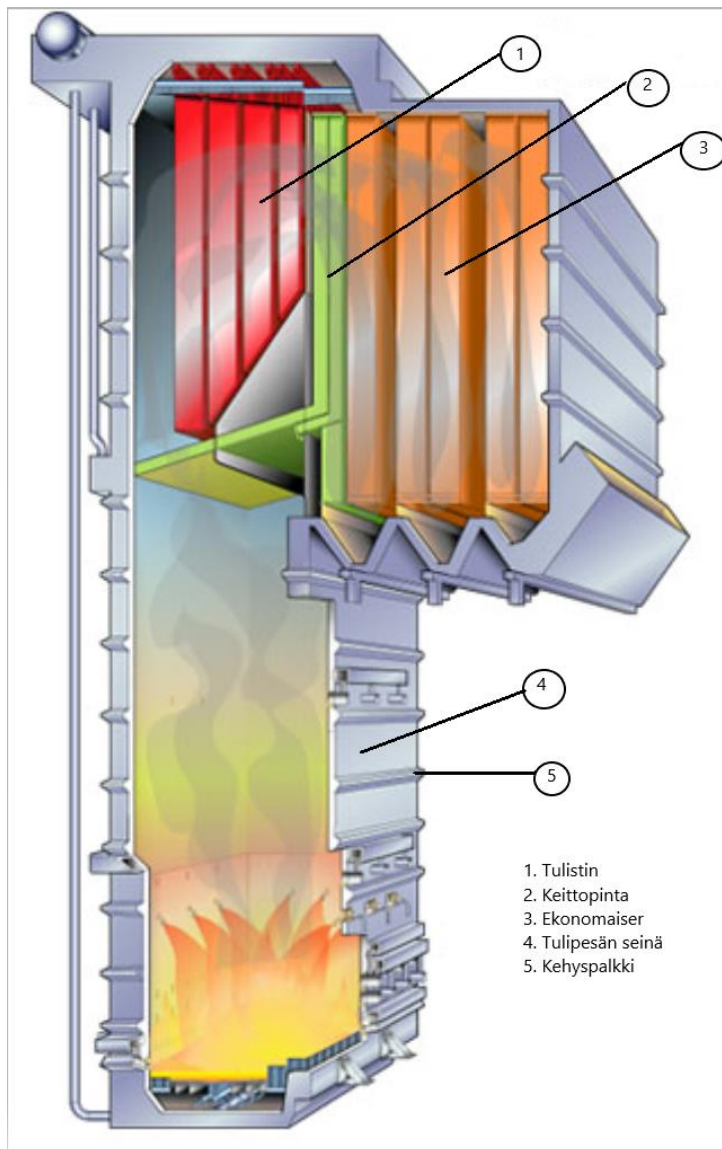
Mustalipeä syntyy sellun keittovaiheessa valkolipeän reagoidessa puun kanssa. Mustalipeä on nimensä mukaisesti mustaa ja sisältää puun ligniiniä ja keitossa käytettyjä kemikaaleja. Mustalipeä erotellaan sellusta pesuvaiheessa, jonka jälkeen siitä haihdutetaan ylimääräinen vesi pois. Haihduttamisen jälkeen mustalipeä on valmis poltettavaksi soodakattilassa. Soodakattilassa mustalipeästä poltetaan orgaaninen aines pois ja jäljelle jää rikki ja natrium, rikki pelkistyy prosessissa natriumsulfidiksi, osa rikkistä jää pelkistymättä ja jää natriumsulfaatiksi. Natrium reagoi poltossa myös hiilidioksidin kanssa, josta reaktiosta syntyy natriumkarbonaattia. Nämä yhdisteet valutetaan soodakattilan tulipesästä ulos sulakourujen kautta, tähän kemikaalisulaan liuotetaan laihavalkolipeää, jolloin syntyy viherlipesää, joka johdetaan edelleen prosessoitavaksi muotoon, jota voidaan käyttää prosessin alkuvaiheissa. Kuvassa (kuva 1) esitettynä sellun teon vaiheet ja lipeän kierto prosessissa. (Knowpulp, 2022)



KUVA 1. Lipeän kierto sellun teossa. (Knowpulp, 2022)

3.2 Soodakattila

Soodakattilalla on edellisen kemikaalien talteenoton lisäksi myös toinen tehtävä, joka on mustalipeän palamisessa syntyneen lämpöenergian taltioiminen. Lämpö otetaan talteen soodakattilan vesi/höyry järjestelmällä, (kuva 2) joka koostuu karkeasti seinäputkista, tulistimista, keittopinnasta ja syöttöveden esilämmittimistä eli ekonomaisereista.

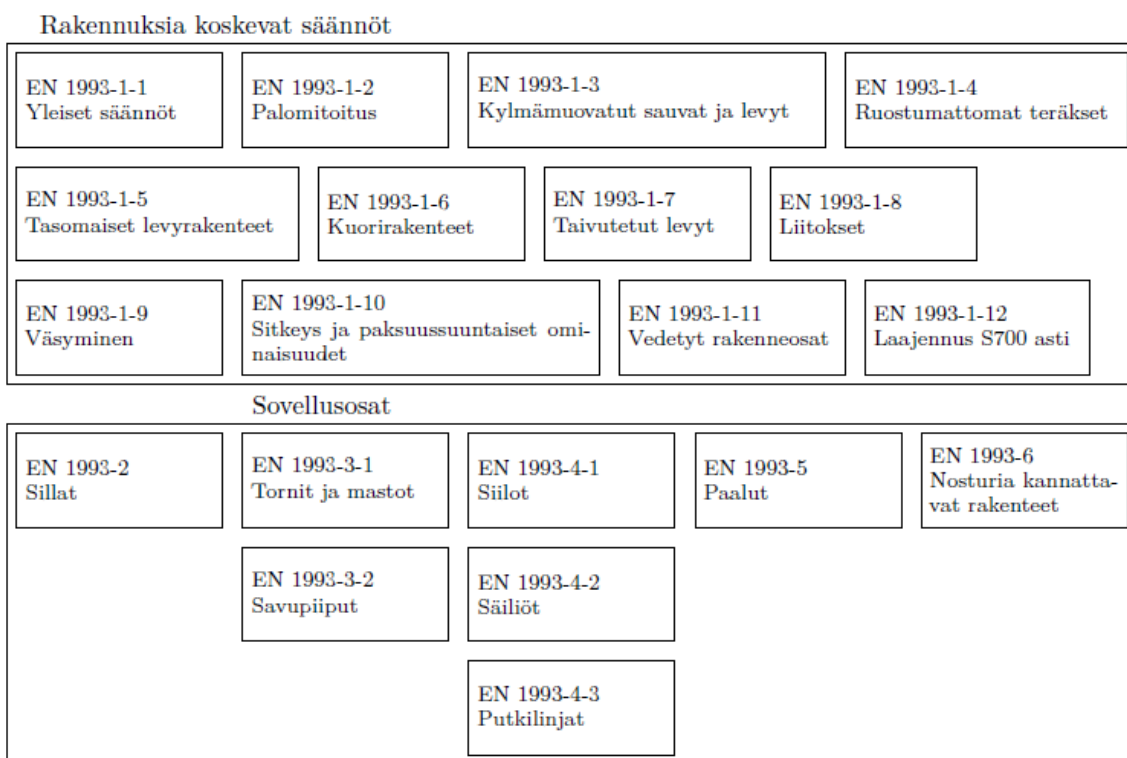


KUVA 2. Soodakattila. (Knowpulp, muokattu Nenonen)

