



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Tapio Kivelä

Siipikauhan suunnittelu

Opinnäytetyö
Kevät 2021
SeAMK tekniikka
Konetekniikka



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: SeAMK Tekniikka

Tutkinto-ohjelma: Konetekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Kone- ja tuotantotekniikka

Tekijä: Tapio Kivelä

Työn nimi: Siipikauhan suunnittelu

Ohjaaja: Samuel Suvanto

Vuosi: 2021

Sivumäärä: 55

Liitteiden lukumäärä:

Työn tilaajana toimii entuudestaan tuttu yrittäjä, joka ei halua nimeään julkiseksi opinnäytetyön raporttiin. Tilaajalla on maatilalla nautakarjan kasvatustoimintaa. Työssä suunniteltiin nautakasvattamoiden kuivikelantaisten käytävien puhdistukseen tarkoitettu siipikauha. Suunnittelun lähtökohtana oli tilaajan antamat innovatiiviset ideat kauhan rakenteelle ja toimintatavalle.

Työ oli luonteeltaan projektimainen suunnittelutyön toteutus, jonka aikana ilmeni useita erilaisia haasteita siipikauhan rakenteelle. Rakenteen suunnittelun yhteydessä piti miettiä siipikauhan rakennetta, jotta se palvelisi mahdollisimman hyvin siipikauhalle ennakkoon määriteltyä käyttötarkoitusta. Suunnittelun lähtökohtana toimi myös tavoite, että siipikauhan rakenne olisi mahdollisimman yksinkertainen valmistaa ja valmistaminen onnistuisi levyleikkeiden tilaamisen jälkeen tilaajan omilla työkaluilla ja työllä.

Työn tuloksena syntyi työn tilaajalle valmistuspiirustukset ja dxf-kuvat siipikauhan valmistusta varten. Työ eteni ja valmistui suunnitellulla tavalla, vaikka siipikauhan rakenteen suunnittelussa oli etenkin siipien osilta hyvinkin haastavia asioita. Siipikauhan valmistamista ei ole aloitettu ja lopullinen hydraulikkajärjestelmän rakenne selviää vasta, kun siipikauhaa kokeillaan ensimmäisiä kertoja ja rakenne saattaa myös muuttua käytön aikana ilmenneiden kehitysideoiden perusteella.

Asiasanat: FEM, hitsaustekniikka, levyrakenne, maatalous, suunnittelu, valmistusmenetelmät

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School of Technology

Degree programme: Mechanical Engineering

Specialisation: Mechanical and Production Engineering

Author: Tapio Kivelä

Title of thesis: Planning of a wing bucket

Supervisor: Samuel Suvanto

Year: 2021

Number of pages: 55

Number of appendices:

The subscriber is an entrepreneur who does not want his or her name to be public in the thesis report. The subscriber has a cattle breeding farm. The task was to design a wing bucket for cleaning dry manure from corridors of cattle farms. The design was based on the subscriber's innovative ideas for the structure and operation of a wing bucket.

The work was project-like in the implementation of design work, and during the project several challenges emerged for the wing bucket structure. In connection with the design of the structure, it was necessary to consider the structure of the wing bucket so that it would serve the predetermined purpose of the wing bucket as well as possible. The starting point of the design should be as simple as possible, and the assembly would be easy with the subscriber's own tools and work capacity. Steel parts were ordered pre-cut.

As a result, manufacturing, assembly drawings and DXF-drawings for the manufacture of the wing bucket were created for the subscriber. The design work progressed and was completed as planned, although there were challenging issues in the design of the wing bucket structure, especially for the wing parts. The manufacture of the wing bucket has not started and the final structure of the hydraulic system will only be known when the wing bucket is tested for the first time and the structure may also change based on development ideas emerging during use.

Keywords: FEM, welding technics, plate structure, agriculture, planning, methods of manufacture

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä	2
Thesis abstract	3
SISÄLTÖ	4
Kuva- ja taulukkoluetelo.....	7
Käytetyt termit ja lyhenteet.....	8
1 JOHDANTO	9
1.1 Työn tausta	9
1.2 Työn tavoite	9
1.3 Työn rakenne	9
1.4 Yritysesittely	10
2 SIIPIKAUHAN RAKENNE JA KÄYTTÖTARKOITUS	11
2.1 Siivet	11
2.2 Kauha.....	12
2.3 Sarana	12
2.4 Työvälinekiinnike.....	12
2.5 Hydraulikka.....	12
2.6 Kulutusterät.....	13
3 VALMISTUSMENETELMÄT.....	14
3.1 Levyntyöstö.....	15
3.2 Terminen leikkaus	15
3.3 Mekaaninen leikkaus.....	17
3.4 Särmäys.....	17
3.5 Mankelointi.....	18
4 LIITOSMENETELMÄT.....	20
4.1 Hitsaus	20
4.1.1 Kulutusterästen hitsaus.....	20
4.1.2 Puikkohitsaus.....	23

4.1.3	MIG/MAG-hitsaus	24
4.2	Ruuviliitos.....	25
4.3	Akseliliitos	27
4.3.1	Kiinteä akseliliitos.....	28
4.3.2	Joustava akseliliitos	28
4.3.3	Nivelakselit ja nivelet.....	28
5	MATERIAALIT	30
5.1	Kulutusteräs	30
5.2	Rakenneteräs.....	30
5.3	Ainestodistus.....	31
6	LUJUUSLASKENTA.....	32
6.1	FEM	32
6.2	Von Mises vauriohypoteesi.....	33
6.3	Nurjahduslaskenta	33
7	HYDRAULIIKKA.....	35
7.1	Paineakku	35
7.2	Venttiilit	36
7.3	Hydraulisyliinterit.....	37
7.4	Hydraulimoottorit.....	37
8	SIIPIKAUHAN SUUNNITTELU	39
8.1	Rakenne- ja ominaisuusvaatimukset.....	39
8.2	Suunnitteluohjelmisto	39
8.3	Siiven rakenne	40
8.4	Siipikauhan rakenne.....	42
8.5	Siipikauhan materiaalit	43
8.6	Hydrauliikka.....	43
9	LUJUUSLASKENTA.....	46
9.1.1	Reunaehdot, kuormitus ja elementtiverkko	47
9.1.2	Lujuuslaskennan tulokset.....	48
9.2	Nurjahdus.....	50

9.3 Hydraulisylinterien shokkiventtiilien avautumispaineet	51
10 YHTEENVETO	53
LÄHTEET	54

Kuva- ja taulukkoluetelo

Kuva 1. Siipikauhan komponentit.....	11
Kuva 2. Lopullinen siipien rakenne.	41
Kuva 3. Siipikauhan siipien liikealueiden ääriasennot.....	42
Kuva 4. FEM-analyysimalli.....	46
Kuva 5. FEM- analyysimalli hydraulisynteristä.	47
Kuva 6. Kuormituksen ja fixed ehdon sijainti.....	48
Kuva 7. Hitsaussauman jännityshuippu.	49
Kuva 8. Nurjahduslaskennan tulos.	51
Taulukko 1. Hardox®-levyjen suositeltavat esilämmityksen ja välipalkojen minimilämpötilat.	21
Taulukko 2. Hardox® kulutusteräksille suositellut hitsauslisäaineet	23
Taulukko 3. Ruuvien lujuusluokat ja lujuudet.	26
Taulukko 4. Rakenne ja ominaisuus vaatimukset.	39
Taulukko 5. Siipien hydraulisynterien shokkiventtiilien avautumispaineet.....	52

Käytetyt termit ja lyhenteet

CAD	Computer aided desing. Tietokoneavusteinen suunnittelu.
Dxf	Yleisesti käytetty tiedostotyyppi 2D kuvien siirtoon, etenkin konepajateollisuuden työstökoneita varten.
FEA	Finite element analysis. Elementtimenetelmä suoritettu laskenta.
FEM	Finite element method. Elementtimenetelmä.
Hiiliekvivalentti	Teräksen kemiallisen koostumuksen avulla määritetty luku, jonka avulla arvioidaan karkenevuutta ja kylmähalkeilualttiutta hitsauksessa.
Von Mises	Materiaalin myötöehto, jolla esitetään jännitystuloksia lujuuslaskennassa.

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta

Työn taustana on tehostaa nautakasvattamon lantakäytävien tyhjennystä kehittämällä uusi kauha, jolla tyhjenetään lantakäytäviä. Uudessa kauhassa on innovatiivisia ominaisuuksia, joita ei ole saatavilla markkinoilla valmiiksi olevien kauhojen mukana.

1.2 Työn tavoite

Työn tavoitteena on suunnitella Volvon L90D pyöräkuormaajaan siipikauha, jota käytetään kuivikepohjaisen nautakasvattamon lantakäytävien tyhjennykseen. Työn taustana oli tilaajan tarve tehostaa lantakäytävien tyhjennystä ja hänen ideansa uuden kauhan ominaisuuksista, jotka helpottaisivat lantakäytävien tyhjentämistä. Tärkeimpänä ominaisuutena kauhalta vaaditaan, että siipikauhan siivet kääntyvät kauhan etupuolelle huulilevyn suuntaiseksi. Tällöin siivillä voidaan auttaa lantaa kauhan kyytiin. Markkinoilla ei ollut valmista kauhaa, joka olisi täyttänyt haluttujen ominaisuuksien ehdot ja toiveet.

Siipikauhaa käytetään pääasiassa tilaajan kahden loppukasvattamon etukäytävien lannan puhdistamiseen. Etukäytävien lanta koostuu kuiviketurpeesta, nautojen läikyttämästä juomavedestä ja virtsasta. Etukäytävien lanta on koostumukseltaan usein hyvinkin juoksevaa, vaikka etukäytävät puhdistetaan 2–3 kertaa viikossa. Työ rajataan siten, että kauhan valmistaminen ei kuulu työhön mukaan.

1.3 Työn rakenne

Työ sisältää siipikauhan suunnittelun, lujuuslaskennan ja valmistusteknistä suunnittelua. Teoriaosuudessa käsitellään siipikauhan suunnittelussa käytettäväksi pohdittuja tai käytettyjä erilaisia komponentteja ja työmenetelmiä. Suunnittelunosuudessa käsitellään siipikauhan suunniteltua rakennetta, materiaaleja ja rakenteen lujuustarkastelua.

1.4 Yritysesittely

Työn tilaajana on entuudestaan tuttu yrittäjä, jolla on nautakarjatila. Tilaaja ei halua nimeään julkiseksi opinnäytetyön raporttiin. Tilalla kasvatetaan nautoja ternivasikoista aina teurasnaudoiksi. Tilalla on eri ikäisiä nautoja noin 780 kpl. Tilalla on neljä erillistä eläinsuojaa, joista kaksi on loppukasvattamoja, yksi nuorkarjanavetta ja yksi vasikkajuottamo. Kaikki eläinsuojat toimivat kuivikelannalla ja kuivikkeena on kuiviketurve. Kuiviketurve tuotetaan omalla turveneuvalla samalla, kun siellä tuotetaan kuivike- ja palaturvetta myös myyntiin lähialueiden maataloille ja yrityksille.

Tilalla on töissä yrittäjäpariskunnan lisäksi yksi kokoaikainen työntekijä ja kiireapuna sesonkiaikaan muutamia työntekijöitä satunnaisesti tarpeen mukaan.

2 SIIPIKAUHAN RAKENNE JA KÄYTTÖTARKOITUS

Siipikauha on kehitetty lumitöihin. Siipikauhaa käytetään etenkin erilaisten pihojen ja muiden pienempien ja ahtaiden paikkojen auraamiseen. Siipikauha on tarkoitettu kytkettäväksi erilaisiin työkoneisiin, joista yleisimpiä on traktorit, pyöräkuormaajat, kurottajat ja erilaiset pienkuormaajat. Siipikauhan koko on valittava työkoneen painon ja käyttöympäristön mukaan järkeviksi.

Siipikauhoja valmistavat monet eri valmistajat ja kauhoja yhdistäviä asioita ovat kauhan sivuilla olevat siivet, jotka tehostavat työskentelyä. Siipien rakenne on jokaisella valmistajalla hieman erilainen, mutta siiveltä vaaditut ominaisuudet ovat hyvin samat eri valmistajien kesken. Siipikauhan eri komponentit ovat nimettynä kuvassa 1.



Kuva 1. Siipikauhan komponentit. (Reko-Kone Oy, [viitattu 9.2.2021]).

2.1 Siivet

Tärkeimpänä ominaisuutena siivessä on, että siipi on jousitettu. Jousitus mahdollistaa kauhan kulman muuttumisen maanpintaan nähden ja silti siipi koskettaa koko matkalla maata. Siipi on kaupallisissa siipikauhoissa yksiosainen ja sitä käytetään yhdellä hydraulisylinterillä. (Turun Konekeskus Oy, [viitattu 8.2.2021].)

2.2 Kauha

Siipikauhan pääkomponentteja ovat itse kauha, johon siivet on kiinnitetty. Kauha koostuu sivulevyistä, pohjalevystä ja takalevystä. Pohja- ja takalevy on voitu valmistaa samasta teräslevystä, joko särmämällä tai mankeloimalla. Takalevyssä voi olla myös kauhan rakennetta jäykistäviä koteloita tai lisä särmäyksiä.

2.3 Sarana

Siipi on liitetty kauhaan saranalla, joka mahdollistaa siiven liikkumisen koko liikeradallaan kauhan sivulta aina eteen asti. Tyypillisesti siipien saranat on valmistettu vähintään kolmesta eri komponentista. Saranan akselina käytetään tyypillisesti pyörötankoa, saranan laakeroinnissa käytetään erityyppisiä liukulaakereita ja saranan holkkina, mikä hitsataan siipeen tai kauhaan kiinni ja minkä sisälle tulee liukulaakeri, materiaalina käytetään ainesputkea.

2.4 Työvälinekiinnike

Työvälinekiinnikkeet on yleensä hitsattu kauhan takalevyyn kiinni. Työvälinekiinnikkeitä on useita erilaisia. Työvälinekiinnike on valittava oikeaksi työkoneen mukaan, millä kauhaa käytetään. Joissakin kauhoissa työvälinekiinnikkeet saattavat olla kiinnitetty pulttiliitoksilla kauhaan. Pulttiliitoksella kiinnitetyt työvälinekiinnikkeet mahdollistavat kauhan monipuolisemman liitettävyyden eri työkoneisiin.

2.5 Hydrauliiikka

Siipikauhan hydraulikkajärjestelmä koostuu kaksitoimisista hydraulisylintereistä, jotka liikuttavat siipiä. Lisäksi hydraulikkajärjestelmässä on yleensä virtauksenjakventtiili tai suuntaventtiili tai molemmat. Yleisesti hydraulikkajärjestelmä sisältää myös shokkiventtiilin ja paineakun rajoittamaan hydraulikkajärjestelmän hydraulinesteen painetta erilaisissa tilanteissa ja tasaamaan kuormitusta. (Turun Konekeskus Oy, [viitattu 8.2.2021].)

2.6 Kulutusterät

Siipikauhan siivissä on siipikauhasta ja sen käyttötarkoituksesta riippuen erilaisia kulutusteriä, jotka ovat karkaistua terästä ja kestävät hyvin käytön tuomaa kulutusta ja ovat vaihdettavissa helposti uusiin. Siivissä yleisimpiä kulutusteriä on taitettupäiset reikä- tai tasaterät. Reikäterän tuottama jälki on hieman aaltomainen, joka estää liukastumisia. Tasaterän tuottama jälki on sileä ja liukas, mutta tasaterä kestää kulutusta enempi kuin reikäterä. Kauhan etureunassa on myös vaihdettava kulutusterä, joka on usein samantyyppinen kuin siivissä olevat kulutusterät. Kaikki kulutusterät on kiinnitetty pulttiliitoksilla helpon vaihdettavuuden vuoksi.

3 VALMISTUSMENETELMÄT

Suunnitteluvaiheessa on tärkeää pohtia järkevintä valmistusmenetelmää jokaiselle suunnittelun kohteena olevalle osalle ja rakenteelle. Hyvällä suunnittelulla voidaan pienentää valmistuskustannuksia ja saada samalla edullisempi, mutta kestävämpi rakenne. Kustannustehokkaan valmistuksen lähtökohtana on suunnittelija, joka tuntee tuotannossa olevat valmistusmenetelmät ja niiden mahdollisuudet ja rajoitukset. Suunnittelijan on suunnitteluvaiheessa ymmärrettävä, millä valmistusmenetelmillä kyseinen rakenne valmistetaan ja kyettävä suunnittelemaan geometriasta mahdollisimman kustannustehokas kyseisille valmistusmenetelmille. Myös rakenteen ylimitoittamista varsinkin sarjatuotannossa on vältettävä. Ylimitoittamisen haittoina on rakenteen kasvanut paino ja tätä kautta lisääntynyt hinta, joka kertaantuu koko rakenteen elinkaaren aikana. Ylimääräinen paino aiheuttaa kohonneita kustannuksia valmistusvaiheesta aina loppukäyttäjälle. (Piironen 2013, 4–7.)