Kuvassa (kuva 2) näkyvät myös kehyspalkit, jotka pitävät kattilan tulipesän muodossaan. Kattilan sisällä tapahtuvilta painevaihteluilta, painevaihtelua syntyy kattilassa tapahtuvan lipeän polttamisen seurauksena. (Knowpulp, 2022)

4 EUROCODE 3

Eurocode järjestelmä kehitettiin rakennusteollisuuden kilpailukyvyn parantamiseksi Euroopassa. Siitä on ajan myötä tullut tasavertainen kilpailija amerikkalaisille standardijärjestelmille. Eurocode on levinnyt hyvin ympäri maailmaa, lukuun ottamatta Pohjois-Amerikkaa. Se helpottaa kansainvälistä yhteistyötä. Eri alueiden erilaisien olosuhteitten takia Eurocode järjestelmään on luotu kansallisia liitteitä täydentämään standardia, jotta siitä saadaan luotettavampi. Standardisarjan SFS-EN 1993 (Eurocode 3) rakenne on esitetty kuvassa kolme (kuva 3). Standardi koostuu kuudesta pääosasta, jotka käsittelevät rakennusten teräsrakenteita, siltoja, mastoja ja savupiippuja, silloja, säiliöitä ja putkilinjoja, paaluja sekä nostureita kannattavia rakenteita (Teräsrakenteiden suunnittelu ja mitoitus, 2020)



KUVA 3. Standardisarjan EN 1993 rakenne (SFS-EN 1993, 2006)

Tässä työssä käsitellään standardin kohtaa EN 1993-1 ja sieltä etenkin kohtia EN 1993-1-1:Yleiset säännöt, EN 1993-1-5:Tasomaiset levyrakenteet ja EN 1993-1-8:Liitokset.

5 TEORIA

5.1 Kattilan sisäisen paineen vaikutus palkistoon

Paineen määritelmä:

$$p = \frac{F}{A} \quad (1)$$

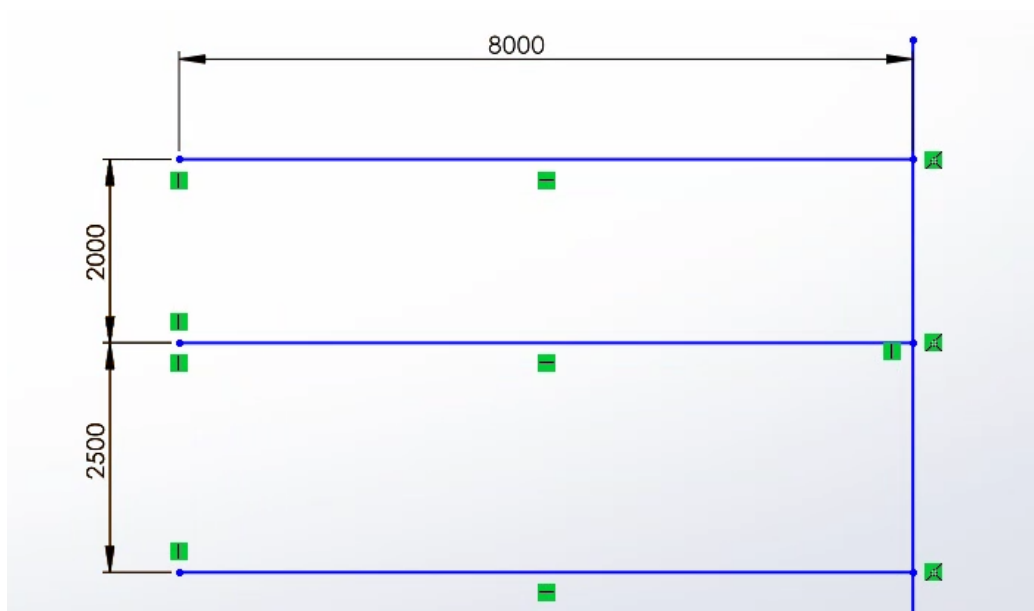
missä:

p = paine, $[p] = \text{Pa} = \text{N} / \text{m}^2$

F = voima, $[F] = \text{N}$

A = pinta-ala, $[A] = \text{m}^2$

(Tekniikan KAAVASTO, 2018)



KUVA 4. Palkisto. (Nenonen)

Esimerkiksi kuvan (kuva 4) keskimmäiseen poikkipalkkiin kohdistuva voima F kattilan sisäisen paineen ollessa 3 kPa on:

$$p = \frac{F}{A} \Rightarrow \quad (2)$$

$$F = A * p \quad (3)$$

sijoitus:

$$F = 9 \text{ m} * \left(\frac{2 \text{ m}}{2} + \frac{2,5 \text{ m}}{2} \right) * 3000 \text{ Pa} = 60750 \text{ N} \quad (4)$$

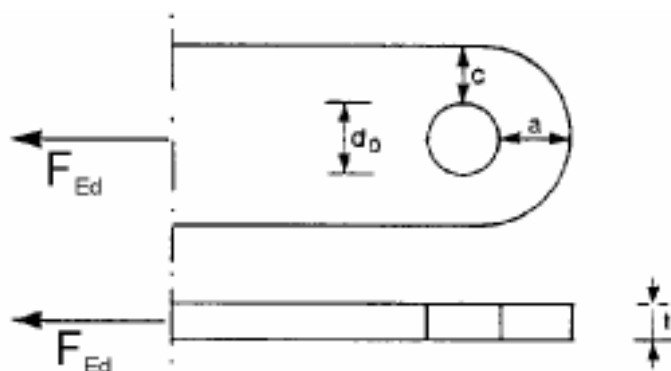
Laskennassa oletetaan, että kappaleet ovat jäykkiä ja siinä sovelletaan jäykänkappaleen tasapainoyhtälöitä, poikittaisten voimien summa, pystysuuntaisten voimien summa ja momenttien summa missä tahansa pisteessä kappaletta on nolla.

5.2 Nivelteapillisen rakenneosan geometriset mittavaatimukset

Nivelteapilla kiinniolevien rakenneosien geometria lasketaan kaavoja (5) ja (6) mukaan, joiden tulokset kertovat kuvan (Kuva 5) mitat a ja c . Nivelteapin paikallaan pysyminen varmistettava, mikäli on olemassa riski, jotta se irtoaa.

$$a \geq \frac{F_{Ed} \gamma_{m0}}{2t f_y} + \frac{2d_0}{3} \quad (5)$$

$$c \geq \frac{F_{Ed} \gamma_{m0}}{2t f_y} + \frac{d_0}{3} \quad (6)$$



KUVA 5. Nivelteapillisen rakenneosan geometriset mittavaatimukset (SFS-EN 1993-1-8, 2006)

5.3 Nivelteapiliitos

Nivelteapiliitoksissa oletetaan, että liitettävät osat tukeutuvat nivelteappiin nivelellisesti, levyn ja nivelteapin välisistä tukireaktioista aiheutuvat voimat jakautuvat tasaiseksi kuormaksi kontaktipinnoille. Nivelteappien, jotka ovat umpinaisia ja pyöreitä, suunnitteluvaatimukset esitetään taulukossa (taulukko 1).

Murtumismuoto	Mitoitusvaatimukset
Niveltapin leikkauskestävyys	$F_{v,Rd} = 0,6 A f_{up} l / \gamma_{M2} \geq F_{v,Ed}$
Levyn ja niveltapin reunapuristus	$F_{b,Rd} = 1,5 t d f_y l / \gamma_{M0} \geq F_{b,Ed}$
Tämän vaatimukset tulee myös olla voimassa, kun niveltapin tulee olla vaihdettavissa.	$F_{b,Rd,ser} = 0,6 t d f_y l / \gamma_{M6,ser} \geq F_{b,Ed,ser}$
Niveltapin taivutuskestävyys	$M_{Rd} = 1,5 W_{et} f_{yp} l / \gamma_{M0} \geq M_{Ed}$
Tämän vaatimukset tulee myös olla voimassa, kun niveltapin tulee olla vaihdettavissa.	$M_{Rd,ser} = 0,8 W_{et} f_{yp} l / \gamma_{M6,ser} \geq M_{Ed,ser}$
Niveltapin yhdistetty leikkaus- ja taivutuskestävyys	$\left[\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \right]^2 + \left[\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \right]^2 \leq 1$

TAULUKKO 1. Niveltappiliitoksen mitoitusvaatimukset. (SFS-EN 1993-1-8, 2006)

Mikäli niveltappi on suunniteltu vaihdettavaksi, tulee edellä olevien vaatimusten lisäksi kosketuspaineen täyttää seuraava ehto.

$$\sigma_{h,Ed} \leq f_{h,Rd} \quad (7)$$

missä:

$$\sigma_{h,Ed} = 0,591 \sqrt{\frac{E F_{Ed,ser} (d_0 - d)}{d^2 t}} \quad (8)$$

$$f_{h,Rd} = 2,5 f_y / \gamma_{M6,ser} \quad (9)$$

(SFS-EN 1993-1-8, 2006)

5.4 Hitsausliitoksen mitoitus

Hitsausliitos (piena) voidaan olettaa kestäväksi, jos kaikkien voimien summa yksikköpituutta kohden hitsin jokaisessa pisteessä sen koko pituudella täyttää ehdon:

$$F_{w,Rd} \leq F_{w,Ed} \quad (10)$$

missä:

$F_{w,Ed}$ on voiman mitoitusarvo hitsin pituusyksikköä kohti;

$F_{w,Rd}$ on kestävyysmitoitussarvo pituusyksikköä kohti.

Hitsin kestävyysmitoitussarvo pituusyksikköä kohti, huolimatta laskentapoikkipinnan suunnasta lasketaan kaavasta:

$$F_{w,Rd} = f_{vw,d} a \quad (11)$$

missä:

$$f_{vw,d} = \frac{f_u / \sqrt{3}}{\beta_w \gamma_{M2}} \quad (12)$$

missä:

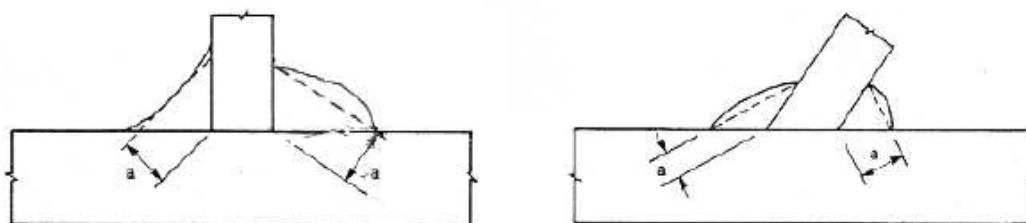
β_w :n arvo valikoidaan taulukosta (taulukko 2);

f_u on vetomurtolujuuden nimellisarvo, heikoimmasta liitettävästä osasta.

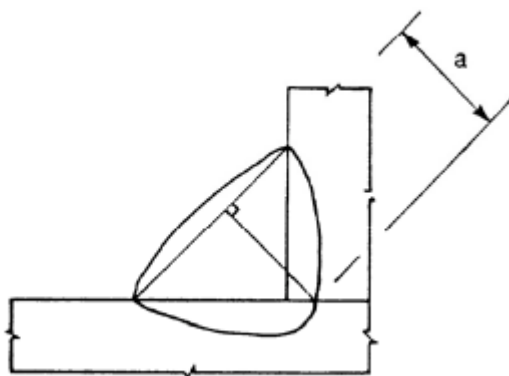
Standardi ja teräslaji			Korrelaatiokerroin β_w
EN 10025	EN 10210	EN 10219	
S 235 S 235 W	S 235 H	S 235 H	0,8
S 275 S 275 N/NL S 275 M/ML	S 275 H S 275 NH/NLH	S 275 H S 275 NH/NLH S 275 MH/MLH	0,85
S 355 S 355 N/NL S 355 M/ML S 355 W	S 355 H S 355 NH/NLH	S 355 H S 355 NH/NLH S 355 MH/MLH	0,9
S 420 N/NL S 420 M/ML		S 420 MH/MLH	1,0
S 460 N/NL S 460 M/ML S 460 Q/QL/QL1	S 460 NH/NLH	S 460 NH/NLH S 460 MH/MLH	1,0

TAULUKKO 2. Pienahitsien korrelaatiokerroin β_w (SFS-EN 1993-1-8, 2006)

Efektiiivinen a-mitta määritellään piirtämällä suurin mahdollinen kolmio hitsin railon ja pinnan sisälle, tästä kolmiosta mitataan ulointa sivua kohtisuoraan kolmion suurin korkeus. Kuvassa (kuva 6) mitattu erinäköisten pienojen a-mittoja. Tunkeumaa voidaan hyödyntää (kuva 7) mikäli ennalta tehdyin kokein voidaan osoittaa, että tunkeuma saavutetaan säännönmukaisesti. (Teräsrakenteiden suunnittelu ja mitoitus, 2020)



KUVA 6. Pienahitsin a-mitta. (Teräsrakenteiden suunnittelu ja mitoitus, 2020))



KUVA 7. Pienahitsin a-mitta, jossa tunkeuma. (Teräsrakenteiden suunnittelu ja mitoitus, 2020))

5.5 Elementtimenetelmän käyttö mitoituksessa

Yleensä vähänkin mutkikkaampien rakenteiden analyysi tehdään numeerisia menetelmiä käyttäen, joista eniten käytetty on elementtimenetelmä (finite element method, FEM). Eurocode standardissa SFS-EN 1993-1-5, annetaan ohjeita levyrakenteiden FEM-laskentaan, samoja ohjeita voidaan soveltaa myös kehärakenteiden analysointiin. FEM-analyysiä käytetään kahdessa eri tarkoituksessa, rakenneanalyysin suorittamiseen ja rakenteen kantokyvyn määrittämiseen.

Elementtimenetelmällä määritettäessä rakenteen kantokykyä, se vastaa rakenteen mitoitusta. Rakenteen kantokyky mitoitetaan murtorajatilassa, jossa kaikki kuormat kerrotaan suurennuskertoimella a_u , jotta saavutetaan rakenteen kantokyky. Suurennuskerroin a_u koostuu kahdesta osasta, FEM-mallin mallinnusepäätarkkuudesta a_1 ja arvosta a_2 , joka kattaa kestävyyttä ja kuormia kuvaavien mallien hajonnan. a_2 arvo on joko γ_{M1} tai γ_{M2} riippuen määräkö rakenteen stabiilius vai murtuminen.

Seuraaviin asioihin on otettava erityisesti huomiota käytettäessä FEM-analyysiä rakenneanalyysinä:

- soveltuvan ohjelman valinta
- mallinnusepäätarkkuuksien huomioiminen
- reunaehtojen mallinnus
- kuormien mallinnus
- materiaaliominaisuuksien mallinnus
- osavarmuuslukujen sovellus
- rajatilaehtojen mallinnus
- tulosten suuruusluokan tarkistus käsin laskennalla

Tuloksiin vaikuttavat myös käytetyt elementit ja elementtiverkon tiheys. Saadut tulokset tulevat olla varmalla puolella kuormien, tukien ja rajapintojen reunaehdot tulee valita sitä silmällä pitäen. (Teräsrakenteiden suunnittelu ja mitoitus, 2020)

5.6 Lämpötilan vaikutus teräksen mekaanisiin ominaisuuksiin

Teräksen lämpötila vaikuttaa sen mekaanisiin ominaisuuksiin, mikä on otettava huomioon laskelmissa. Teräksen mekaanisia ominaisuuksia ovat, lujuus, kimmokerroin sekä jännitys-muodonmuutosyhteys. Nämä ominaisuudet vaikuttavat rakenteen kantavuuteen. (Teräsrakenteiden suunnittelu ja mitoitus, 2020)

Työssä on käytetty laskelmissa ja FEM-analyysien tulkitsemisessa suunnittelulämpötiloja vastaavia teräksien mekaanisia ominaisuuksia. Taulukossa (taulukko 3) on esitetty lämpötilan vaikutusta venymisrajan vähimmäisarvoon yleisillä painelaiteteräksillä.