Valmistusmenetelmien valinta vaikuttaa suoraan valmistettavien osien mittatarkkuuksiin. Vaikka jokin valmistusmenetelmä voi olla hieman kalliimpi kuin toinen valmistusmenetelmä, voi se kuitenkin säästää osien viimeistelyssä ja kokoonpanossa työkustannuksia ja olla lopuksi halvin vaihtoehto kokonaiskustannuksissa. Valmistettavan rakenteen osien lukumäärän olisi oltava mahdollisimman alhainen ottaen huomioon kuitenkin rakenteen koon tuomat haasteet, jos rakenteen koko alkaa mennä liian suureksi vaaditaan rakenteen liikutteluun tuotannossa erilaisia apuvälineitä. (Piironen 2013 9–12.)

Suunnittelussa olisi hyvä pitää mielessä, että yksinkertainen on kaunista. Suunnittelussa jokainen mallinnettu piirre lisää kustannuksia valmistuksessa. Lisäksi olisi pyrittävä käyttämään mahdollisimman yksinkertaisia muotoja kuten ympyröitä, neliöitä ja suorakaiteita. Nämä muodot ovat halpoja valmistaa, koska niiden käsiteltävyys, kiinnitettävyyden ja työkaluvalmius on hyvä. Myös rakenteeseen tulevien osien suunnittelussa olisi hyvä keskittyä valmistuksessa niiden helppoon tunnistettavuuteen. Tällöin saadaan vältettyä valmistuksessa syntyviä inhimillisiä virheitä. Tunnistettavuutta voidaan parantaa epäsymmetrisillä muodoilla tai suunnitteleamalla osasta symmetrinen, jolloin ei ole väliä mitenkä päin osan kiinnittää lopulliseen rakenteeseen. (Piironen 2013, 13–14.)

Siipikauhan valmistuksessa tärkeimpiä menetelmiä ovat siipikauhan rakenteen takia erilaiset levyntööstömenetelmät. Siipikauha koostuu pääasiassa teräslevyistä ja niiden valmistuksen optimointi jo suunnitteluvaiheesta alkaen mahdollistaa kustannustehokkaan siipikauhan

valmistuksen. Myös kaupallisten sarjavalmistusteisten siipikauhojen isot eräkoot tarjoavat mahdollisuuden valmistaa siipikauhoja edullisilla valmistuskustannuksilla. Isojen eräkokojen myötä voidaan käyttää siipikauhan valmistuksessa myös erilaisia automatisoituja valmistusmenetelmiä tehokkaasti hyödyksi.

3.1 Levyntyöstö

Levyn työstömenetelmät ovat konepajojen yleisimpiä työstömenetelmiä. Levyntyöstömenetelmät voidaan jakaa leikkaaviin- ja muokkaaviin työstömenetelmiin. Leikkaavia työstömenetelmiä on useita, kuten suuntaisleikkurit, saksileikkuri ja erilaiset termiset leikkausmenetelmät. Muokkaavia työstömenetelmiä on myös useita ja niistä yleisin on levyn taivutus eli särmäys. (Keinänen ja Kärkkäinen 2009, 216–227.)

Levytyömenetelmät ovat siipikauhojen valmistuksessa tärkeimpiä valmistusmenetelmiä. Siipikauhojen rakenne koostuu pääasiassa erilaisista levykomponenteista. Valmistuksessa on tärkeää, että teräslevyjen leikkaus, särmäys ja mankelointi ovat tehokkaita prosesseja. Valitsemalla oikea levyntyöstömenetelmä kulloiseenkin käyttökohteeseen vältetään turhalta viimeistely- ja sovitustyöltä siipikauhojen valmistuksessa.

3.2 Terminen leikkaus

Teromisella leikkauksella tarkoitetaan leikkausta, jossa metallia leikataan lämpöenergian avulla polttamalla tai sulattamalla. Eri työstömenetelmät sopivat erilaisille materiaaleille ja erilaisiin tarkoituksiin. Työstömenetelmistä toiset ovat tarkkoja ja toiset eivät ole tai toiset ovat halpoja ja toiset eivät olet. Oikean termisen leikkausmenetelmän valinta on tärkeää, jotta päästään mahdollisimman edulliseen kokonaistulokseen koko siipikauhan valmistuksen kannalta. (Mikä on teräslevyn paras leikkausmenetelmä, [viitattu 27.12.2020].)

Polttoleikkaus on yleisesti pidettynä hyvin yksinkertainen terminen leikkausprosessi. Polttoleikkaus on myös ylivoimaisesti vanhin terminen leikkausprosessi, jota voidaan käyttää seostamattoman teräksen leikkaamiseen. Polttoleikkauksella voidaan leikata jopa 1200 mm:n paksuisia teräksiä. Leikkauspaksuutta rajoittaa pääasiassa vain syötettävän hapen määrä. Polttoleikkaus on myös helposti automatisoitavissa ja automatisoinnissa leikkauskapasiteetti monistettavissa, mutta vain samoille leikattaville kappaleille lisäämällä leikkaavien poltinten

määrää. Polttoleikkauksen ihanteellinen levyn paksuus on yli 25 mm, mutta sillä voidaan leikata noin 6 mm:n paksuuksista ylöspäin pienin vaikeuksin. Polttoleikkaus tuottaa tasaisen, suorakulmaisen leikkauspinnan, jonka alareunassa on vähän kuonaa ja yläreuna on esilämmityksestä hieman pyörästynyt. Polttoleikkaus on kuitenkin suhteellisen hidas terminen leikkausmenetelmä, jonka maksimi leikkausnopeus on noin 500 mm minuutissa 25 mm:n materiaalissa. (Mikä on teräslevyn paras leikkausmenetelmä, [viitattu 27.12.2020].)

Plasmaleikkauksella pystytään saavuttamaan polttoleikkausta huomattavasti suuremmat leikkausnopeudet, mutta leikatun reunan laatu on heikompi kuin polttoleikkauksessa. Plasmaleikkauksen parhain leikattavan levyn paksuus on 6–36 mm:n välillä, tämän alueen ulkopuolella alkaa reunanlaatu kärsimään. Plasmaleikkaukslaitteisto on huomattavasti kalliimpi hankkia kuin polttoleikkaukslaitteisto. Plasmaleikkaukslaitteistossa leikkauspoltinten määrän lisääminen on huomattavasti kalliimpaa kuin kaasuleikkaukslaitteistosta. Kasvavat laitteiston kustannukset rajoittavat yleensä hankittavien plasmaleikkaukspoltinten määrän kahteen, mutta joillakin yrityksillä, jotka leikkaavat suuria määriä samoja osia voi olla jopa neljä plasmaleikkaukspoltinta kytkettynä samaan plasmaleikkaukskoneeseen. (Mikä on teräslevyn paras leikkausmenetelmä, [viitattu 27.12.2020].)

Laserleikkauksella voidaan leikata teräksiä noin 32 mm:iin asti. Laserleikkaus ei ole kuitenkaan erityisen nopea leikkaustapa, mutta ohuiden levyjen leikkauksessa se on todella nopea ja tarkka. Laserleikkaus on todella tarkka leikkausprosessi koko leikattavien materiaalien paksuus alueella ja sillä saavutetaan erittäin täsmällisiä ääriviivoja ja tarkkoja pieniäkin reikiä. Laserleikkauksen jäljiltä leikkausreunan laatu on todella hyvä. Laserleikkaus on leikkausprosessina erittäin luotettavaa ja laserleikkauksen automaatio on todella korkealla tasolla. Laserleikkausta voidaan tehdä ”miehittämättömänä” ja tätä kautta saadaan laskettua leikkauksen hintaa. (Mikä on teräslevyn paras leikkausmenetelmä, [viitattu 28.12.2020].)

Siipikauhan pääkomponenttien materiaalipaksuudet ovat sen verran ohuita, että kaasuleikkauksella ei päästä kustannustehokkaaseen komponenttien tuotantoon. Plasmaleikkauksella siipikauhan komponenttien valmistaminen soveltuu todella hyvin niin tarkkuuden kuin leikattavien materiaalien paksuuksien puolesta. Kuitenkin laserleikkauksella saavutetaan vielä parempi tarkkuus ja osan komponenttien jälkikoneistamisesta voidaan ehkä jopa luopua, jos komponentti on laserleikattu. Laserleikkaus on kuitenkin kalliimpaa kuin plasmaleikkaus. Lopullinen leikkausmenetelmä pitää arvioida käytössä olevien

leikkausmenetelmien, leikkausjäljen ja kustannusten kannalta jokaiselle komponentille erikseen.

3.3 Mekaaninen leikkaus

Suoraviivaisten ja yksinkertaisten kappaleiden leikkaamiseen käytetään paljon erilaisia levyleikkureita, joista käytetään yleisesti nimitystä suuntaisleikkuri. Erilaisista suuntaisleikkureista ylivoimaisesti yleisimmin käytössä on hydraulinen suuntaisleikkuri. Lisäksi on käytössä myös mekaanisia suuntaisleikkureita ja erilaisia käsityökaluja levyjen leikkaamiseen. (Lepola ja Makkonen 2005, 290.)

Hydraulinen suuntaisleikkuri saa käyttövoimansa hydraulikasta. Leikkauksessa alaterä pysyy paikoillaan koko ajan ja yläterä tekee leikkaavan liikkeen. Ennen levyn leikkausta on asetettava leikkauskulma ja terävylys kyseiselle materiaalille ja paksuudelle sopivaksi. Leikkauskulmalla tarkoitetaan ylä- ja alaterän kohtisuoruutta toisiinsa tai näiden muodostamaa kulmaa. Kun terät eivät ole kohtisuorassa toisiinsa nähden vähentää tämä leikkausvoimaa huomattavasti, mutta leikattava levy saattaa kiertyä liian ison leikkauskulman takia. Leikkauskulman arvoa voidaan säätää yleensä 0,5–3 asteen väliltä. Suuntaisleikkurin teränvälyksellä tarkoitetaan ylä- ja alaterän väliin jäävää välystä leikkaushetkellä. Teränvälyksen arvo on yleensä 8–10 % levynpaksuudesta. Jos teränvälyys ei ole oikein, huomaa sen leikatun levyn leikkausjäljestä ja ollessaan liian pieni lyhentää se leikkaavien terien kestoa merkittävästi. (Lepola ja Makkonen 2005, 293–294.)

Suuntaisleikkurilla voidaan leikata siipikauhan isoja ja suunnikkaan muotoisia levykomponentteja kustannustehokkaasti.

3.4 Särmäys

Särmäyksessä levyä painetaan painimella vastinta vasten, jolloin levy taittuu. Menetelmän mukaan levy voidaan painaa painimella täysin vastinta vasten, jolloin taivutettava materiaali muovautuu painimen ja vasteen muotojen mukaan. Tätä menetelmää nimitetään pohjaiskusärmäykseksi. Pohjaiskusärmäyksessä takaisinjousto on hyvin vähäinen ja mittatarkkuus hyvä. Haittana on tyypillisesti 2–5 kertainen voiman tarve verrattuna ilmavälisärmäykseen. Ilmavälisärmäyksessä levyä painetaan painimella vastinta vasten, mutta

sitä ei paineta pohjalle astin vaan pohjalle levyn ja vastimen väliin jää ilmarako. Ilmavälisärmäyksessä voiman tarve on huomattavasti pienempi kuin pohjaiskärmäyksessä, mutta taivutuksessa on käytettävä ylitaivutusta isompien takaisinjoustojen takia ja menetelmä ei ole yhtä mittatarkka ison takaisinjouston takia. (Lepola ja Makkonen 2005, 300–305, 311.)

Särmäys on todella kustannustehokas muovaustapa ja varteen otettava vaihtoehto hitsausliitokselle. Särmäyksellä voidaan usein vähentää osien lukumäärää. Särmäys on myös usein edullisempi, riskittömämpi ja tehokkaampi työskentelytapa kuin pitkät hitsisaumat. Siipikauhassa voidaan vähentää pitkien hitsaussaumojen hitsaustarvetta suunnittelemalla siipikauhan rakenteesta särmättävä.

Särmäys on kuitenkin melko vaikea prosessi ja onnistuneen särmäyksen edellytyksenä on hyvä suunnittelu, jossa on osattu ottaa huomioon särmäyksen kannalta oikeat asiat suunnittelussa. Särmäystä suunnitellessa on tiedettävä materiaalin käyttäytyminen särmäyksessä kyseisillä särmäystyökaluilla. Suunnitteluohjelmiin pitää syöttää taivutukselle oikeat parametrit, että suunniteltu särmäys vastaa todellista kappaletta. Kokonaisuutena särmättyjen osien tarkkuus on sama, kuin hitsauksessa. Särmäysmenetelmä kohtaisia eroja kuitenkin on olemassa ja oikean menetelmän valinta on tärkeässä roolissa onnistuneen särmäyksen suunnittelussa ja toteutuksessa. (Piironen 2013, 25–28.)

3.5 Mankelointi

Mankeloinnissa levyä muotoillaan käyttäen tavallisimmin kolmea telaa, jolloin saadaan levyyn muotoiltua pyöreä muoto. Pyöreä rakenne on kustannustehokas, joustava ja hyvän näköinen. Mankelointia käytetään levyjen pyöritykseen hyvinkin ohkaisesta aina vahvojenkin levyjen muokkaamiseen. Vahvoilla levyillä tarkoitetaan telakkateollisuudessa käytettyjä noin 50 mm teräslevyjä. (Keinänen ja Kärkkäinen 2009, 224.)

Telat voivat olla sijoitettuna joko symmetrisesti tai epäsymmetrisesti. Koneessa, jossa telat on sijoitettu symmetrisesti, sijaitsee ylätela symmetrisesti alateloihin nähden niiden yläpuolella ja ylätelan etäisyyttä alateloihin nähden säätämällä saadaan aikaan erilaisia pyörityssäteitä. Epäsymmetrisesti sijoitetun koneen teloja voidaan säätää toisiinsa riippumattomasti. Tällöin saadaan nopeutettua mankelointia ja valmistettua monipuolisempia kappaleita. (Keinänen ja Kärkkäinen 2009, 224.)

Siipikauhoissa, joiden käyttötarkoituksena on lumenauraus, on yhdistetyn pohja- ja takalevyn mankeloidulla muodolla saatu siipikauha täyttymään paremmin täyteen, kun lumi lähtee rullautumaan ja kasaantumaan siipikauhaan helposti ja tehokkaasti. Yhdistetyn pohja- ja takalevyn valmistuksessa voidaan käyttää myös useampaa erilaista valmistusmenetelmää, jolloin saavutetaan kustannustehokas ja kestävä rakenne.

4 LIITOSMENETELMÄT

4.1 Hitsaus

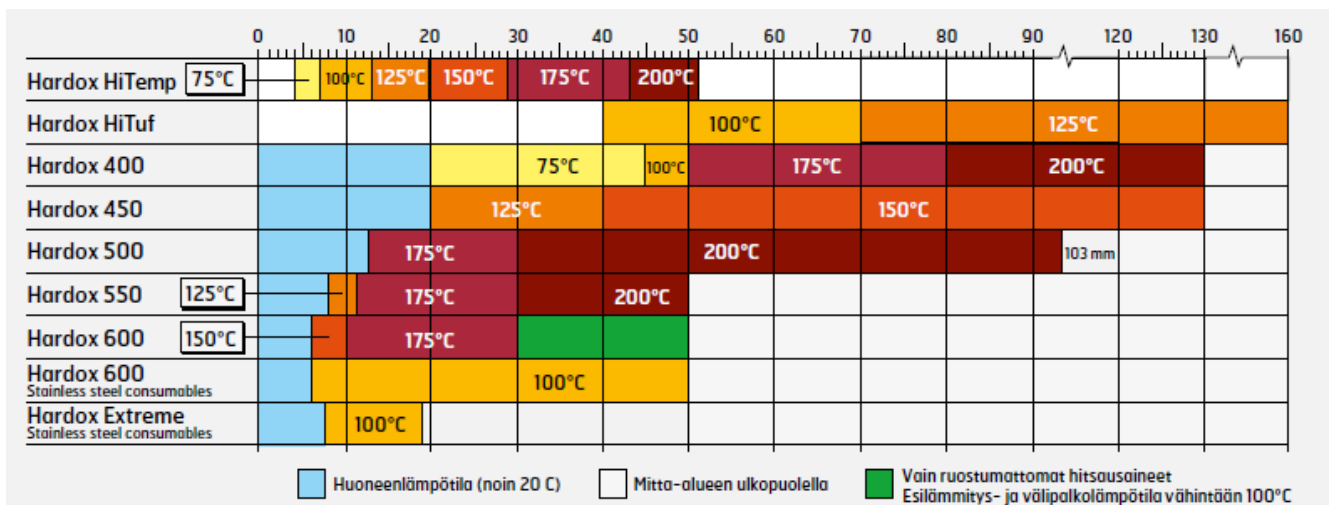
Siipikauhan pääasiallinen liitosmenetelmä on hitsaaminen. Siipikauhan hitsaamiseen voidaan käyttää erilaisia hitsausprosesseja, mutta niistä jokaisella on omat parhaat käyttökohteet ja hitsausympäristöt. Tehokkaalla hitsausprosessilla saadaan tuotettua laadukasta saumaa kustannustehokkaasti. Hitsatessa isoja levyrakenteita on kuitenkin otettava huomioon isojen levymäisten teräsrakenteiden taipumus lämpöväntymiseen.

Hitsauksessa liitetään osia toisiinsa käyttäen hyväksi lämpöä ja/tai puristusta siten, että osat muodostavat jatkuvan yhteyden toisiinsa. Hitsauksessa yleensä käytetään lämmönlähteenä hitsausvirtalähteen sähköllä tuottamaa valokaarta. Hitsauksessa voidaan käyttää valokaaren tuottamaa lämpöä siten, että osat sulavat yhteen. Yleensä hitsaustapahtumassa lisätään lisäainetta hitsausseumaan. Yleisimmin hitsattavia materiaaleja ovat erilaiset metallit, mutta myös muoveja voidaan hitsata. Muovien hitsauksessa ei yleensä käytetä valokaarta vaan kuumaa ilmaa tai sähkövastusta. (Mitä hitsaus on, [viitattu 26.12.2020].)

4.1.1 Kulutusterästen hitsaus

Kulutusteräksien hitsauksessa on otettava huomioon kulutusterästen vaatima esilämmitystarve vetyhalkeilun estämiseksi. Aina kuitenkin kulutusterästä ei tarvitse esilämmittää ennen hitsausta. Esilämmityksen tarve ja minimi esilämmityslämpötila voidaan määrittää esimerkiksi teräsyhtiö SSAB:n Hardox®- terästen ollessa kyseessä taulukosta 1. Samasta taulukosta voidaan määrittää hitsauspalkojen välinen minimilämpötila. (SSAB, [viitattu 13.1.2021].)

Taulukko 1. Hardox®-levyjien suositeltavat esilämmityksen ja välipalkojen minimilämpötilat (mm) (SSAB, [viitattu 13.1.2021]).



Teräksen hitsattavuuden määrittämiseen voidaan käyttää myös hiiliekvivalenttia ja hiilipitoisuuden määrää. Hiilipitoisuuden ollessa pienempi tai yhtä suuri kuin 0,18 %, katsotaan teräksen olevan hyvää hitsata. Hiiliekvivalentin ollessa pienempi tai yhtä suuri kuin 0,41 %, katsotaan teräksen olevan hyvää hitsattavaa karkenemishalkeamien kannalta. SSAB ilmoittaa Hardox® 550 kulutusteräkselle paksuuksilla 8–31,9 mm hiiliekvivalentiksi 0,46. SSAB ei ilmoita Hardox® kulutusteräksille kaikkien alkuaineiden pitoisuuksia mitkä tarvitaan hiiliekvivalentin laskemiseen. (SSAB, [viitattu 16.1.2021].) Hiiliekvivalentti lasketaan kaavalla:

$$CE = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr+Mo+V}{5} + \frac{Ni+Cu}{15} \quad (1)$$

missä

Mn = Mangaanin pitoisuus

Cr = Kromin pitoisuus

Mo = Molybdeenin pitoisuus

V = Vanadiinin pitoisuus

Ni = Nikkelin pitoisuus

Cu = Kuparin pitoisuus

Hitsausprosesseissa, joita tyypillisesti käytetään kulutusterästen hitsaukseen, on yhteistä, että niissä käytetään yleensä hitsauslisäainetta. SSAB suosittelee kolmen eri hitsausaine pääryhmän hitsauslisäaineen käyttöä Hardox® kulutusteräksille. Hitsauslisäaine ryhmät ovat seostamattomat, vähäseosteiset ja ruostumattomat austeniittiset hitsauslisäaineet. Hitsauslisäaineen valintaan vaikuttaa hitsattavan kohteen käyttö ja käyttö olosuhteet. Ruostumattomat hitsauslisäaineet mahdollistavat austeniittisen rakenteensa takia huomattavan pienen vety- ja kuumahalkeilun riskin ja samalla mahdollistaa hitsaamisen ilman esilämmitystä. (Rissanen 2011, 20–21.)

Seostamattomien ja niukkaseosteisten hitsauslisäaineiden suositeltu enimmäis myötölujuus on 500 MPa, mutta kuitenkin lujempia aina 900MPa myötölujuuteen asti voidaan käyttää Hardox® 400 ja 450 kulutusteräksille paksuusalueille 0,7–6,0 mm. Niukkaseosteisen hitsauslisäaineen avulla saadaan hitsistä kovempi ja kulutusta kestävämpi. Kohteissa, joissa hitsi joutuu kovan kulutuksen rasittamaksi, voidaan hitsin kulutuskestävyyttä parantaa kovahitsaamalla pintapalot hitsiin. SSAB suosittelee taulukossa 2. olevien hitsauslisäaineiden käyttö Hardox® kulutusterästen hitsaukseen. (SSAB, [viitattu 16.1.2021].)

Taulukko 2. Hardox® kulutusteräksille suositellut hitsauslisäaineet (SSAB, [viitattu 14.1.2021].)

Hitsausmenetelmä	AWS-luokitus	EN-luokitus
MAG-umpilankahitsaus	AWS A5.28 ER70X-X	EN ISO 14341-A- G 38x
	AWS A5.28 ER80X-X	EN ISO 14341-A- G 42x
MAG-metallitäytelankahitsaus	AWS A5.28 E7XC-X	EN ISO 17632-A- T 42xH5
	AWS A5.28 E8XC-X	EN ISO 17632-A- T 46xH5
MAG-jauhetäytelankahitsaus	AWS A5.29 E7XT-X	EN ISO 17632 -A- T 42xH5
	AWS A5.29 E8XT-X	EN ISO 17632 -A- T 46xH5
Puikkohitsaus	AWS A5.5 E70X	EN ISO 2560-A- E 42xH5
	AWS A5.5 E80X	EN ISO 2560-A- E 46xH5
Jauhekaarhitsaus	AWS A5.23 F49X	EN ISO 14171-A- S 42x
	AWS A5.23 F55X	EN ISO 14171-A- S 46x
TIG-hitsaus	AWS A5.18 ER70X	EN ISO 636-A- W 42x
	AWS A5.28 ER80X	EN ISO 636-A- W 46x

Huomaa: X viittaa yhteen tai useampaan merkkiin

4.1.2 Puikkohitsaus

Puikkohitsauksessa puikonpitimeen kiinnitetty hitsauspuikko toimii hitsauselektrodina, jolloin valokaari palaa lisäainepuikon ja hitsattavan työkappaleen välissä. Puikkohitsauksessa puikon sydänlanka sulaa ja sulanut sydänlanka siirtyy kuonan ympäröiminä pisaroina hitsisulaan. Hitsaustapahtuman aikaisen suojan muodostaa hitsauspuikon päällysteen muodostamat kaasut ja kuonat. Puikkohitsauksessa hitsauselektrodina toimina hitsauspuikko lyhenee koko ajan hitsausprosessin edetessä. Tämä aiheuttaa sen, että hitsauspuikonpidintä on koko ajan tuotava lähemmäksi työkappaletta, jotta elektrodin ja hitsaussulan välinen etäisyys pysyisi vakiona koko hitsausprosessin ajan. (ESAB puikkohitsaus, [viitattu 24.12.2020].)

Puikkohitsaus on erittäin yleinen hitsausmenetelmä kaikkialla hitsaavassa teollisuudessa, koska sitä voidaan käyttää lähes kaikenlaisissa olosuhteissa. Puikkohitsaus on erityisen yleistä asennustyömailla, joissa vaaditaan hyvää ulottuvuutta ja hitsaus tapahtuu ulko-olosuhteissa. Ulko-olosuhteet tuovat haasteena usein tuulen, joka häiritsee hitsausprosessissa, joissa tarvitaan erillistä suojakaasua. (Kemppi puikkohitsaus, [viitattu 24.12.2020].)

Puikkohitsauslaitteisto koostuu hitsausvirtalähteestä, hitsauskaapeleista, puikonpitimestä ja maadoituspuristimesta. Puikkohitsausta aloittaessa kiinnitetään lisääine- eli hitsauspuikko puikonpitimeen. Hitsaus aloitetaan hitsauspuikolla terävällä raapaisulla hitsausrailon pohjalla. Seuraavana hitsauspuikko siirretään hitsauksen aloituskohtaan ja lähdetään kuljettamaan hitsauspuikkoa rauhallisilla liikkeillä hitsaussulan muotoa ja koostumusta tarkkaillen. Puikkohitsauksessa hitsauspuikkoa kuljetetaan vetävässä asennossa. Koko hitsausprosessin ajan valokaaren pituus on pidettävä vakiona. Hitsauspuikon tai sauman lopussa hitsauspuikko sammutetaan kuljettamalla hitsauspuikkoa hieman valmiin hitsausnauman päälle ja nostamalla hitsauspuikko suoraan ylös kappaleesta. Hitsausta jatkettaessa on edellisen hitsinauman päältä poistettava kuona ja hitsinauma on puhdistettava teräsharpalla. Uuden hitsauspuikon sytytys tehdään hieman edellisen hitsinauman edessä, jonka jälkeen hitsauspuikko siirretään takaisin edellisen hitsinauman päälle. (Kemppi puikkohitsaus, [viitattu 24.12.2020].)

Puikkohitsaaminen on kuitenkin siipikauhan valmistuksessa hyvin hidas hitsausmenetelmä. Siipikauhassa on pitkiä yhtenäisiä hitsejä, joiden hitsaaminen pienissä osissa, minkä hitsauspuikon riittoisuus sallii, on hyvin hidasta ja kallista niin työn kuin hitsauslisäaineen puolesta. Puikkohitsaus on kuitenkin siipikauhan korjaushitsauksissa varteen otettava hitsausmenetelmä.

4.1.3 MIG/MAG-hitsaus

MIG/MAG- hitsauksessa valokaari palaa automaattisesti vakionopeudella syötettävän lisäainelangan ja työkappaleen välissä. Hitsaustapahtumaa suojataan erillisellä suojakaasulla. Suojakaasun tyyppi erottaa MIG- ja MAG- hitsauksen toisistaan. MIG- hitsaus on lyhenne sanoista Metal-arc (metallikaari), Inert Gas (inerttinen kaasu) ja MAG- hitsaus on lyhenne sanoista Metal-arc (metallikaari), Activ Gas (aktiivinen kaasu). Eli nämä hitsausprosessit erottavat toisistaan joko hitsaustapahtumaan ei osallistuvasta tai osallistuvasta suojakaasusta. (Lepola ja Makkonen 2005, 103.)

MIG/MAG- hitsaus on nykyisin useimmissa maissa yleisin hitsausprosessi. MIG/MAG- hitsausprosessin parhaimpia puolia on jatkuva lisäainelanka, mekanisointi ja etenkin automatisoinnin helppous. Lisäksi hitsausprosessi on myös kuonatonta ja hitsausprosessissa voidaan saavuttaa korkea tuottavuus. MIG/MAG- hitsauksessa käyttöalue alkaa noin 1 mm

perusaineen paksuudesta. MIG/MAG- hitsaus on yleisin hitsausprosessi automatisoidussa robottihitsauksessa. (ESAB MIG/MAG-hitsaus, [viitattu 24.12.2020].)

MIG/MAG- hitsauslaitteisto on monimutkaisempi kuin puikkohitsauksessa käytettävä hitsauslaitteisto ja vaatii samalla enemmän huoltoa ja kunnossapitoa. Hitsauslaitteisto koostuu tyypillisesti hitsausvirtalähteestä, lisäainelangansyöttölaitteistosta, maadoituskaapelista, hitsauspistoolista ja useimmiten myös nestejäähdytysyksiköstä. Nestejäähdytysyksikön tarkoitus on kierrättää jäähdytysliuosta nestejäähdytetyssä hitsauspistoolissa varmistuen hitsauksen maksimaalisen hyötysuhteen. Kaasujäähdytetyssä hitsauspistoolissa hitsauspistoolin jäähdytys on hitsauksessa käytettävän suojakaasun varassa. (Kemppi MIG/MAG-hitsaus, [viitattu 24.12.2020].)

MIG/MAG- hitsaus on siipikauhan valmistuksessa niin yksittäiskappaleiden kuin sarjatuotantona valmistettavien siipikauhojen hitsausmenetelmistä kaikkein yleisin ja varteen otettavin vaihtoehto. MIG/MAG- hitsauksen mahdollistamia pitkiä hitsejä voidaan hyödyntää siipikauhan hitsauksessa tehokkaasti. Lisäksi hitsausprosessin helppo automatisoituus hitsausrobottihitsaukseen mahdollistaa sarjavalmistuksessa suuret siipikauhojen valmistusmäärät ja kilpailukykyiset valmistuskustannukset.

4.2 Ruuviliitos

Kiinnitysruuvien tyypillinen käyttötarkoitus on rakenneosien liittäminen toisiinsa. Kiinnitysruuveilla saadaan aikaan liitettävien pintojen välille tasainen kiristys ja tarvittaessa riittävän luja liitos. (Keinänen ja Kärkkäinen 2009, 277.)

Kiinnitysruuvit ja ruuviliitoksen muut komponentit ovat hyvin kattavasti standardoituja. Standardointi mahdollistaa ruuviliitoksen komponenttien sopimisen eri valmistajien kesken ja edullisen ruvikomponenttien hinnan. Ruuvityyppjä on kuitenkin olemassa lukuisi erilaisia. Suunnittelijan on pyrittävä käyttämään mahdollisimman vähän erilaisia komponentteja, koska lisääntynyt määrä erilaisia komponentteja kasvattaa kustannuksia varastoinnissa ja kokoonpanossa. (Lempiäinen ja Savolainen 2003, 101–107.)

Ruuviliitos on yksi yleisimmistä kiinnitysmenetelmistä erilaisissa konstruktioissa. Ruuviliitos mahdollistaa liitoksen helpon ja yksinkertaisen purkamisen. Purkaminen onnistuu myös loppukäyttäjän toimesta ja yleisesti saatavilla olevilla työkaluilla. Tämän takia ruuviliitos on

suositeltu liitostapa silloin, kun suunnittelussa pyritään DFS-suunnitteluun, eli huoltoystävälliseen suunnitteluun. (Lempiäinen ja Savolainen 2003, 101.)

Ruuviliitoksen suurimpia haittoja on liitoksen luotettavuus, joka johtuu useimmiten vaikeasti hallittavasta kiristysmomentista ja ruuviliitoksen kiristysmomentin löystymisestä rakenteen käytön aikana. Ruuveissa on myös epäjatkuvuuskohtia, joissa on korkeita jännityshuippuja. Yleisimmin ruuviliitosta kuormittaa ruuvin akselin suuntainen voima ja tätä vastaan kohtisuora leikkausvoima. Ruuviliitoksessa on pyrittävä useimmiten siihen, että ruuvin kiristyksellä aikaansaadun aksiaalivoiman tuottama kitkavoima liitettävien pintojen välillä siirtää leikkausvoiman kappaleesta toiseen. Tällöin ruuvin kiristyksessä mahdollisesti syntynyt vääntöleikkausjännitys on ainoa leikkausjännitys ruuvin varressa. Tämän takia ruuviliitoksen kestävyuden kannalta tärkein ominaisuus on ruuvin vetomurtolujuus. (Ferrometal Oy, [viitattu 4.1.2021].)

Yleisimmin ruuvin kantaan on merkitty ruuvin lujuusluokkatunnus. Lujuusluokkatunnus koostuu kahdesta numerosta, jotka on erotettu pisteellä esimerkiksi 8.8. Näistä luvuista ensimmäinen ilmoittaa ruuvin murtolujuuden ja toinen luku myötörajan taulukon 3. mukaisesti. Ruuvien lujuusluokkia on olemassa useita, mutta tyypillisesti koneenrakennuksessa käytössä on kolme 8.8, 10.9 ja 12.9. (Björk ym. 2014, 140.)

Taulukko 3. Ruuvien lujuusluokat ja lujuudet (SFS-EN 898-1 2013).