Teräslaji		Nimellis- paksuus ^b <i>t</i> mm	0,2 % -venymisrajan vähimmäisarvo $R_{p0,2}$ MPa lämpötilassa °C									
Nimike	Numero- tunnus		50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
P235GH	1.0345	≤ 16	227	214	198	182	167	153	142	133	-	-
		$16 < t \leq 40$	218	205	190	174	160	147	136	128	-	-
		$40 < t \leq 60$	208	196	181	167	153	140	130	122	-	-
		$60 < t \leq 100$	193	182	169	155	142	130	121	114	-	-
		$100 < t \leq 150$	179	168	156	143	131	121	112	105	-	-
		$150 < t \leq 250$	164	155	143	132	121	111	103	97	-	-
P265GH	1.0425	≤ 16	256	241	223	205	188	173	160	150	-	-
		$16 < t \leq 40$	247	232	215	197	181	166	154	145	-	-
		$40 < t \leq 60$	237	223	206	190	174	160	148	139	-	-
		$60 < t \leq 100$	208	196	181	167	153	140	130	122	-	-
		$100 < t \leq 150$	193	182	169	155	142	130	121	114	-	-
		$150 < t \leq 250$	179	168	156	143	131	121	112	105	-	-
P295GH	1.0481	≤ 16	285	268	249	228	209	192	178	167	-	-
		$16 < t \leq 40$	280	264	244	225	206	189	175	165	-	-
		$40 < t \leq 60$	276	259	240	221	202	186	172	162	-	-
		$60 < t \leq 100$	251	237	219	201	184	170	157	148	-	-
		$100 < t \leq 150$	227	214	198	182	167	153	142	133	-	-
		$150 < t \leq 250$	213	200	185	170	156	144	133	125	-	-
P355GH	1.0473	≤ 16	343	323	299	275	252	232	214	202	-	-
		$16 < t \leq 40$	334	314	291	267	245	225	208	196	-	-
		$40 < t \leq 60$	324	305	282	259	238	219	202	190	-	-
		$60 < t \leq 100$	305	287	265	244	224	206	190	179	-	-
		$100 < t \leq 150$	285	268	249	228	209	192	178	167	-	-
		$150 < t \leq 250$	271	255	236	217	199	183	169	159	-	-

TAULUKKO 3. Lämpötilan vaikutus 0,2 % venymisrajaan. (SFS-EN 10028-2)

6 TULOKSET

6.1 Soodakattilan sisäisen paineen aiheuttamat voimat palkistoon

Ennen kuin itse korvallista voitiin ruveta mitoittamaan, oli korvalliseen kohdistuvat voimat selvitetävä. Voimien laskentaa varten tehtiin Excel laskentataulukko (liite 1), kohdan 5.1 mukaan. Laskennassa saatiin selville, että korvalliseen kohdistuu kaksi voimaa suuruuksiltaan +-167 kN ja +-722 kN. Laskennassa oletettiin, että kappaleet ovat jäykkiä ja niihin pätee jäykän kappaleen tasapaino ehdot.

6.2 Nivel tappiliitos

Liitokseen vaikuttavien voimien selvittyä voitiin ruveta mitoittamaan itse korvallista, korvallisen mitoittaminen suoritettiin osissa, joista ensimmäinen oli korvalliseen tulevan nivel tappiliitoksen mitoitus. Korvalliseen tulee kaksi nivel tappia, joiden välittämät voimat ovat aiemmin mainitut 167 kN ja 722 kN. Laskennassa (liite 2) saatiin selville, että nivel tappien tulee olla 85 mm ja 50 mm paksut ja materiaali arvoiltaan S460 terästä vastaavaa, jotta liitos kestää. Laskenta suoritettiin kohdan 5.3 mukaan. Nivel tappiliitoksen mitoituksessa määriteltiin jo vetosauvan ja korvallisen paksuudet, joita käytetään mitoituksen myöhemmissä vaiheissa.

6.3 Nivel tappillisen rakenneosan geometriset mittavaatimukset

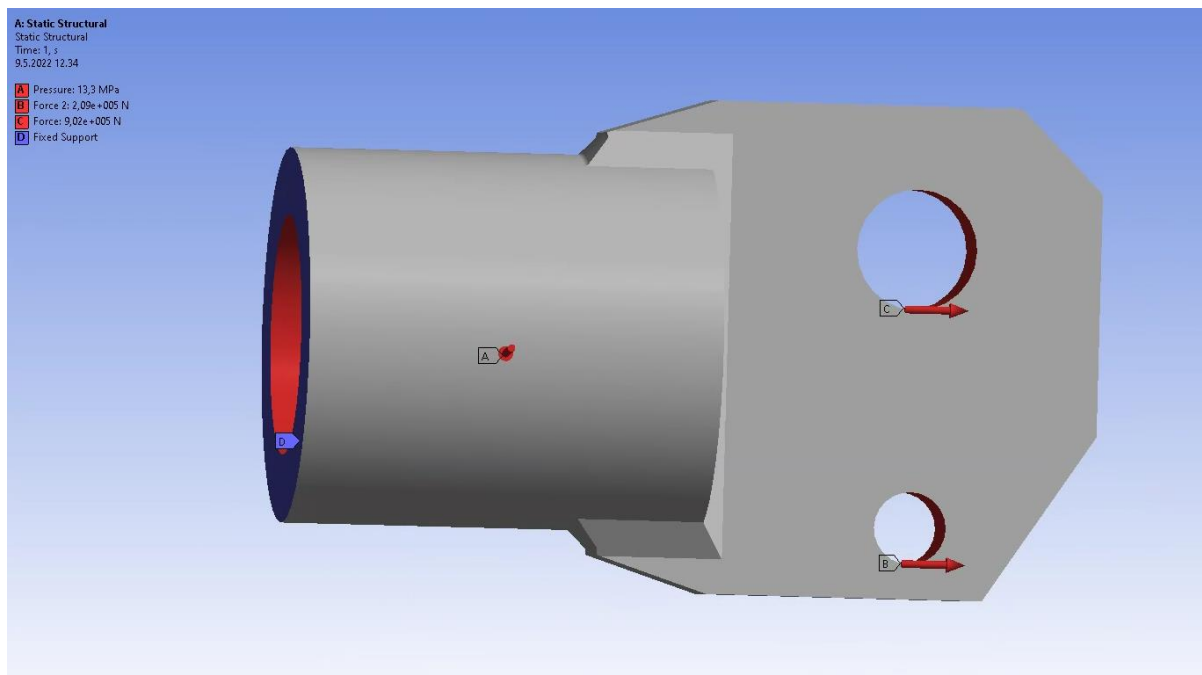
Geometriset mittavaatimukset piti tehdä erikseen vetosauvoille ja itse korvalliselle. Näiden laske- miseksi tehtiin Excel (liite 3) kohdan 5.2 mukaan. Vetosauvojen kohdalla nämä mitat ovat lopulliset sauvan mitat, mutta korvallisen puolella tällä määriteltiin minimi mitat, jotka täytyvät täyttyä lopullisessa korvallisessa.