Lujuusluokka	8.8	10.9	12.9	
Murtolujuus, R_m	800	1000	1200	MPa
0,2% -venymisraja, $R_{p0,2}$	640	900	1080	MPa

Siipikauhassa on siipikauhan rakenteen takia hyvin vähän ruuviliitoksia. Ruuviliitoksilla liitetään siipikauhassa lähinnä erilaisia loppukokoonpanossa liitettäviä pienempiä erillisiä komponentteja kauhan runkoon ja siipiin. Tällaisia erillisiä komponentteja ovat esimerkiksi hydraulikkajärjestelmän komponentit, siipien kulutusterät ja näkyvyyttä lisäävät heijastimet ja välähdysvalot.

4.3 Akseliliitos

Jos siipikauhan siipien kääntöä ei ole toteutettu tyypillisimmällä tavalla eli hydraulisylintereillä, voidaan siipien kääntämiseen käyttää esimerkiksi hydraulimoottoria. Hydraulimoottorin akselin kytkemiseen siiven runkoon tarvitaan liitosmenetelmä, jolla hydraulimoottorin akseli saadaan liitettyä siivenrunkoon. Tällaisessa rakenteessa on hydraulimoottori käytännössä järkevintä sijoittaa siiven saranan kanssa samaan pyörähdyskeskiöön. Tällöin saadaan aikaan tilanne, jossa on kaksi päittäin olevaa akselia, jotka pitää yhdistää momenttia kantavalla liitoksella. Liitos on kuitenkin oltava purettavissa ja sen on sallittava pienet linjausvirheet. Lisäämällä voimansiirtokomponentteja voidaan hydraulimoottorin sijaintia siipikauhassa myös muuttaa, mutta tällöin tarvitaan erilaisia liitoksia eri kohtiin voimansiirtojärjestelmää.

Akseliliitosta käytetään liittämään kaksi päittäin olevaa ja pyörivää akselia toisiinsa. Akseliliitokset voidaan jakaa kahteen ryhmään akseliliitoksen toimintatavan mukaan. Akseliliitokset voidaan jakaa akselikytkimiin ja akseliliitoksiin. Näiden erona toisiinsa nähden on akseliliitoksen kytkennässä. Akselikytkintä käyttäessä voidaan kytkentä tehdä akselin pyöriessä ja akseliliitosta käyttäessä on kytkettävien akselien oltava paikallaan. (Björk ym. 2014, 221.)

Akseliliitokset voidaan ryhmitellä vielä tarkemmin kiinteisiin akseliliitoksiin ja joustaviin akseliliitoksiin. Kiinteä akseliliitos ei salli akseleiden välistä poikkeamaa suuntauksessa pyörähtämisakselin suhteen. Joustava akseliliitos sallii tiettyjä akselien välisiä siirtymiä, kuten aksiaaliliike, radiaaliliike ja kulmaliike. Nimellisvääntömomentin aiheuttama vääntökulman siirtymä on kuitenkin hyvin pieni käytettäessä tällaisia joustavia akseliliitoksia, joten näitäkin kytkintyypppejä voidaan pitää vääntöjäykkinä. Lisäksi on olemassa myös vääntöjoustavia akseliliitoksia, joilla voidaan lisätä akseliliitoksen vääntöjoustavuutta ja vaimentaa vääntövarähtelyä. (Björk ym. 2014, 221.)

Oikean akseliliitostyyppin valinnassa on otettava huomioon käyttökohteen asettavat vaatimukset, tehonsiirtokyky, ympäristöolosuhteet ja kuormituksen luonne. (Björk ym. 2014, 222–223.)

4.3.1 Kiinteä akseliliitos

Kiinteä akseliliitos soveltuu parhaiten sellaiseen rakenteeseen, jossa akselit ovat tarkasti asetettu linjaan pyöräntämisakselin suhteen. Akseleiden linjaus voi olla rakenteesta johtuva tai säädettävissä oleva. Akseleiden linjaus on hyvä varmistaa aina tähän käyttöön tarkoitetuilla mittavälineillä. Akseleiden rakenteen, tuennan ja käyttökohteen on oltava myös sellaiset, että ne eivät aiheuta lämpölaajenemisesta, poikittaisvoimista tai taivutusmomenteista johtuvia rakenteiden joustamista ja tätä kautta akseleiden suuntauksen muutosta. (Ansaharju. 2009, 220–221.)

Kiinteitä akseliliitostyyppejä on olemassa useita erilaisia ja oikean tyyppin valinta on usein tehtävä rakenteesta johtuvien rajoitusten suhteen. Kiinteitä akseliliitoksia ovat esimerkiksi laippaliitos, kuorikytkin, profiiliakseli ja profiiliholkki, kutistus- ja puristusliitos sekä kartioholkki kaksoisnapa. (Björk ym. 2014, 226–256.)

4.3.2 Joustava akseliliitos

Joustavalla akseliliitoksella tarkoitetaan sellaista rakennetta, jossa on joustava osa tai elementti pääasiassa vääntöjouston lisäämiseksi ja akseleiden välisen pienen kulman mahdollistamiseksi. Joustavalla akseliliitoksella voidaan vaimentaa myös vääntövärähtelyä. Joustavien akseliliitosten sallitut pyörimisnopeudet ovat usein alhaisemmat kuin kiinteiden akseliliitosten. Alhaisemmat pyörimisnopeudet johtuvat joustavan elementin rajoitetusta kehänopeudesta. (Björk ym. 2014, 235–236.)

4.3.3 Nivelakselit ja nivelet

Nivelakseleilla ja nivelillä siirretään vääntömomenttia ja pyörimisliikettä. Nivelet mahdollistavat, että akseleiden välinen kulma voi olla kiinteä tai muuttuva. Eivakionopeusnivelen kulmanopeussuhde muuttuu käyttävän ja käytettävän akselin välillä, silloin kun nivelkulma on suurempi kuin nolla. Vakionopeusnivel pitää kulmanopeussuhteen tasaisena kaikilla nivelkulmilla. Nivel voi mahdollistaa myös aksiaalisen liikkeen, jolloin sitä sanotaan liukuniveleksi. (Björk ym. 2014, 229–230.)

Nivelakseleiden ominaisuudet kulmanopeussuhteen ovat samanlaiset kuin pelkillä nivelillä, koska nivelakseli koostuu usein kahdesta nivelestä, joiden välissä on joko kiinteä akseli tai

aksaalisenliikkeen mahdollistava ura-akseli ja liukuhaarukka. Nivelakseleita käytetään yleisesti autoissa sekä erilaisissa työ- ja työstökoneissa. Nivelakseleiden tärkeimpiä etuja on suhteellisen alhaiset valmistuskustannukset, yksinkertainen rakenne, hyvä momentinsiirtokyky, suurien aksiaalivoimien kesto ja hyvä hyötysuhde. (Björk ym. 2014, 230–232.)

5 MATERIAALIT

Materiaalien valinta on tärkeä osa suunnitteluprosessissa. Oikealla materiaalien valinnalla saavutetaan suunniteltavaan laitteeseen halutut ominaisuudet ja toiminnot koko käyttöiän aikana. (Koivisto ym. 2014, 248). Siipikauhassa käytävä materiaalit ovat pääasiassa eri laatuista teräksiä. Teräksiä valmistetaan useita erilaisia, joiden kemiallinen koostumus, valmistustavat ja lämpökäsittelyt ovat erilaisia. (Lepola ja Makkonen. 2009, 44.)

5.1 Kulutusteräs

Siipikauhassa käytettäviltä teräksiltä vaaditaan eri kohdassa siipikauhaa eri ominaisuuksia. Siipikauhan pohjalevyiltä vaaditut tärkeimmät ominaisuudet ovat hyvä kulutuksen kestävyys ja hitsattavuus. Terästoimittaja SSAB valmistaa kulutusta kestäviä teräksiä tuotenimellä Hardox®. Hardox® teräksiä toimitetaan eri kovuisina ja nimen perässä oleva luku ilmoittaa teräksen kovuuden HBW- yksikössä. Yleisimpien Hardox® teräksien kovuus on välillä 400–600 HBW. Hardox® terästen tyypillisiä käyttökohteita on erilaiset käyttökohteet, joissa teräs joutuu kulutukselle alttiiksi. Tällaisia käyttökohteita on esimerkiksi erilaiset kauhat, murskanterien vuoraukset, huulilevyt ja kuljetuskaluston lavojen rakenteet. (Rissanen. 2011, 7–10.)

5.2 Rakenneteräs

Rakenneteräksillä tarkoitetaan teräksiä, joiden murtolujuus ei oleellisesti ylitä 500 N/mm^2 . Rakenneteräksiä käytetään nimensä mukaan erilaisissa hitsattavissa ja hitsaamattomissa rakenteissa. Tällaisia rakenteita ovat esimerkiksi erilaiset sillat, rakennusten rungot, koneiden osat ja rungot, laivat ja liikennevälineet. Rakenneteräksiä toimitetaan standardin SFS-EN 10025 mukaisesti kuumamuovattuina levyinä, nauhoina, tankoina ja takeina. (Björk ym. 2014, 93–94.)

Yleisimpien käytössä olevien rakenneterästen nimikkeet koostuvat tunnuskirjaimista ja numeroista siten, että ne kuvaavat teräkseen soveltuvuuskohteen ja keskeiset mekaaniset, fyysiset ja kemialliset ominaisuudet. Nimike alkaa yleisesti päätunnuksella, jonka jälkeen on myötölujuuden vähimmäisvaatimus yksikössä N/mm^2 . Myötölujuuden vähimmäisvaatimuksen jälkeen tulee lisätunnukset, joilla määritellään mm. teräksen kemiallinen koostumus,

toimitustila ja käyttökohde. Rakenneterästen päätunnus on S ja erään yleisesti käytetyn rakenneteräksen myötölujuuden vähimmäisvaatimus on 355 N/mm^2 . Tämän rakenneteräksen nimike on siis S355J2, jossa lisätunnus J2 ilmoittaa teräksen iskuenergian vähimmäisarvoksi 27J lämpötilassa -20°C . (SFS-EN 10027-1 2016.)

Rakenneteräksen käyttäminen siipikauhassa on suositeltua sellaisissa paikoissa siipikauhaa, mitkä eivät altistu erityisen koville rasituksille ja kulutuksille. Rakenneteräksen käyttämistä kannattaa suosia, koska se on yleisesti paljon käytetty teräluokka ja sen saatavuus on hyvä. Rakenneterästä valittaessa siipikauhaan on otettava huomioon siipikauhan käyttöolosuhteiden asettamat vaatimukset materiaalille. Siipikauhan normaali käyttölämpötila voi olla jopa -35°C , joka on syytä huomioida rakenneterästä valittaessa.

5.3 Ainestodistus

Ainestodistuksella valmistaja todistaa, että toimitettu materiaali on ominaisuuksiltaan sellaista mistä on tilaajan kanssa sovittu. Ainestodistukset on standardoitu standardissa SFS- EN 10204 ja standardissa on määriteltyjä erityyppisiä ainestodistuksia eri tilanteita varten. Materiaalin ja ainestodistuksen välinen yhteys on voitava jäljittää ja jäljitettävyyden varmistamiseksi on ainestodistuksessa oltava materiaalin tunnistetiedot. (SFS-EN 10204 2004.)

Vaikka siipikauhan valmistus tapahtuisi vain yksittäistuotteena, on hyvä pyytää materiaalien toimittajalta ainestodistus materiaalitulauksen yhteydessä. Tällöin voidaan todentaa kyseisten materiaalien vastaavan tilattua materiaalia. Ainestodistuksen pyytäminen samalla, kun tilaa materiaaleja, on huomattavasti edullisempaa kuin jälkikäteen tapahtuva ainestodistuksen hankkiminen.

6 LUJUUSLASKENTA

Lujuuslaskennassa pyritään ennakoimaan rakenteeseen kohdistuvia rasituksia ja niiden aiheuttamaa rakenteen mekaanista käyttäytymistä. Lujuuslaskennalla pyritään varmistamaan, että rakenne kestää suunnitellut kuormitukset ja rasitukset koko suunnitellun kestoiän aikana.

Laskentaa varten luodaan laskentamalli, jonka avulla tehdään lujuuslaskelmat. Laskentamalli on yleisesti jonkin asteinen yksinkertaistus todellisesta rakenteesta. Myös rakenteeseen kohdistuvia kuormituksia pitää usein yksinkertaistaa, koska todellisuudessa niiden vaikutusmekanismit rakenteelle ovat hyvin monimutkaisia ja joskus jopa ennakkoon arvaamattomia. Laskentamallin ja laskennassa käytettyjen kuormitusten pitäisi kuitenkin vastata riittävän hyvin käytännön tilannetta rakenteen käytön aikana. Rakenne voi kuitenkin vaurioitua, vaikka lujuuslaskelmat olisi tehty oikein ja kaikki tiedossa olleet kuormitukset on otettu huomioon. Tällöin rakenne vaurioituu usein ennakkoon arvaamattoman kuormituksen takia. (Björk ym. 2014, 17–18.)

6.1 FEM

Numeerisia laskentamenetelmiä on kehitetty useita erilaisia. Parhaaksi niistä on osoittautunut elementtimenetelmä eli FEM, jota nykyään käytetään lujuuslaskennassa lähes yksinomaan. FEM-ohjelmistosta käytetään myös lyhennettä FEA, joka tarkoittaa elementtimenetelmällä suoritettavaa laskentaa. Elementtimenetelmän yleistymisen perustuu tietokoneisiin, jotka mahdollistavat tehokkaan suurten numeromäärien käsittelyn. FEM-ohjelmistoissa on joko erilliset tai sisäänrakennetut esi-, laskenta- ja jälkikäsitteilyohjelmistot, mitkä yhdessä mahdollistavat helpon, yksinkertaisen ja mukavan rajapinnan ihmiselle syöttää vaadittavia tietoja laskentaa varten ja samalla myös tulosten tarkasteluun. (Lähteenmäki, [viitattu 20.1.2021].)

Aluksi on ollut mahdollista laskea vain lineaarisen lujuusopin alueella tapahtuvia asioita, mutta nykyisin on mahdollista tutkia myös muun muassa geometrian ja materiaalin epälineaarisen käyttäytymisen aiheuttamia vaikutuksia. Elementtimenetelmän on huomattu soveltuvan minkä tahansa differentiaali- tai osittaisdifferentiaaliyhtälöiden ratkaisemiseen tietyillä reunaehdoilla. Tällaisia sovelluksia elementtimenetelmällä ovat esimerkiksi lämmönsiirron, virtausopin, maamekaniikan, kalliomekaniikan, sähkötekniikan, värähtelymekaniikan ja akustiikan eri tehtävien ratkaiseminen. (Lähteenmäki, [viitattu 20.1.2021].)

6.2 Von Mises vauriohypoteesi

FEM-laskennan tuloksena saadaan selville pisteen jännitystila. Jännitystila koostuu useista jännityskomponenteista. On kehitetty useita erilaisia teorioita siihen, miten materiaalit käyttäytyvät silloin kun materiaalin pisteeseen kohdistuu moniakselinen jännitystila. Näitä teorioita sanotaan lujuushypoteeseiksi. Lujuushypoteeseista ylivoimaisesti käytetyin on von Misesin lujuushypoteesi, joka toimii hyvin kaikissa kuormitustilanteissa teräksillä ja muillakin metalleilla. Von Misesin myötöehto ”Materiaali myötää sellaisessa pisteessä, jossa pisteen vääristymisenergiatiheys saavuttaa kyseiselle materiaalille myötämisen suhteen kriittisen arvon”. Von Mises myötöehtoa sanotaan myös vakiovääristymisenergihypoteesiksi eli lyhennettynä VVEH. Von Mises myötöehtoa käytetään lähes kaikissa FEM-ohjelmissa oletuksena. (Salmi ja Pajunen. 2018, 331–341.)

6.3 Nurjahduslaskenta

Nurjahduksella tarkoitetaan tilannetta, jossa kappale menettää stabiliteetin. Kappaleen muotojen vuoksi voidaan käyttää myös nimityksiä kiepahdus tai lommahdus. Nurjahdukselle tyypillisiä kohteita ovat puristuksen alaiset rakenteet. Nurjahtaminen voi johtua myös väännön, puristuksen ja taivutuksen vaikutuksesta kappaleeseen. Suoran vedon alaiset kappaleet ovat ainoastaan turvassa nurjahtamiselta. Nurjahdukselle alttiita rakenteita ovat erityisesti erilaiset hydraulii- ja pneumatiikkasyylinterit, liikeruuvit, kantavat palkit, isot ohutlevy rakenteet jne. (Suvanto, [viitattu 1.2.2021].)

FEM-ohjelmistolla voidaan tarkastella rakenteen nurjahduskestävyyttä, mutta ohjelmistoissa käytetyt laskentamallit ovat tyypillisesti täsmällisen suoraa ja eivät sisällä valmistuksessa syntyviä geometriavirheitä. Geometriavirheiden puuttumisen vuoksi ei FEM-laskennalla saatua nurjahduskerrointa voida suoraan käyttää, vaikka laskennan antama nurjahduskerroin olisi yli yhden, ei tätä voida vielä pitää riittävänä ehtona sille, etteikö rakenne menettäisi stabiliteettiaan. FEM-laskenta tarkastelee rakenteen herkkyyttä stabiliteetin menettämislle lineaarisen stabiliteettiteorian pohjalta.

Rakenteen stabiliteetin menettäminen ei perustu pelkästään Eulerin tapausten kaavoilla laskettuun nurjahdusjännitykseen, joka riippuu materiaalin kimmokertoimesta E . Todellisuudessa rakenteen stabiliteetin menettämiseen vaikuttavat kaikki rakenteessa vaikuttavat kuormitukset. Stabiliteetin menettämisen kannalta kriittinen asia on rakenteen

tyssääntyminen kuormitusten vaikutuksesta. Tyssääntyminen tapahtuu likimain silloin kun materiaalin jännitys on myötörajalalla R_e . Todellisuudessa tapahtuvan nurjahduksen laskeminen on hyvin monimutkaista ja sen laskemiseen on kehitetty lukuisia eri kaavoja. Kuitenkin laskemalla saatu nurjahduskerroin on jaettava varmuusluvulla, jolla kompensoidaan laskennan ja todellisen tilanteen eroavaisuuksia. Varmuusluvun suuruus vaihtelee rakenteesta ja tapauksesta johtuen hyvinkin paljon. Tyypillinen varmuusluku on yleensä väliltä 2–22. (Karhunen ym. 1992, 426–429.)

7 HYDRAULIIKKA

Hydrauliikka on erilaisissa työ- ja maansiirtokoneissa käytetyin voimansiirtojärjestelmä koneen ja koneeseen kytkettävän työvälineen tai lisävarusteen välillä. Hydrauliikan yleisyys työvälineiden ja lisävarusteiden erilaisten toiminnallisuuksien tehonlähteenä on hyvin suosittua, koska erilaisissa koneissa on valmiiksi saatavana työ- ja lisävarusteille tarkoitettua lisähydrauliikkaa ja lisäksi hydrauliikka tarjoaa hyvät ja tarkat säätömahdollisuudet eri toiminnallisuuksien käyttämiseen.

Hydrauliikassa muutetaan mekaaninen teho hydrauliseksi paineeksi ja tilavuusvirraksi. Mekaaninen teho tuotetaan tavallisesti poltto- tai sähkömoottorilla. Hydraulinen teho siirretään putkia ja letkuja pitkin venttiilien kautta aina työkohteeseen toimilaitteelle. Työkohteessa toimilaitte muuttaa hydraulisen energian takaisin mekaaniseksi energiaksi. Hydrauliikan etuina on joustavuus, komponenttien hyvä teho-paino-suhde ja hyvä hallittavuus. Hydrauliikan komponentit ovat myös hyvin kattavasta standardoituja, joka mahdollistaa komponenttien edullisen hinnan, hyvän saatavuuden ja vaihtokelpoisuuden. (Kauranen, Kajaste, Vilenius. 2013, 1–2.)

Siipikauhan siipien liikuttaminen on toteutettu käytännössä pelkästään hydrauliikalla. Hydrauliikan tarjoamia ominaisuuksia hyödyntämällä siipien liikkeistä on saatu tarkasti hallittavat ja sulavat. Lisäksi hydrauliikka on helppo kytkeä siipikauhaan työ- tai maansiirtokoneesta pikaliittimillä. Hydrauliletkut, joiden päissä on pikaliittimet mahdollistavat myös monipuolisen kytkettävyyden joustavuutensa ansiosta.

7.1 Paineakku

Paineakkua voidaan ajatella varastona hydrauliikkajärjestelmässä. Paineakussa säilytetään pumpun tuottamaa paine-energiaa tulevaa käyttöä varten. Hydraulineste ei normaalisti käytössä olevilla paineilla puristu merkittävästi kokoon, joten siihen on mahdotonta varastoida suuria energiamääriä. Eli energia on varastoitava muilla tavoilla. (Keinänen ja Kärkkäinen. 2005, 198.)

Nykyisin käytössä olevat paineakut ovat kaasun tilavuuden muutokseen perustuvia paineakkuja. Kaasutäyteinen paineakku koostuu kahdesta erillisestä kammioista, joista toisessa on kokoonpuristuvaa kaasua ja toisessa hydraulijärjestelmän hydraulineste.

Paineakuissa yleisin käytetty kaasu on typpi, koska se on neutraali kaasu. Paineakun nestetilan täytyessä väliseinän toisella puolella oleva kaasu puristuu kokoon ja hydraulinesteen paineen laskiessa laajeneva kaasu työntää nesteen takaisin käytettäväksi. (Keinänen ja Kärkkäinen. 2005, 198–199.)

Paineakkujen tyypillisiä käyttökohteita on lukuisia erilaisia. Tyypillisiä käyttökohteita ovat erilaiset pikaliike toiminnot, kappaleiden kiinnitys, hydraulipumpun tuottaman tilavuusvirran tasaaminen, paineiskujen tasaaminen ja erityyppisten joustavien liikkeiden aikaan saanti. Paineakkua suunniteltaessa hydraulikkajärjestelmään on kuitenkin otettava huomioon, että paineakusta on pystyttävä purkamaan paine turvallisesti tai eristämään paineakku järjestelmän huollon ajaksi. Paineakun sisältämä paine olisi hyvä pystyä tarkastamaan painemittarista ennen huoltotoimia. (Keinänen ja Kärkkäinen. 2005, 200–202.)

7.2 Venttiilit

Venttiilit ohjaavat ja säätelevät hydraulijärjestelmän toimintoja. Venttiilien toiminta perustuu joko hydraulinesteen virtauksen tai paineen säätämiseen ja ohjaamiseen. Yleisimmin hydraulikkaventtiilit jaetaan paine-, virta- ja suuntaventtiileihin niiden toiminnan perusteella.

Paineventtiilit ovat tyypillisesti monostabiileja eli sisällä oleva jousi ohjaa ne lepoasentoon silloin, kun ohjauspaine ei ole riittävä. Jousen jousivoimaa säätämällä pystytään vaikuttamaan paineventtiilin avautumiskynnykseen. Paineenrajoitusventtiili on käytännössä jokaisessa hydraulijärjestelmässä. Paineenrajoitusventtiiliin tehtävänä on suojata järjestelmää rajoittamalla paine tiettyyn maksimiarvoon. Paine nousee hydraulijärjestelmässä silloin kun vastustetaan virtausta tai kuormitetaan toimilaitetta. (Keinänen ja Kärkkäinen. 2005, 223–224.)

Hydraulijärjestelmien virtausnopeutta säätämällä virtausventtiilillä, saadaan säädettyä toimilaitteiden nopeutta. Virtausventtiili voidaan sijoittaa eripaikkoihin hydraulijärjestelmää sen mukaan, mikä on sen toiminnan kannalta oikea paikka. Virtausventtiileihin kuuluu myös virtauksenjakoventtiili. Virtauksenjakoventtiilillä saadaan jaettua virtauksenjakoventtiilille tuleva virtaus kahteen vakiosuhteiseen lähtövirtaukseen. Yleisimmin virtaus jaetaan tasan molempien lähtövirtausten kesken, mutta muutkin virtauksenjakosuhteet ovat mahdollisia. (Keinänen ja Kärkkäinen. 2005, 230–231.)

Suuntaventtiileillä ohjataan hydraulijärjestelmän hydraulinesteen tilavuusvirtausta sinne, missä sitä kulloinkin tarvitaan. Suuntaventtiilien ryhmään kuuluvia venttiilejä on useita erityyppisiä, mutta yleensä suuntaventtiilillä tarkoitetaan venttiilityyppiä, mikä on kehitetty muuttamaan tilavuusvirran suuntaa helposti ja nopeasti. Suuntaventtiileitä voidaan ohjata mekaanisesti, hydraulisesti, pneumaattisesti, sähköisesti tai käsin. Isompia suuntaventtiileitä esiohjataan pienemmällä esiohjausventtiilillä, jolla kompensoidaan ison suuntaventtiilin vaatimia suurempia voimia karan ohjauksessa. Esiohjausventtiiliä voidaan ohjata hydraulisesti, sähköisesti, mekaanisesti tai käsin. Esiohjausventtiili ohjaa suuntaventtiiliä hydraulisesti. (Keinänen ja Kärkkäinen. 2005, 232–238.)

7.3 Hydraulisyylinterit

Hydraulisyylinterit muuttavat hydraulisen energian mekaaniseksi energiaksi. Hydraulisyylinterit tuottavat edestakaista suoraviivaista liikettä. Hydraulisyylinterit jaetaan toimintatavan mukaan yksitoimisiin- ja kaksitoimisiin sylintereihin. Yksitoiminen sylinteri toimii hydraulisesti vain yhteen suuntaan ja paluuliike tapahtuu jousen tai ulkoisenkuorman vaikutuksen avulla. Kaksitoiminen sylinteri toimii kumpaankin suuntaan hydraulisesti mahdollistaen kaksisuuntaisen työliikkeen. Suuria massoja liikuttavissa hydraulisyylintereissä, jotka toimivat liikealueiden rajalta toisellensa tarvitsevat päätyvaimennuksen. Päätyvaimennus estää hydraulisyylinterin männän suuri energisen törmäyksen hydraulisyylinterin tullessa päätyasentoonsa. Päätyvaimennuksessa rajoitetaan hydraulisyylinteristä poistuvan hydraulinesteen virtausta ja tätä kautta hidastetaan hydraulisyylinterin liikenopeutta. (Keinänen ja Kärkkäinen. 2005, 255–260.)

7.4 Hydraulimoottorit

Hydraulimoottorit muuttavat hydraulinesteen hydraulisen energian mekaaniseksi energiaksi eli pyörimisliikkeeksi. Hydraulimoottorit ovat rakenteeltaan hyvin lähellä hydraulipumppuja ja joitakin niistä voidaan käyttää hydraulimoottorina tai hydraulipumppuna. Hydraulimoottorit ovat rakenteeltaan siipi-, hammaspyörä tai mäntämoottoreita ja joko vakio- tai säätötilavuusmoottoreita. Vakiotilavuusmoottoreiden pyörimisnopeutta säädetään moottorille tuodun hydraulinesteen virtauksen määrää säätelämällä. Säätötilavuusmoottoreiden pyörimisnopeutta säädetään muuttamalla säätötilavuusmoottoreiden kierrostilavuutta, hydraulinesteen virtauksen ollessa vakio. Vakiotilavuuksisten hydraulimoottorien

pyörimisnopeudet ovat mitoitettu omalle kierrosalueelleen ja paras vääntömomentti saavutetaan nopeakäyntisillä vakioilavuusmoottoreilla kierrosalueen yläosassa ja hidaskäyntisillä vakioilavuusmoottoreilla hyvin pienillä pyörimisnopeuksilla. Säätilavuusmoottoreiden kierrostilavuutta vinolevyjen vinokulmaa säätämällä saavutetaan suurella vinolevyn kulmalla pieni pyörimisnopeus ja suuri vääntömomentti. Pienellä vinolevyn kulmalla suuri pyörimisnopeus, mutta pieni vääntömomentti. (Keinänen ja Kärkkäinen. 2005, 261–265.)

8 SIIPIKAUHAN SUUNNITTELU

8.1 Rakenne- ja ominaisuusvaatimukset

Siipikauhalta vaaditut ominaisuudet asettivat siipikauhan rakenteelle tiettyjä ehtoja. Siipikauhan käyttökohteen asettamat haasteet kauhan rakenteelle ja ominaisuuksille oli määritelty kauhan suunnittelun tilaajan toimesta. Vaatimus ja samalla myös innovatiivinen idea oli, että kauhan siipien on käännyttävä enemmän kauhan etupuolelle kuin myytävissä olevissa siipilumikauhoissa ja mieluiten saman suuntaiseksi huulilevyn kanssa. Siipien kääntyminen huulilevyn kanssa saman suuntaiseksi ja myös huulilevyn ja siipien välinen mahdollisimman pieni rako olisi työn tilaajan kannalta ideaalitalanne ja toive.

Taulukko 4. Rakenne ja ominaisuus vaatimukset.

Rakenne ja ominaisuus vaatimukset		
nro.	Vaatimus	Tärkeys (1-5)
1.	Siipikauhan hyylilevyn leveys 3500 mm	3
2.	Pohjan kulutuksen kestävyys betonilattiaa vasten	5
3.	Siipien liikerata etupuolelle kauhaa huulilevyn suuntaiseksi	4
4.	Työvälinekiinnike Volvo L40-120 (Laihian Levypala)	Ehdoton
5.	Siipien jousitus	4
6.	Tasauskauhan mallinen kauha	2
7.	Valmistettavuus tilaajan toimesta, paitsi levyleikkaus	2
8.	Valmistus ja dxf-kuvat	5
9.	Mahdollisimman pieni rako siipien ja huulilevyn väliin	2
10.	Siivet kääntyvät kauhan sivuille	2

Siipikauhan rakenne ja ominaisuusvaatimukset kuitenkin muokkaantuivat ja tarkentuivat työn edetessä. Rakenne vaatimuksia lisäiltiin alussa, kun pohdittiin kauhan rakennetta ja siipikauhan käyttöä tilaajan kanssa ennen suunnittelun aloittamista. Taulukossa 4. on esitetty lopulliset tärkeimmät rakenne- ja ominaisuusvaatimukset suunnittelun alussa. Vaatimuksille on annettu myös painoarvot asteikolla 1–5.

8.2 Suunnitteluohjelmisto

Siipikauhan suunnittelussa käytettiin Autodesk Inventor Professional 2020 -ohjelmistoa. Tietokoneavusteisessa suunnittelussa voidaan ennakoida ja varmistaa, että monimutkainenkin rakenne on todellisuudessa toimiva. Lisäksi ohjelmistolla voi varmistaa rakenteen

kokoonpantavuutta, rakenteen kestävyyttä ja valmistaa erilaisia markkinointimateriaaleja. Suunnitteluohjelmistolla saadaan tehtyä myös valmistuskuvat ja eri työstömenetelmiä varten erilaisia 2D- ja 3D-tiedostomuotoisia malleja ja kuvia.

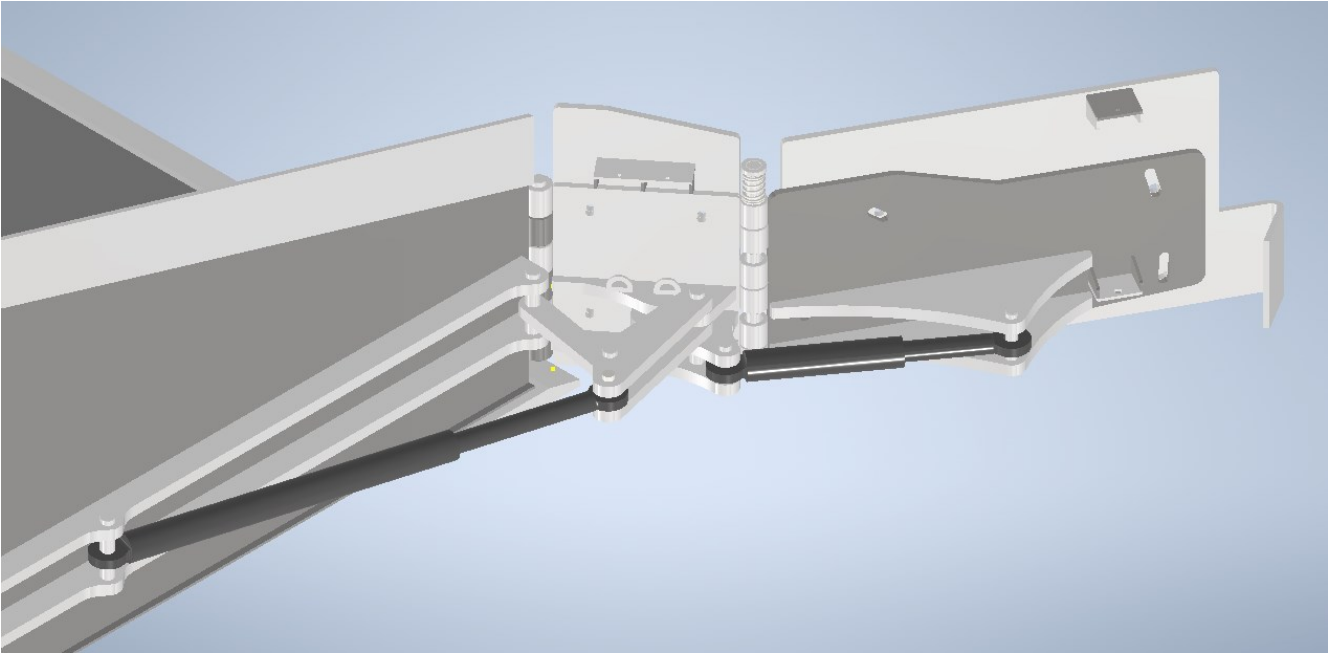
8.3 Siiven rakenne

Siiven suunnittelun lähtökohtana oli kaupallisen siipilumikauhan siipi, joka on esitetty kuvassa yksi, mutta hyvin pian suunnittelun edetessä ilmeni, että siipi ei käänny tarpeeksi kauhan etupuolelle tällaisella rakenteella. Nivelmekanismin lisäämisen jälkeen oli tilanne parempi, mutta liikerata jäi vieläkin liian vajavaiseksi kauhan etupuolella. Nivelmekanismin vuoksi siipi ei myöskään sovi ja pysty kääntymään enää kauhan sivulle.