6.4 3D-malli

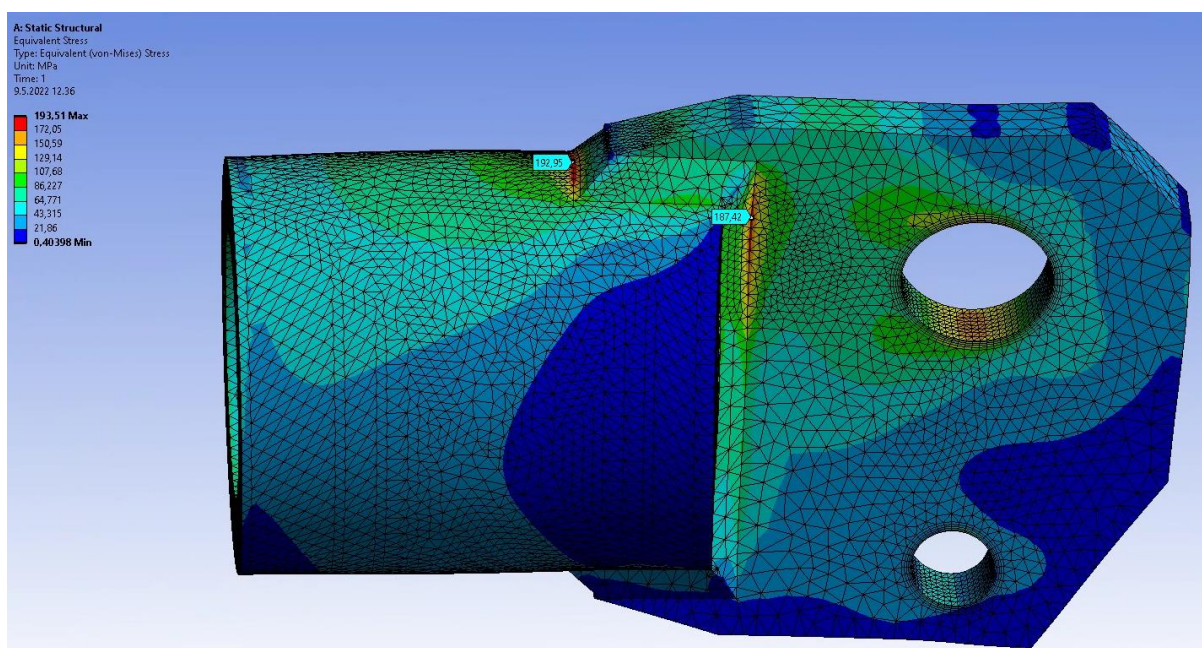
Edellä olevien ehtojen mukaan mallinnettiin Solidworks-ohjelmistolla 3d-malli korvallisesta, tätä mallia käytetään FEM-laskennassa ja piirustuksien luomisessa lopuksi. Korvallisen mallintaminen oli välttämätöntä, jotta FEM-analyysi voidaan suorittaa.

6.5 FEM-Laskenta

Solidworksista saadulle mallille suoritettiin FEM-laskenta Ansys-ohjelmistolla. Mallille annettiin reunaehdot (kuva 8) ja tarkasteltiin niiden aiheuttamaa jännitystä korvallisen eri kohdissa (kuva 9), näitä saatuja jännityksiä verrattiin kappaleen myötölujuuteen.



KUVA 8. Reunaehdot (Nenonen)

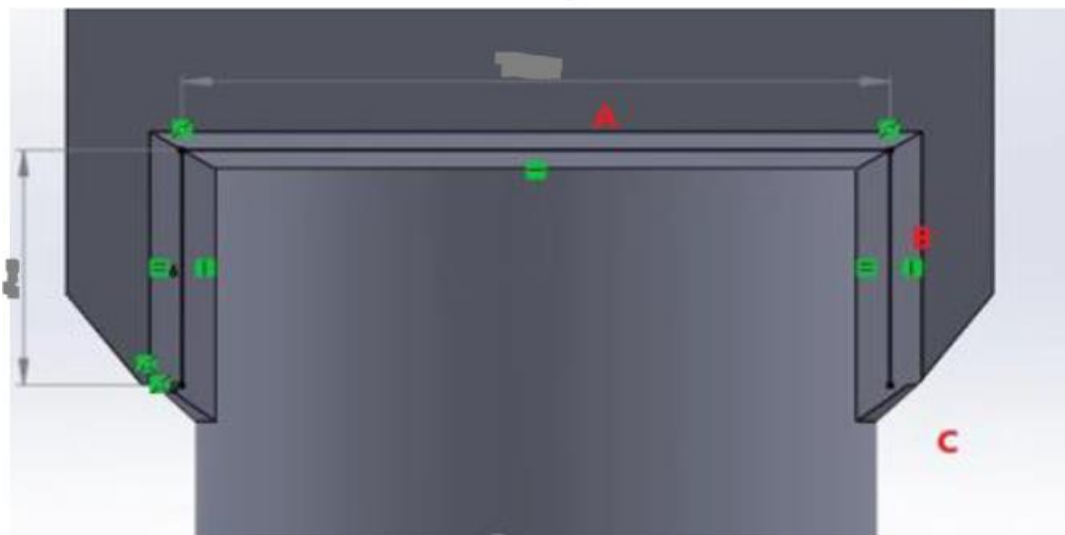


KUVA 9. FEM-laskennan tulokset (Nenonen)

FEM-analyysiä tehdessä oli otettava huomioon elementti verkon suuruuden vaikutus tuloksiin. Elementtiverkon kokoa muuttamalla, muuttui myös jännitysten määrä, lopulta päädyttiin viiden eri elementti variaation keskiarvoon tuloksissa, jotta mahdollisia virheitä voitaisiin eliminoida. Liitteessä muuttujien vaikutus jännityksiin (liite 4) vertailtiin eri muuttujien, kuten kiinnikkeen paksuuden ja kammion sisäisen paineen vaikutusta jännityksiin.

6.6 Hitsausliitos

Kun FEM-Analyysi oli saatu tehtyä, voitiin mitoittaa hitsausliitokset korvalliselle. Mitoituksen avuksi tehtiin Excel taulukko kohdan 5.4 mukaan (LIITE 3), jolla laskettiin hitsausliitoksen kestävyys (kuva 10, taulukko 3). Hitsausliitoksen kokonaiskestävyydeksi saatiin noin 1850 kN.



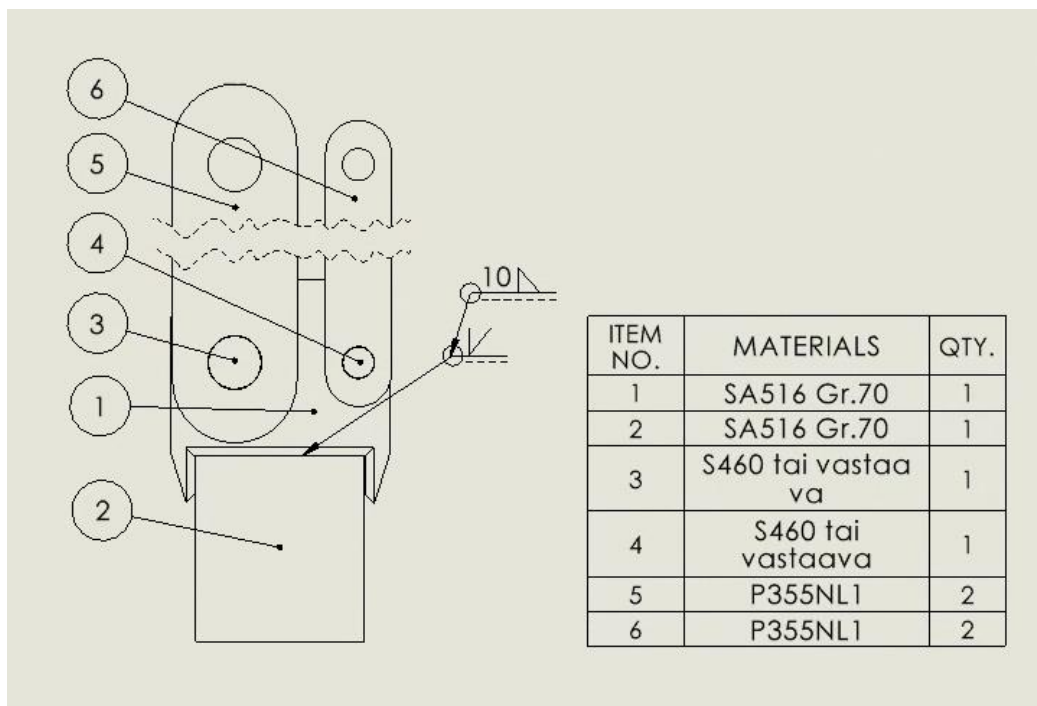
KUVA 10. Hitsausliitoksen mitat (Nenonen)

Hitsien kestävyys			
Hitsi	Määrä (kpl)	Kestävyys (kN)	Kokonais kestävyys (kN)
A	2	517	1034
B	4	153	612
C	2	110	220
	yht		1866

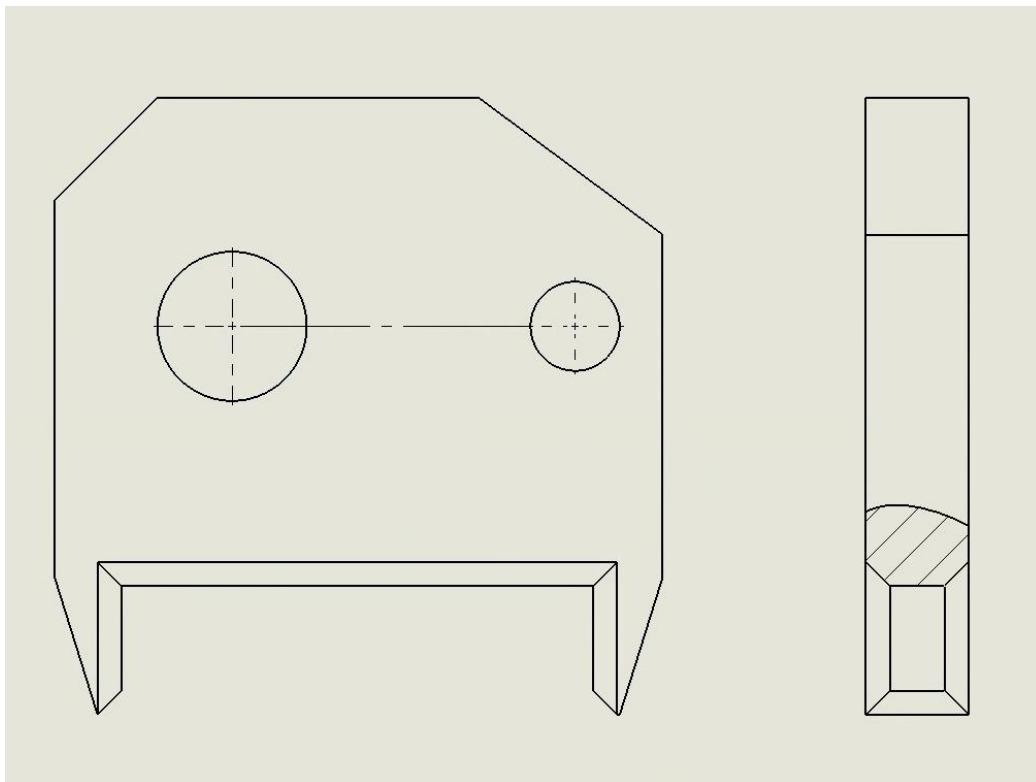
TAULUKKO 4. Hitsausliitoksen kestävyys (Nenonen)

7 PIIRUSTUKSET

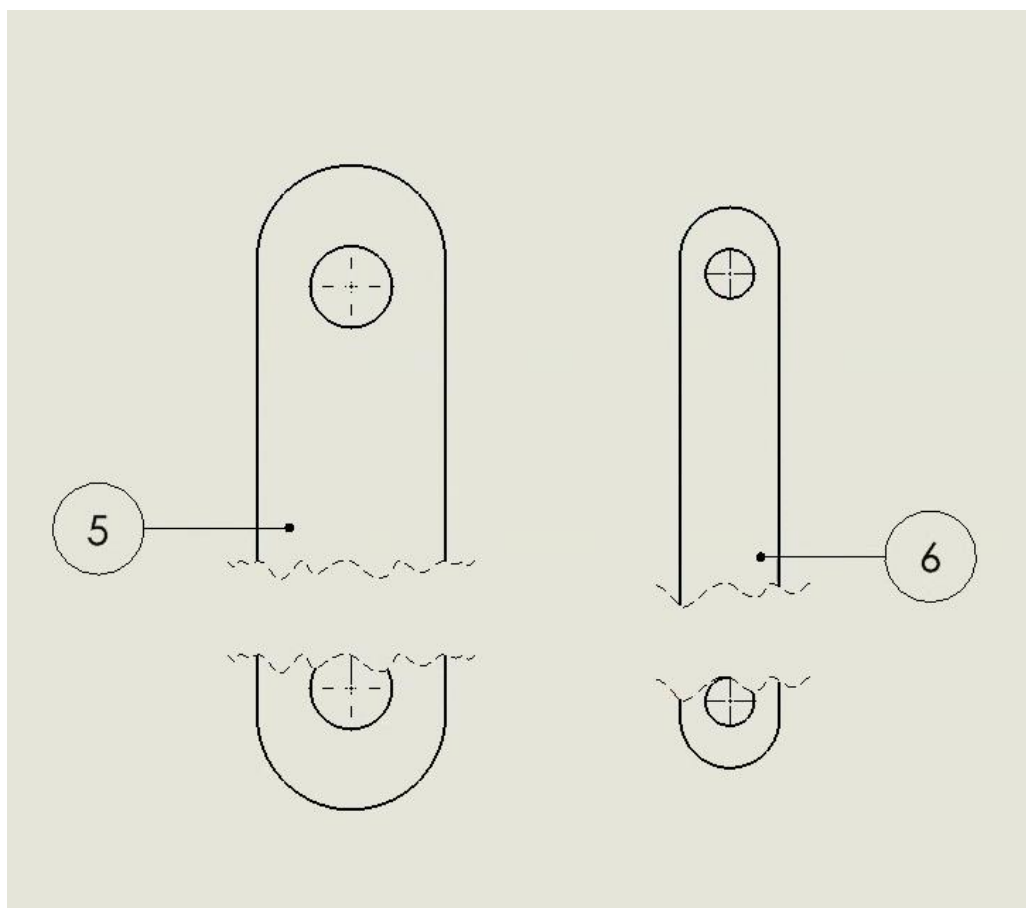
Valmiista korvallisesta tehtiin piirustukset Solidworks ohjelmistolla. Piirustukset koostuvat kokoonpanokuvasta (kuva 11), korvallisen mittakuvasta (kuva 12) ja vetosauvojen mittakuvasta (kuva 13)



KUVA 11. Kokoonpanokuva (Nenonen)



KUVA 12. Korvallisen mittakuva (Nenonen)



KUVA 13. Vetosauvojen mittakuva (Nenonen)

8 YHTEENVETO

Projektissa saatiin hyvä ratkaisu aikaiseksi aikaisemmin hankaluuksia aiheuttaneelle korvalliselle. Korvallisen mitoituksessa ja suunnittelussa käytiin läpi useita eri variaatioita korvallisesta. Lopuksi yksinkertaisin malli korvallisesta osoittautui parhaimmaksi. Yksinkertaisella mallilla saatiin minimoitua epäjatkuvuuskohdat ja korvallisen valmistaminen on helpompaa. Korvallista suunniteltaessa oli otettava huomioon korvallisen kestävyys ja myös hyvä valmistettavuus.