Suunnittelussa ilmenneitä ongelmia ja ominaisuuksia siiven rakenteelta käsiteltiin kokouksessa suunnittelutyön tilaajan kanssa. Tilaaja kanssa yhdessä tarkennettiin siipikauhan ehtoja ja sallittiin, että siivet eivät käänny kauhan sivuille, kuten siipilumikauhoissa. Tärkeimpänä ehtona oli, että kauhan siivet on käännettynä siivulevyjen suuntaiseksi mahdollista oviaukosta ja oviaukon jälkeen siivet käännetään sivuille niin paljon, että ne koskettavat etukäytävän reunoilla oleviin betonisiin ohjauskorokkeisiin, jotka ohjaavat kauhaa ja suojaavat terästolppia ja juomakuppeja.

Yhtenä ideana tilaaja esitti hydraulimoottoria, joka kääntäisi siipeä. Hydraulimoottorilla olisi saavutettu helposti riittävän laaja liikealue, mutta hydraulimoottorin käyttäminen olisi vaatinut huomattavan järeää siiven ja kauhan sivun rakennetta verrattuna hydraulisyylinteriin, jolla siipeä saadaan tuettua kauempaa hydraulisyylinterin kiinnityskohdasta. Hydraulimoottorin akseli olisi pitänyt sijoittaa siiven saranan kanssa samaan pyörähtämiskeskiöön ja tukivoimaa siivelle ei olisi saatu kuin saranoinnista ja hydraulimoottoriin kiinnitetystä siiven rungosta.

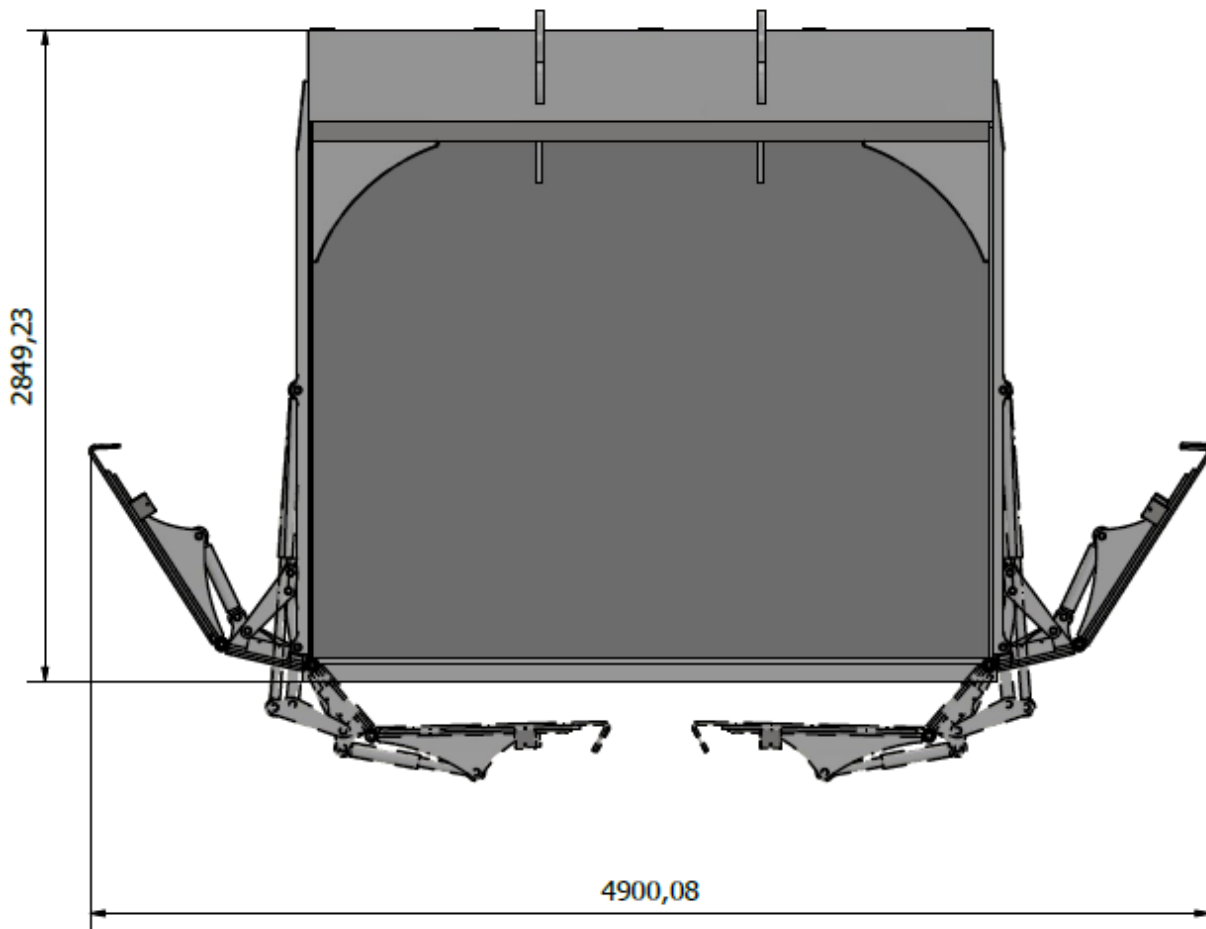
Lopulliseksi siiven rakenteeksi muodostui kokonaisuus, joka koostuu kaksiosaisesta siivestä. Kuvassa 2. on esitetty siipien lopullinen rakenne. Sisempi siipi liikkuu nivelrakenteen ja hydraulisyylinterin avulla mahdollistaen mahdollisimman pitkän liikealueen kauhan etupuolelle. Ulompi siipi on saranoitu sisempään siipeen ja se liikkuu hydraulisyylinterillä. Tällöin siipien liikerata on riittävän laaja ja hydraulisyylinterillä toteutettu rakenne antaa hyvin tukea siiville. Hydraulisyylinterit ovat kiinnitettynä erillisiin runkoihin kummassakin sylinterissä. Siiven levyt ja kulutusterät on kiinnitetty pulteilla siipien runkoihin.



Kuva 2. Lopullinen siipien rakenne.

Erillinen runkorakenne mahdollistaa samalla myös siipien kulutusterien jousituksen. Jousitusta tarvitaan, että kauhan ei tarvitse olla koko aikaa samassa optimissa kulmassa lattiaan nähden. Jousitus mahdollistaa sisemmän siiven huulilevyn nousemisen ylöspäin ja ulomman siiven huulilevyn nousemisen ylöspäin ja samalla myös kärjen kiertymisen ylöspäin. Jousikuorma painaa siipien kulutusteriä lattiaa vasten. Kuvassa 3. on esitetty siipikauhan siipien ääriasennot ja muutamia päämittoja siipikauhasta.

Siipien saranointi on toteutettu ainesputkesta valmistetuilla saranaholkeilla, joiden sisällä on voitelurei'itetty pronssinen liukulaakeri. Liukulaakerissa on myös kaulus, joka mahdollistaa myös aksiaalisen kuormituksen kantamisen. Saranan akselina on pyöröteräksestä valmistettu teräsakseli, jonka pyörimisliike on estetty kiinnittämällä akseli yhteen saranaholkkiin putkisokalla.



Kuva 3. Siipikauhan siipien liikealueiden ääriasennot.

8.4 Siipikauhan rakenne

Kauhan rakenteelle tilaaja antoi muutaman tarkemman määritelmän. Toiveena oli matalakauha, joka muistuttaisi sivuprofiililtaan tasauskauhaa. Tämä mahdollistaisi hyvän näkyvyyden kauhaan, mutta pienentää samalla myös tilavuutta. Kuivikelannan koostumuksen takia kauhan tilavuudesta jää yleensä aina isoin osa käyttämättä. Koostumuksen takia kauhan pitäisi olla mahdollisimman syvä. Syvään kauhaan saa helpommin isomman kuorman kuivikelantaa, joka pyrkii liikkumaan kauhan edellä lantakäytävää pitkin kauhalla työntäessä. Lisäksi kauhan pohjalevyn leveydelle asetettiin tilaajan toimesta mitaksi 3500 mm.

Siipien suunnittelun jälkeen pystyi mittaamaan kauhan pienimmän leveyden. Pienin mahdollinen kauhan leveys oli vain noin 200 mm alle pienimmän oviaukon leveyden. Tämä aiheuttaa mahdollisen törmäysriskin kasvamisen oviaukon reunoihin merkittävästi. Törmäysriskin pienentämiseksi kauhan pohjalevyn leveyttä kavennettiin 3000 mm:iin.

Betonisten ohjauskorokkeiden väli on kuitenkin niin pieni, että vaikka kauhan pohjalevyn leveys on 3000 mm saa siivet olla sellaisessa kulmassa, että kuivikelanta siirtyy kauhaan vielä helposti. Kuvan kaksi siipien asento on hyvin lähellä siipien asentoa, missä niitä tullaan käyttämään etukäytäviä puhdistettaessa.

8.5 Siipikauhan materiaalit

Siipikauhan pohjalevyksi valikoitui 6 mm vahvuinen Hardox® 550 teräslevy. Hardox® 550 teräs tarjoaa kauhan pohjalle riittävän kulutuksen kestävyuden, ja hitsaaminen ei edellytä erillistä esilämmitystä. Huomioitava on kuitenkin, että hitsaaminen tapahtuu minimissään huoneenlämmössä, joka on määritetty taulukossa 1. noin 20 asteeseen. Siipikauhan kulutuskestävyyttä parantaa pelkän pohjalevyn materiaalivalinnan lisäksi myös kulutusteräksestä valmistettu huulilevy ja kauhan pohjaan tulevat kulutusteräksestä valmistetut kulutuskiskot.

Siipikauhassa vain pohjalevy on Hardox® 550 kulutusterästä ja muut komponentit ovat S355 rakenneterästä paitsi kulutusterät, huulilevy ja kulutuskiskot. Kulutusterät ovat vakiomitoilla myytäviä tienhoitokaluston kulutusteriä, jotka on valmistettu myös kulutusteräksestä. Huulilevy ja kulutuskiskot on myös valmistettu kulutusteräksestä.

Rakenneteräksen myötölujuus on 355 MPa ja se on riittävä kestämaan muiden komponenttien rasitukset. S355 rakenneteräksen ja Hardox® 550 kulutusteräksen liittäminen toisiinsa hitsaamalla ei tarvitse tässä tapauksessa erityistoimenpiteitä. Hitsattaessa kulutusterästä rakenneteräkseen määrittää kulutusteräksen hitsausvaatimukset vaadittavat vaatimukset hitsausprosessille. (Rissanen Tiina, [viitattu 16.1.2021].)

8.6 Hydrauliiikka

Siipikauhan siivissä on yhteensä neljä kaksitoimista hydraulisyylinteriä. Hydraulisyylintereiden koko ja malli on valikoitunut siipien suunnittelun yhteydessä hydraulisyylintereiden asennus- ja iskunpituuksien mukaan. Siipien rakenteen vuoksi kaikkein kriittisin hydraulisyylintereiden mitoitus kriteeri oli hydraulisyylinterien pituudet. Hydraulisyylintereiden männän halkaisijan kasvaessa kasvavat myös hydraulisyylinterin muutkin mitat. Siipien suunnittelussa on valittu hydraulisyylinterit asennus- ja iskunpituuden mukaan, minkä jälkeen on tiedetty kyseisten

hydraulisyylintereiden mallit ja kaikki ulkomitat. Ulkomittojen mukaan on mallinnettu hydraulisyylinterit ja varmistettu, että hydraulisyylinterit mahtuvat paikalleen siipikauhan rakenteeseen.

Volvo L90D pyöräkuormaajassa, johon kauha tulee, on vain yksi kaksitoiminen lisähydrauliikkalohko käytettävissä siipikauhan siiville. Siipikauhan siipien käytönkannalta parhainta ja loogisinta ohjaus ja toimintatapaa ei vielä suunnitteluvaiheessa varmasti tiedetä. Hydrauliikkajärjestelmän kannalta ideaalitalanne olisi tilanne, jossa sisemmän siiven sylinterin varrenpuoleinen öljytilavuus olisi yhtä iso kuin ulomman siiven sylinterin männän puoleinen öljytilavuus. Tällöin ei tarvittaisi erillistä virtauksenjakoa sisemmän ja ulomman siiven sylintereiden välillä. Tällaista tilannetta ei kuitenkaan sylintereiltä vaadittavien asennus- ja iskunpituuksien mukaan ollut saavutettavissa.

Ensimmäisenä vaihtoehtona on hydrauliikkajärjestelmä, joissa hydrauliikanvirtaus jaetaan siipikauhan vasemman ja oikean puolen kanssa tasan virtauksenjakoventtiilillä. Kummankin puolen virtaus jaetaan vielä säädettävällä virtauksenjakoventtiilillä sisemmän- ja ulomman siiven kanssa. Virtauksenjakosuhde säädetään siten, että kun sisempi siipi on liikkunut koko liikeradan, on myös ulompi siipi liikkunut koko liikeradan. Koska sylintereiden öljytilavuudet eivät ole yhtä suuret, on virtauksenjakoventtiilillä säädettävä öljyvirtaukset eri suuruisiksi, jotta käytetty aika on sama kummallakin sylinterillä, kun sylinteri liikkuu iskunpituutensa. Virtauksenjakoventtiilien epätarkkuuden takia on sylinterit voitava ajaa samaan kohtaan liikealueittansa ja tasattava sylintereiden kesken liikeasento samaan kohtaan. Tämä vaatii hydrauliikkajärjestelmään lisäksi vielä paineenrajoitusventtiilit, joilla mahdollistetaan hydraulisyylintereiden ajaminen ääriasentoa vasten, jolloin tapahtuu hydraulisyylintereiden liikeasentojen tasaaminen samaan asentoon hydraulisyylintereiden liikerataa.

Toisena vaihtoehtona on hydraulijärjestelmä, jossa hydrauliikanvirtaus jaetaan sähköisesti ohjatulla suuntaventtiilillä joko uloimmille tai sisemmille siiville. Tässäkin vaihtoehdossa voidaan jakaa virtausta myös virtauksenjakoventtiilillä, jolloin mahdollistetaan siipikauhan kummankin puolen siipien liikkuminen synkronoinnissa keskenään.

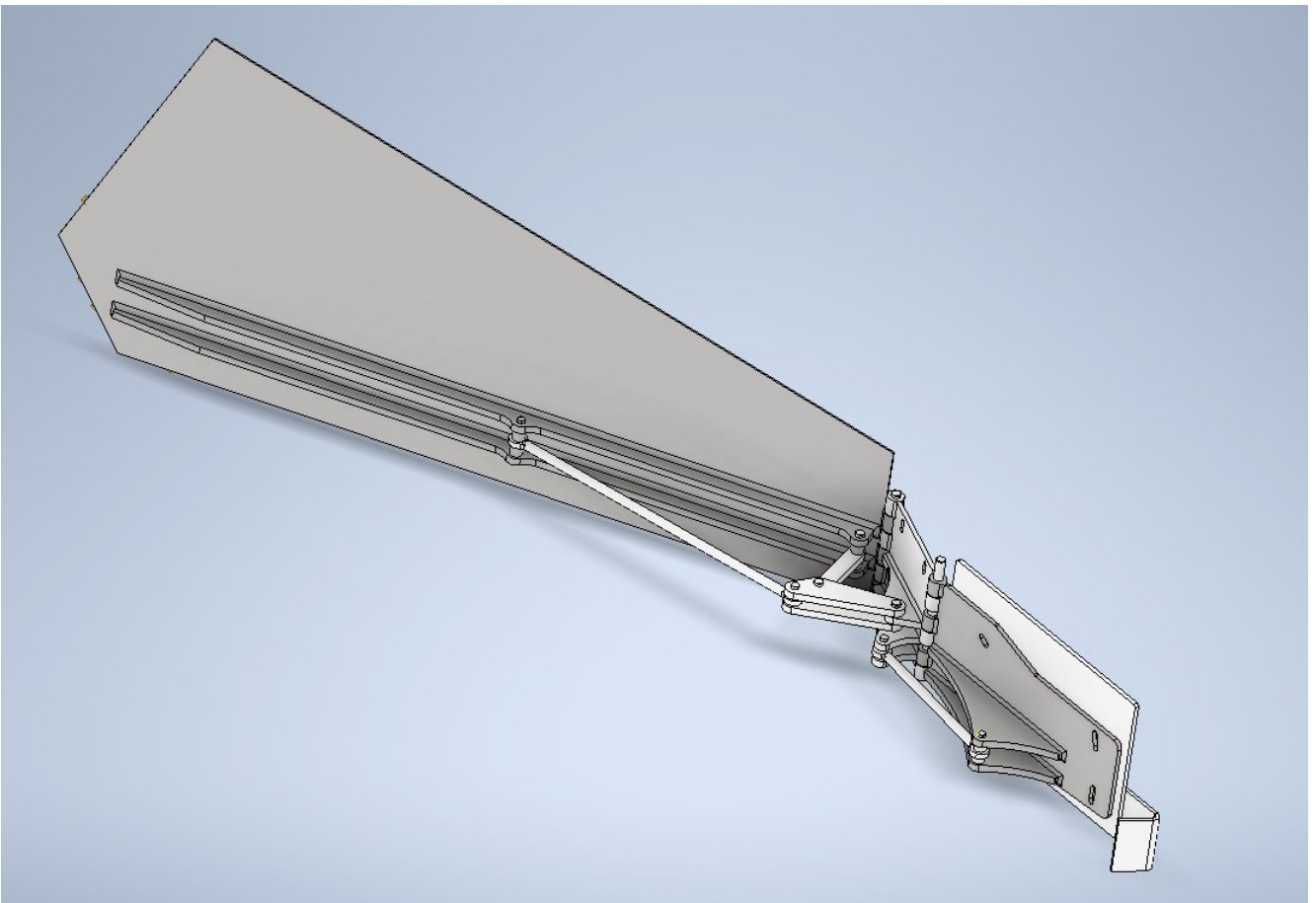
Tilaajan ja hänelle työkoneita korjaavan yrittäjän kanssa pohdittiin myös hydrauliikkajärjestelmään liitettävän paineakun tuomia hyötyjä ja haittoja, mutta paineakun ensisijainen käyttötarkoitus olisi suojata siipikauhan rakennetta törmäyksen tai jonkin muun ulkoisen voiman aiheuttamalta paineiskulta. Lisäksi keskusteltiin myös, olisiko mahdollista

saada siipien liikkeestä kelluva. Lantakäytävien reunoilla on betoniset 100 mm korkeat ohjausvalut, jotka suojaavat rakennuksen terästolppia ja juomakuppeja. Siipikauhan siivet levitetään ohjausvaluja vasten ja pyöräkuormaajalla lantakäytävää pitkin ajattaessa on etäisyys ohjausvaluihin pidettävä vakiona. Jos siipien liike olisi kelluva, siipikauhan toisen puolen siipien supistuessa kokoon samaan aikaan leventyisi toisen puolen siivet, jolloin säilytettäisiin siipikauhan siipien reunoista mitattu kokonaisleveys ja ajolinjan ei tarvitsisi olla ihan samalla etäisyydellä ohjausvaluihin koko aikaa.

Lopullinen hydraulikkajärjestelmän rakenne hahmottuu siipikauhan koekäyttöjen yhteydessä ja siipikauhan käytön edetessä ilmenneiden kehitysideoiden pohjalta.

9 LUJUUSLASKENTA

Siipikauhan lujuuslaskennassa käytettiin Autodesk Nastran in-CAD FEA -ohjelmistoa, joka on erikseen ladattava lisäosa Autodesk Inventor Professional CAD -ohjelmistoon. Siipikauhan lujuuslaskennassa tarkasteltiin siipikauhan siipien staattista kuormitusta, joka simuloi siiven työasennossa siiven kärkeen kohdistuvaa kuormitusta. Lujuuslaskentaa varten siipikauhasta tehtiin yksinkertaistettu 3D-malli, jossa ei ollut kuin toisen puolen siipi aina kauhan sivulevyyn asti mallinnettuna. Kuvassa 4. on yksinkertaistettu 3D-malli, jota käytettiin lujuuslaskentaan. Lujuuslaskennassa haettiin kuormituksen maksimiarvoa, jolla siiven rakenne vielä kestää kuormituksen. Tuloksia käsiteltäessä käytetään jännityksen arvoina von Mises hypoteesiin mukaisia jännitysarvoja.



Kuva 4. FEM-analyysimalli.

Reunaehtoja ja FEM-analyysimallia suunniteltaessa määritettiin haluttuja ominaisuuksia lujuuslaskennalle. Joitakin asioita piti jättää myös pois FEM-analyysistä ja kun ottaa huomioon kauhan käyttöolosuhteet, pyöräkuormaajan- ja kauhan koko, oli todettava, että kauhaa ei voida mitoittaa jo pelkästään kauhan painon takia siten, että se kestäisi aina jokaisessa tilanteessa.

Lujuuslaskennassa tarkasteltiin siipien kestävyyttä ja lujuuslaskennasta saaduilla tiedoilla laskettiin siipien sylinterien shokkiventtiilien maksimi avautumispaineet. Analyysimallissa hydraulisynterien mallia on yksinkertaistettu ja kokonaisen hydraulisynterimallin sijasta on mallinnettu koko hydraulisynteri hydraulisynterimallin varren paksuisena akselina, jonka päihin on mallinnettu nivellaakerin tilalle kiinteät silmukat. Hydraulisynterimallin yksinkertaistettu FEM-analyysimalli on esitetty kuvassa 5. Yksinkertaistus aiheuttaa vääristymää laskennan tuloksiin. Tulokset saattavat olla tilanteen mukaan joko yli tai ali todellisten arvojen.

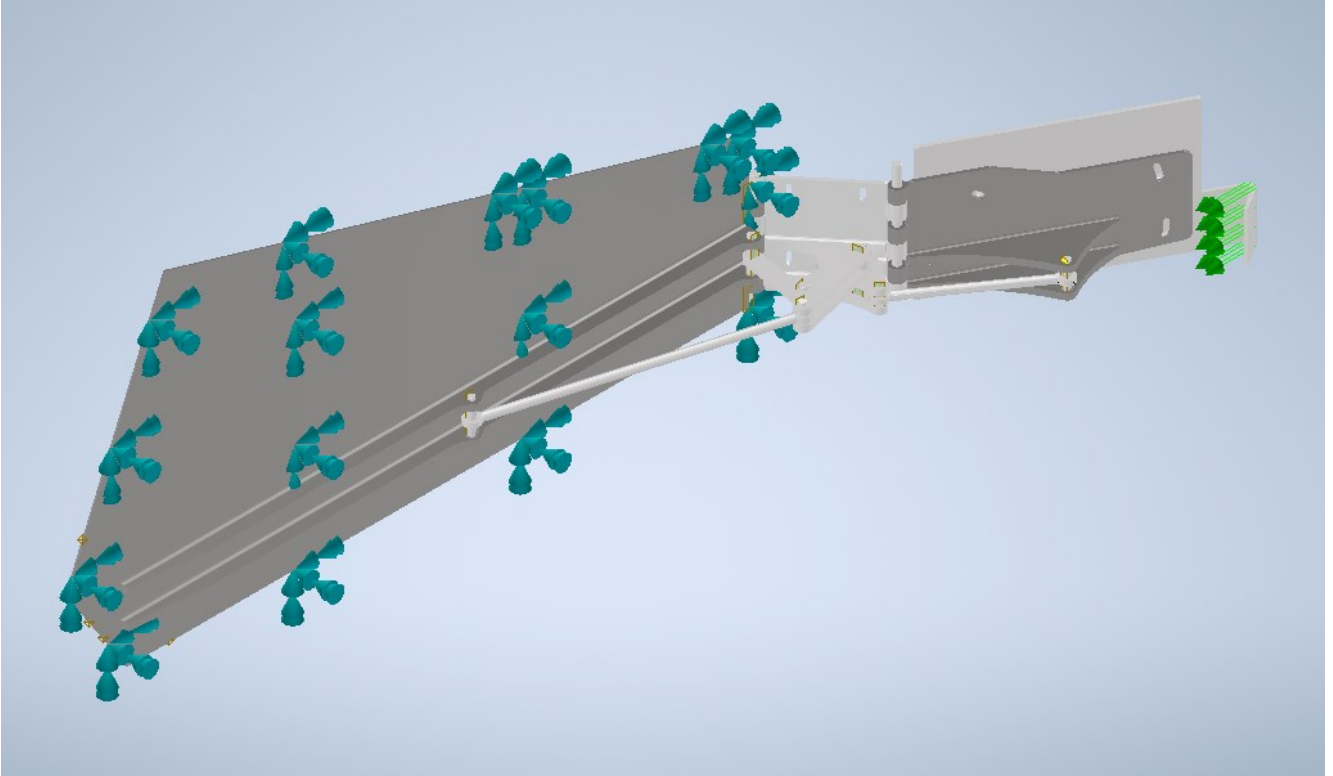


Kuva 5. FEM- analyysimalli hydraulisynteristä.

9.1.1 Reunaehdot, kuormitus ja elementtiverkko

Siipikauhan FEM-analyysimalli koostuu useasta pienemmästä erillisestä komponentista eli analyysimalli on kokoonpano. FEM-laskenta vaatii toimiakseen, että erilliset komponentit yhdistetään toisiinsa. Yhdistäminen pitää suorittaa oikein, että tilanne vastaisi mahdollisimman hyvin todellista tilannetta. Siipikauhan FEM-laskennassa käytettiin separation ja bonded ehtoja, millä luotiin osien väliset yhteydet.

Siipikauhan sivulevy on kiinnitetty paikalleen fixed ehdolla, joka sitoo kaikki liike- ja rotaatiosuunnat. Sivulevyn kiinnitys on tehty kauhan sisäpuolelta olevalta sivulevyn pinnalta. Kuormitus on kohdistettu sivulevyn suuntaisesti uloimman siiven kulutusterän pyöreään taitokseen. Kuormituksen ja fixed-ehdon sijainnit ovat esitetty kuvassa 6.



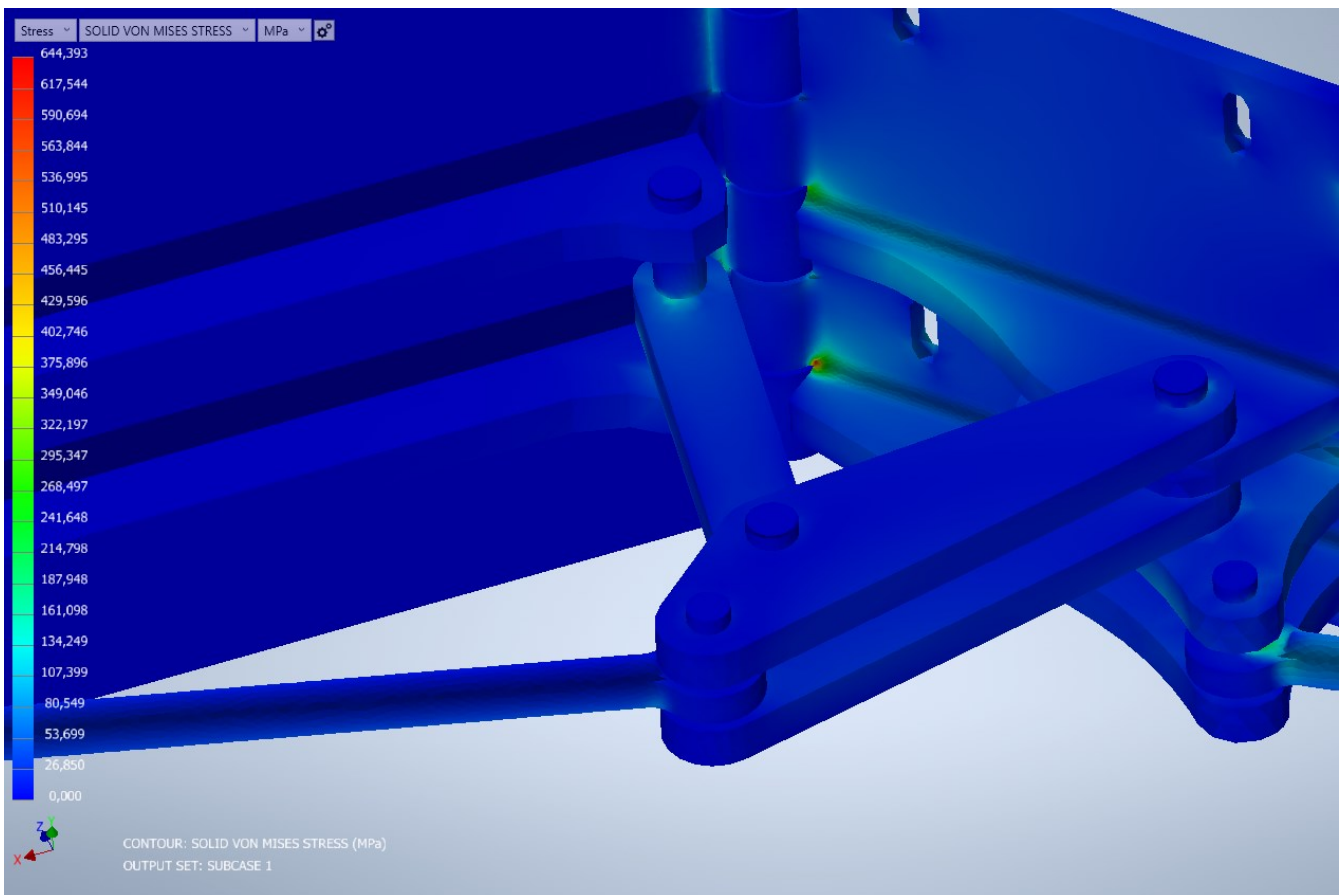
Kuva 6. Kuormituksen ja fixed ehdon sijainti.

Siipikauhan FEM-analysimallin elementtiverkko on suhteellisen karkeaa sellaisissa osissa, joissa ei ole laskennan tulosten kannalta mielenkiintoisia asioita, mutta kohdissa, jotka ovat tulosten kannalta tärkeitä on verkko tiheimmillään 3 mm kokoista. Kaikkien komponenttien elementtiverkko on tyypiltään solid-elementtiä. Laskennassa on kaikkien komponenttien materiaalina käytetty S355 teräksen arvoja.

9.1.2 Lujuuslaskennan tulokset

Lujuuslaskennassa haettiin aluksi karkeasti haarukoimalla siipikauhan siipien maksimi kuormitus, mikä ei aiheuta rakenteeseen pysyviä muodonmuutoksia. Lopullinen maksimaalinen kuormitus, millä siipien lujuuslaskenta suoritettiin, oli 10 kN suuruinen. Siiven heikoin komponentti laskennassa todettiin olevan uloimman siiven hydraulisynterinin ulompi kiinnitystappi. Kiinnitystapissa on 10 kN kuormituksella siivenkärkeen 327 MPa jännitys ja materiaalin myötölujuus on 355MPa.

Siipien rakenteessa on muualla myös huomattavasti isompi jännitys, mutta vaikutusalue on hyvin pieni ja pistemäinen. Tällainen pistemäinen pieni alue, missä materiaalin myötölujuus ylittyy ei aiheuta rakenteelle pysyviä muodonmuutoksia. Väsymislujuuden kannalta niillä on kuitenkin merkitystä. Koko siiven rakenteen jännityksen maksimiarvo on 644 MPa ja sen sijainti on sisemmän siiven sivulevyn puoleisessa saranassa olevassa saranaholkin hitsaussaumassa. Kuvassa 7. on kokorakenteen jännityshuipun paikka ja rakenteen jännitykset esitettynä 25 portaisella värikartalla. Värikartan yläpäässä on maksimi jännitys ja alapäässä värikarttaa minimijännitys.



Kuva 7. Hitsaussauman jännityshuippu.