Korvalliseen vaikuttavat voimat olivat hyvin suuria, jonka takia korvallisesta tarvitsi monta versiota ja analyysiä lopullisten tulosten saavuttamiseksi. Eurocode 3 -standardin mukaan elementtimenetelmän käyttö vaatii FEM-mallin vertaamista koetuloksiin, joita tässä työssä ei tehty, johtuen voimien suuruudesta ja tarvittavien koestuskoneiden puuttumisesta, joten lopullisia tuloksia on tulkittava varauksella.

Voimien suuruusluokan takia jatkotutkimuskohteita voisi olla miettiä, miten voimia voitaisiin pienentää vai voisiko niitä jakaa useampaan osaan. Tämä työ tehtiin suosituksena jo valmiiksi käytössä olevilla materiaaleilla, materiaalien uudelleen valinnalla voitaisiin saada korvakkeelle lisää lujuutta.

LÄHTEET

Andritz Oy. (2022). ANDRITZ in Finland. Haettu 10.4.2022 osoitteesta, <https://www.andritz.com/pulp-and-paper-en/locations/andritz-oy>

Knowpulp. (2022). Soodakattilan tehtävä. Haettu 1.4.2022 osoitteesta, https://www.knowpulp.com/www_demo_version/suomi/pulping/general/9_recovery_boiler/frame.htm

Savonia-ammattikorkeakoulu. (2022). Tutustu Savoniaan – Savonia AMK. Haettu 10.4.2022 osoitteesta <https://www.savonia.fi/tutustu-savoniaan/>

SFS-EN 10028-2. (2017). Painelaiteteräokset. Levytuotteet. Osa 2: Kuumalujat seostamattomat ja seostetut teräokset. Haettu 10.1.2022 osoitteesta, <https://online.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CEN/ID2/1/542778.html.stx>

SFS-EN 1993-1-1. (2006). Eurokoodi 3. Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt. Haettu 10.1.2022 osoitteesta, <https://online.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CEN/ID2/1/9344.html.stx>

SFS-EN 1993-1-5. (2007). Eurokoodi 3. Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-5: Tasomaiset levyrakenteet. Haettu 10.1.2022 osoitteesta, <https://online.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CEN/ID2/1/9355.html.stx>

SFS-EN 1993-1-8. (2006). Eurokoodi 3. Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-8: Liitosten suunnittelu. Haettu 10.1.2022 osoitteesta, <https://online.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CEN/ID2/1/9359.html.stx>

Tekniikan KAAVASTO. (2018). Matematiikan, fysiikan, kemian ja lujuusopin peruskaavoja sekä SI-järjestelmä.

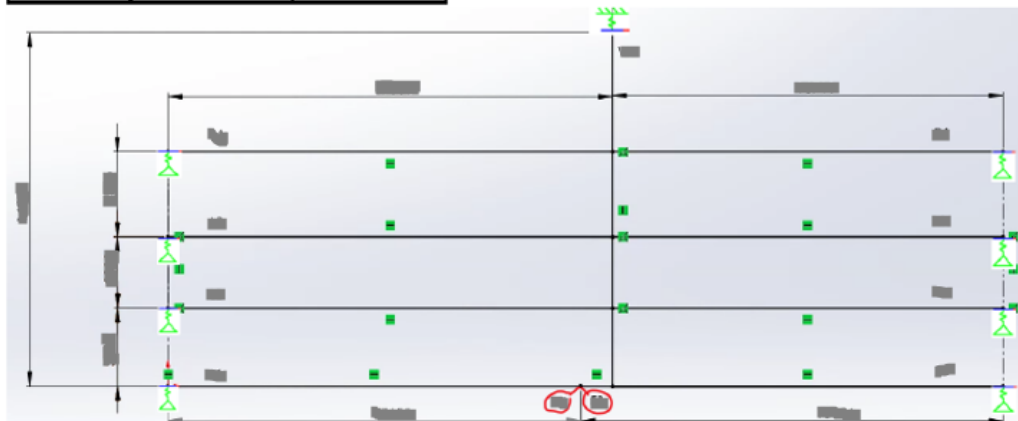
Teräsrakenteiden suunnittelu ja mitoitus Eurocode 3 -oppikirja.

LIITE 1: PAINEEN AIHEUTTAMAT VOIMAT PALKISTOSSA

Paineen aiheuttamat voimat palkistossa

Laskentapaine	6 kPa
Voimat:	
F1	167 kN
F2	722 kN

Fem-lakennassa käytettävät voimat	
F1,fem	209 kN
F2,fem	902 kN



Kehyspalkit			
Palkki	Pituus (mm)	Korko (mm)	Jako (mm)
L1	17655	0	3150
L2	19000	3300	3150
L3	19000	6300	3300
L4	19000	9900	3600
R1	18056	0	3150
R2	16711	3300	3150
R3	16711	6300	3300
R4	16711	9900	3600
V1	14870		

Paineen aiheuttamat voimat poikkipalkeissa. L1-4 ja R1-4			
Palkki	Voima (kN/m)	Resultantti (k)	Voima palkin päässä (kN)
L1	18,9	334	167
L2	18,9	359	180
L3	19,8	376	188
L4	21,6	410	205
R1	18,9	341	171
R2	18,9	316	158
R3	19,8	331	165
R4	21,6	361	180

Pystypalkin (V1) päihin vaikuttavat voimat	
V1 alapää	595 kN
V1 yläpää	481 kN

LIITE 2: NIVELTAPPILIITOKSEN MITOITUS

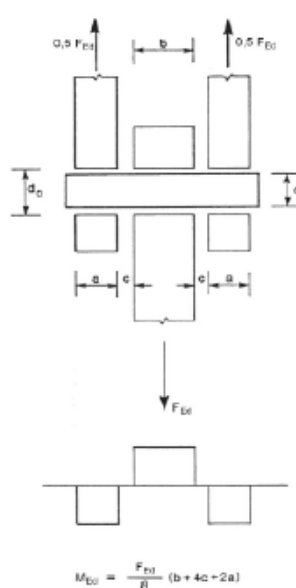
Niveltappiliitoksen mitoitus ehdot Eurocode 3 mukaan:

Niveltapin halkaisija	d	80	mm
Niveltapin reijän halkaisia	d,0	82	mm
Niveltapin tai liitetyn levyn myötöraja (PIENEMPI)	f,y	200	N/mm ²
Niveltapin Vetomurtolujuus	f,up	580	N/mm ²
Niveltapin myötöraja	f,yp	440	N/mm ²
Liitetyn levyn aineenpaksuus	t	60	mm
Niveltapin pinta-ala	A	5026,548	mm ²
Niveltappiin kohdistuva vetovoima	F,ed	722000	N
Osavarmuusluvut	γ,M0	1	
	γ,M2	1,25	
	γ,M6.ser	1	

Kuvan 3.11 mitat	a	23	mm
	b	60	mm
	c	52	mm
Niveltapin taivutusvastus	W,e	50265,48	mm ³

Taulukko 3.10 mitoitus ehdot				
F,v.Rd	1399391	≥	F,v.Ed	722000
F,b.Rd	1440000	≥	F,b.Ed	
F,b.Rd.ser	576000	≥	F,b.Ed.ser	
M,Rd	33175218	≥	M,Ed	28338500
M,Rd.ser	17693450	≥	M,Ed.ser	

$[M,Ed/M,rd]^2$	0,729669	+	$[F,v,Ed/F,v,Rd]^2$	0,266193
=	0,995862	≤		1



Kuva 3.11: Niveltapin taivutusmomentti

LIITE 3: HITSAULIITOKSEN MITOITTAMINEN

Hitsausliitoksen mitoittaminen

SFS-EN 1993-1-8 4.5.3.3

Yksinkertaistettu menetelmä pienahitsien kestävyysien määrittämiseksi

$F_{w,Ed}$	888	kN
W_{nop}	1	kpl
W_l	60	mm
l_{eff}	60	mm
a	16	mm
f_y	200	N/mm ²
f_u	200	N/mm ²
β_w	0,8	
γ_{M2}	1,25	

Voiman mitoitusarvo
Hitsien lukumäärä
Hitsin pituus
Hitsin efektiivinen mitta
Hitsin efektiivinen a-mitta
Heikomman liitettävän osan myötölujuus
Heikomman liitettävän osan murtolujuus
Korrelaatio kerroin
Osavarmuusluku

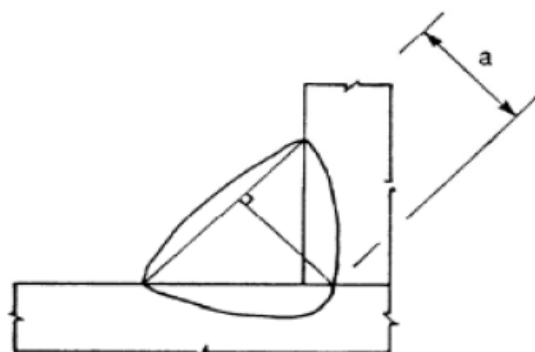
$f_{vw,d}$	115,4701	N/mm ²
$F_{w,Rd}$	110851,3	N

Hitsin leikkauslujuuden mitoitusarvo
Hitsin kestävyysmitoitusarvo

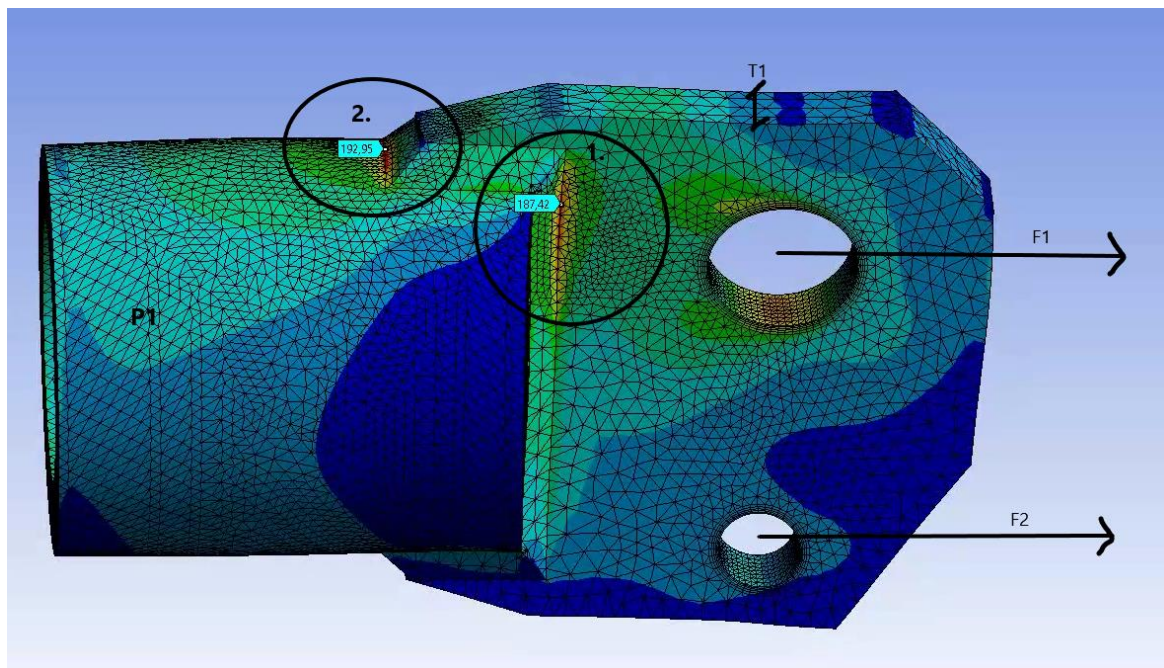
Mikäli alla oleva ehto täyttyy hitsi kestää

$F_{w,Ed}$	≤	$F_{w,Rd}$
888	≤	110,8513

Standardi ja teräslaji			Korrelaatiokerroin β_w
EN 10025	EN 10210	EN 10219	
S 235 S 235 W	S 235 H	S 235 H	0,8
S 275 S 275 N/NL S 275 M/ML	S 275 H S 275 NH/NLH	S 275 H S 275 NH/NLH S 275 MH/MLH	0,85
S 355 S 355 N/NL S 355 M/ML S 355 W	S 355 H S 355 NH/NLH	S 355 H S 355 NH/NLH S 355 MH/MLH	0,9
S 420 N/NL S 420 M/ML		S 420 MH/MLH	1,0
S 460 N/NL S 460 M/ML S 460 Q/QL/QL1	S 460 NH/NLH	S 460 NH/NLH S 460 MH/MLH	1,0



LIITE 4: MUUTTUJIEN VAIKUTUS JÄNNITYKSIIN



T1		60 mm	
F1		902 kN	
F2		209 kN	
P1		13,3 Mpa	
Yleinen	Tuloksen kohdalta	1	2
Elementin koko (mm)	Elementin koko (m)	Tulos (Mpa)	Tulos (Mpa)
12	6	194	189
10	6	212	189
8	6	175	193
8	5	180	193
6	5	195	196
6	4	193	200
	Keskiarvo	192	193

T1	60	mm		
F1	902	kN		
F2	209	kN		
P1	0	Mpa		
Yleinen	Tuloksen kohdalta		1	2
Elementin koko (mm)	Elementin koko (m	Tulos (Mpa)	Tulos (Mpa)	
12	6	183	187	
10	6	206	189	
8	6	175	183	
8	5	176	184	
6	5	195	195	
6	4	187	194	
	Keskiarvo	187	189	
T1	50	mm		
F1	902	kN		
F2	209	kN		
P1	13,3	Mpa		
Yleinen	Tuloksen kohdalta		1	2
Elementin koko (mm)	Elementin koko (m	Tulos (Mpa)	Tulos (Mpa)	
12	6	222	205	
10	6	218	214	
8	6	217	194	
8	5	215	214	
6	5	238	212	
6	4	238	210	
	Keskiarvo	225	208	
T1	70	mm		
F1	902	kN		
F2	209	kN		
P1	13,3	Mpa		
Yleinen	Tuloksen kohdalta		1	2
Elementin koko (mm)	Elementin koko (m	Tulos (Mpa)	Tulos (Mpa)	
12	6	178	186	
10	6	172	170	
8	6	154	183	
8	5	164	185	
6	5	159	189	
6	4	179	194	
	Keskiarvo	167	184	