Ensimmäinen vaurioituva komponentti siipikauhan rakenteessa on uloimman siiven hydraulisynterin ulompi kiinnitystappi, jolla hydraulisynteri kiinnitetään uloimpaan siipeen. Kiinnitystappi on vaurioituessaan helppo vaihtaa uuteen ja muualla siipien rakennetta jännitykset ovat huomattavasti alhaisempia. Kiinnitystappi vaurioituessaan toimii sulakkeena, joka estää muuta rakennetta vaurioitumasta, jos kuormitus kohdistuu uloimpaan siipeen. On kuitenkin otettava huomioon mahdollinen hydraulisynterin rikkoontuminen samalla kun

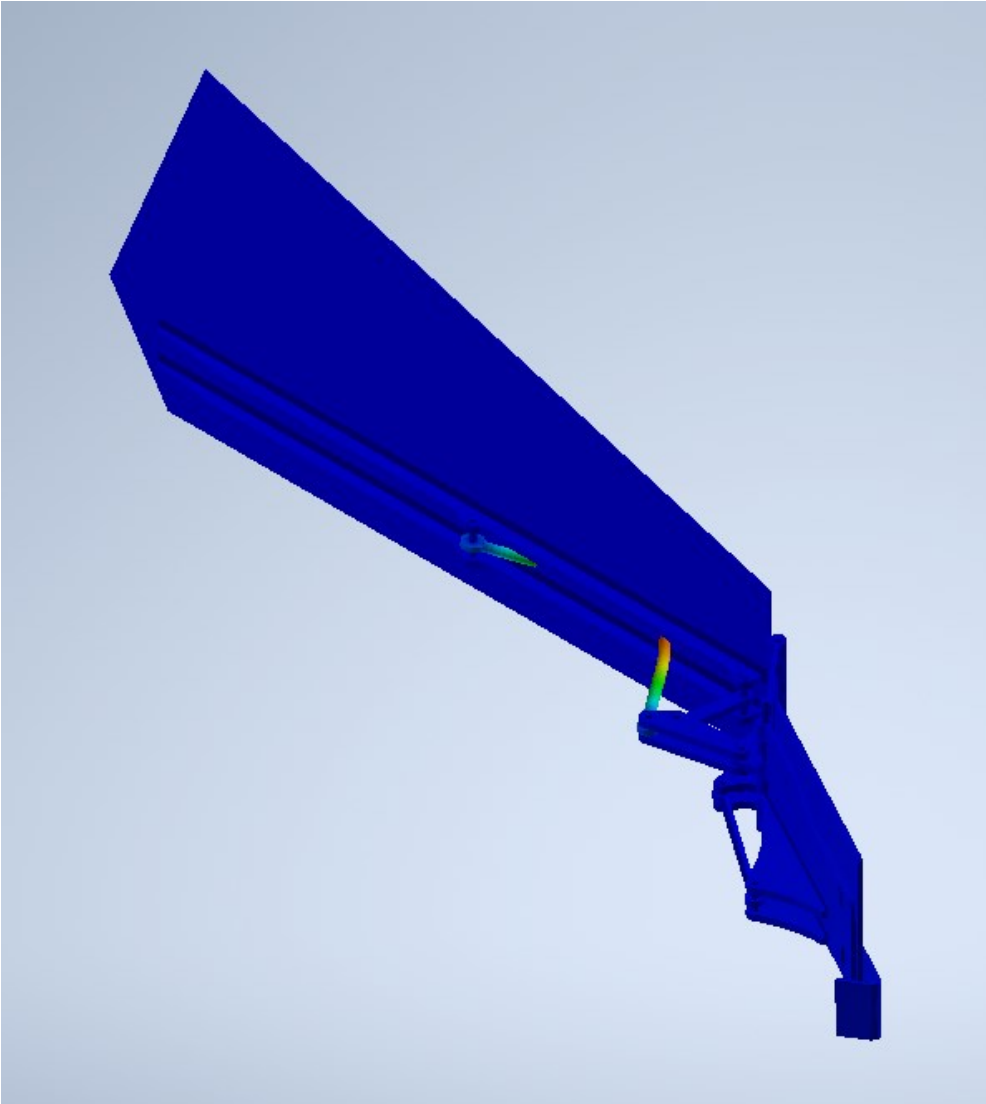
kiinnitystappi vaurioituu, mutta laskentamallin perusteella vaurioiden pitäisi olla kuitenkin siipien muulle rakenteelle hyvin epätodennäköisiä.

9.2 Nurjahdus

Siipikauhan rakenne on nurjahtamiselle altis rakenne ja erityistä hydraulisyylinterit ovat herkkiä menettämään stabiliteettinsa. FEM-laskennalla tarkastettiin siipikauhan siipien nurjahtamisherkkyttä. Laskennassa käytettiin samaa laskentamallia samoilla arvoilla kuin jännityslaskennassakin. Laskennasta saatiin tulokseksi, että sisemmän siiven sylinteri on koko rakenteesta nurjahdusherkin komponentti ja rakenteen nurjahduskertoimeksi laskenta antaa tulokseksi 6,2.

FEM-laskennassa käytetyssä laskentamallissa on hydraulisyylinterit korvattu hydraulisyylinterien varren paksuisilla akseleilla. Kuvassa 5. on esitetty hydraulisyylinterin FEM-laskentamalli. Koska hydraulisyylinteri on rakenteen stabiliteetin menettämisen kannalta kriittisin komponentti. Varmuusluvun suuruuden määrittämisessä on otettava huomioon hydraulisyylinterin laskentamallin tuoma eroavaisuus todelliseen rakenteeseen. Hydraulisyylinterin laskentamalli sisältää varmuutta stabiliteetin menettämistä vastaan jo valmiiksi. Laskentamallin ja hydraulisyylinterin FEM-laskennalla saadun puristusjännityksen alhaisen arvon vuoksi arvioisin varmuusluvuksi riittävän 2,5. Hydraulisyylinterin puristusjännityksen arvo on esitetty taulukossa 5.

Kun FEM-laskennalla saatu nurjahduskerroin jaetaan varmuusluvulla, saadaan tulokseksi 2,48. Rakenne pystyy siis säilyttämään stabiliteettinsa, kun siivenkärkeen kohdistetaan 10kN kuormitus kyseisessä siipien asennossa. Kuvassa 8 on esitetty rakenteen nurjahtamissuunta ja kuvasta voidaan todeta myös hydraulisyylinterin olevan ensimmäinen komponentti, joka nurjahtaa.



Kuva 8. Nurjahduslaskennan tulos.

9.3 Hydraulisyliinterien shokkiventtiilien avautumispaineet

Siipikauhan hydraulikkajärjestelmän lopullisesta rakenteesta ei ole vielä suunnitteluvaiheessa lopullista varmuutta. Jos hydraulikkajärjestelmään tulee vain yksi shokkiventtiili, pitää se mitoittaa avautumaan heikoimman komponentin mukaan ja jos shokkiventtiileitä on kaksi, saadaan säädettyä sisempien ja uloimpien siipien hydraulisyliinterille omat shokkiventtiilien avautumispaineet.

Shokkiventtiilien avautumispaineen määrittämistä varten tarkasteltiin lujuuslaskennassa hydraulisyliinterien jännitystä. Jännityksestä saadaan johdettua hydraulisyliinterissä männänpuolella vallitsevan hydraulinesteen paine kaavalla kaksi. Kyseisellä kuormituksella, millä lujuuslaskenta on tehty.

$$p_{syl} = \frac{4 \times \sigma_{fem} \times A_{var}}{d_m^2 \times \pi} \quad (2)$$

missä

σ_{fem} = FEM- laskennasta saatu hydraulisynterinin varren jännitys

A_{var} = Hydraulisynterinin varren pinta-ala

d_m = Hydraulisynterinin männän pinta-ala

Taulukko 5. Siipien hydraulisynterierien shokkiventtiilien avautumispaineet.

	σ_{fem} (Mpa)	A_{var} (mm ²)	d_m (mm)	Hydraulinesteen paine männän puolella (bar)
Sisempi sylinteri	42	706,858	50	151,2
Ulompi sylinteri	68	706,858	50	248,8

Taulukossa 5. on laskettu FEM-laskennan perusteella kaavalla kaksi hydraulisynterierien hydraulinesteen paine männän puolella hydraulisynteriä. Männän puoleisen hydraulinesteen paine on sama kuin shokkiventtiilin korkein sallittu avautumispaine. Hydrauliikkajärjestelmään asennetaan myös paineakku, jolla tasataan iskumaista kuormitusta.

10 YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli suunnitella työn tilaajan innovoima siipikauha, joka nopeuttaisi ja tehostaisi loppukasvattamoiden lantakäytävien puhdistusta. Tilaaja oli pohtinut erilaisten kaupallisten kauhojen sopivuutta lantakäytävien puhdistukseen, mutta riittävän tehokasta ratkaisua hyvinkin juoksevan kuivikelannan puhdistamiseen 65 m pitkiltä käytäviltä ei löytynyt. Tilaajalla oli valmiiksi innovatiivinen idea kauhan rakenteesta. Alkuperäinen idea, jossa olisi ollut yksiosaiset siivet ei kuitenkaan ollut järkevästi toteutettavissa. Tilaajan asettamien toivomusten ja vaatimusten perusteella suunniteltiin kaksiosaiset siivet, jotka täyttävät vaaditut ominaisuudet. Lisäksi suunniteltiin myös itse siipikauha annettujen ehtojen mukaiseksi.

Suunnittelun lähtökohtana oli mahdollisimman yksinkertainen rakenne siipikauhan kokoonpanon kannalta, jotta sen valmistaminen onnistuisi levyleikkeiden tilaamisen jälkeen tilaajan omilla työkaluilla ja työllä. Siipien suunnittelulle asetti haasteita saatavilla olevien sarjavalmistesteiden hydraulisyliintereiden asennus- ja iskunpituudet. Lisäksi myös siipien teriltä vaadittu jousitus, jonka ansiosta kauhan pohjan ei tarvitse olla täysin samansuuntaisesti lattian kanssa. Siipikauhan pohjan ja lattian välinen kulma voi myös muuttua jonkin verran jousitettujen siipien ansiosta.

Siipikauhaa ei voitu suunnitella jo pelkästään painon takia kestävämmän kaikkia mahdollisia tilanteita. Rakenne ei saa kuitenkaan vaurioitua liian helposti. FEM-laskennalla laskettiin maksimikuormitus siipien kärkeen kohdistettuna, jolla rakenne vielä kestää. Tällä kuormituksella varmistettiin myös, että kauhan geometria säilyttää stabiliteettinsa kuormituksen alla. Lopuksi FEM-laskennan jännitystuloksista johdettiin siipien hydraulisyliintereiden suurimmat sallitut hydraulinesteen paineet hydraulisyliintereiden männänpuolella.

Työn lopputuloksena valmistui siipikauhan 3D-malli ja sen eri osista valmistus- ja dxf-kuvat, joiden avulla pystytään valmistamaan siipikauha. Siipikauhaa ei ole vielä aloitettu valmistamaan, mutta suunnitelmissa on tilata levyleikkeet siipikauhaa varten kevättalven kuluessa ja saada siipikauha valmiiksi ennen maatilän kevättöitä.

LÄHTEET

- Ansaharju, T. 2009. Koneenasennus ja kunnossapito. Helsinki: WSOY.
- Björk, T., Hautala, P., Huhtala, K., Kivioja, S., Kleimola, M., Lavi, M., Martikka, H., Miettinen, J., Ranta, A., Rinkinen, J. & Salonen, P. 2014. Koneenosien suunnittelu. 6. uud. p. Helsinki: Sanoma Pro Oy.
- Ferrometal Oy. Ei päiväystä. Ruuviliitokset. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 4.1.2021]. Saatavana: https://www.imatranpultti.fi/images/pdfs/tietoa_ruuviliitoksista.pdf
- Karhunen, J., Lassila, V., Pyy, S., Ranta, A., Räsänen, S., Saikkonen, M. & Suosara, E. 1992. Lujusoppi. 6. uud. p. Helsinki: Otatieto.
- Kauranen, H., Kajaste, P. & Vilenius, M. 2013. Hydrauliteknikka. 2. uud. p. Helsinki: Sanoma Pro Oy.
- Keinänen, T & Kärkkäinen, P. 2005. Automaatiojärjestelmien hydraulikka ja pneumatiikka. [Verkkokirja]. Helsinki: WSOY. [Viitattu 7.1.2021]. Saatavana Ellibs-e-kirjakokoelmasta. Vaatii käyttöoikeuden.
- Keinänen, T & Kärkkäinen P. 2009, Konetekniikan perusteet. 7. uud p. Helsinki: WSOY.
- Lepola, P & Makkonen M. 2005. Hitsaustekniikat ja teräsrakenteet. Helsinki: WSOY.
- Lähteenmäki, M. Ei päiväystä. Elementtimenetelmän perusteet. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 20.1.2021]. Saatavana: https://mlahteen.fi/arkistot/elpe_pdf/johdanto.pdf
- MIG/MAG-hitsaus. Ei päiväystä. [Verkkosivu]. ESAB osaamiskeskus. [Viitattu 24.12.2020]. Saatavana: <https://www.esab.fi/fi/fi/education/blog/mig-mag-hitsaus.cfm>
- MIG/MAG-hitsaus. Ei päiväystä. [Verkkosivu]. Kemppi Oy. [Viitattu 24.12.2020]. Saatavana: <https://www.kemppi.com/fi-FI/tuki/hitsausaapinen/mig-maghitsaus/>
- Mikä on teräslevyn paras leikkausmenetelmä. Ei päiväystä. [Verkkosivusto]. ESAB osaamiskeskus. [Viitattu 28.12.2020]. Saatavana: <https://www.esab.fi/fi/fi/education/blog/what-is-the-best-way-to-cut-steel-plate.cfm>
- Mitä hitsaus on. Ei päiväystä. [Verkkosivu]. Kemppi Oy. [Viitattu 26.12.2020]. Saatavana: <https://www.kemppi.com/fi-FI/tuki/hitsausaapinen/mita-hitsaus-on/>
- Piirinen, T. 2013. Teräsrakenteiden suunnitteluohjeita parempaan valmistettavuuteen. [Verkkajulkaisu]. Kuopio: Savonia-ammattikorkeakoulu, HitNet. [Viitattu 26.12.2020]. Saatavana: <http://portal.savonia.fi/pdf/julkaisutoiminta/2013-hitnet-suunnittelijanopas.pdf>

- Puikkohitsaus. Ei päiväystä. [Verkkosivu]. ESAB osaamiskeskus. [Viitattu 24.12.2020]. Saatavana: <https://www.esab.fi/fi/fi/education/blog/puikkohitsaus.cfm>
- Puikkohitsaus. Ei päiväystä. [Verkkosivu]. Kemppi Oy. [Viitattu 24.12.2020]. Saatavana: <https://www.kemppi.com/fi-FI/tuki/hitsausaapinen/puikkohitsaus/>
- Reko-Kone Oy. Ei päiväystä. Siipilumikauha. [Verkkosivu]. [Viitattu 10.1.2021]. Saatavana: <https://www.rekokone.fi/dev8/wp-content/uploads/2018/02/Reko-siipilumikauha.jpg>
- Rissanen, T. 2011. SSAB: ultralujien terästen käyttö ja konepajaprosessit. Oulu: Uniprint. Kemi-Tornion ammattikorkeakoulun julkaisusarja B. Raportit ja selvitykset 7/2011. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 16.1.2021]. Saatavana: <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/54494/rissanen%20B%207%202011.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Salmi, T. & Pajunen, S. 2018. Lujuusoppi, Tampere: Pressus Oy.
- SFS-EN 898-1. 2013. Kiinnittimien lujuusominaisuudet. Seostamattomat ja seosteräkset osa 1: Ruuvien ja vaarnaruuvien lujuusluokat. Vakiokierre ja taajakierre. Helsinki: Suomen Standardisoimisto.
- SFS-EN 10204. 2004. Metallituotteiden ainestodistukset. Helsinki: Suomen Standardisoimisto.
- SFS-EN 10027-1. 2016. Terästen nimikejärjestelmät. Osa 1: Terästen nimikkeet. Helsinki: Suomen Standardisoimisto.
- SSAB. Ei päiväystä. Hitsaus Hardox. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 14.1.2021]. Saatavana: https://ssabwebsitecdn.azureedge.net/-/media/files/fi/hardox/103_fi_welding-hardox-brochure-web.pdf?m=20170628082331
- Suvanto, S. Ei päiväystä. Nurjahdus. Luentomoniste. Seinäjoen ammattikorkeakoulu. Tekniikan yksikkö, konetekniikan koulutusohjelma. Julkaisematon.
- Turun Konekeskus Oy. Ei päiväystä. Sami Siipilumikauha. [Verkkosivu]. [Viitattu 9.1.2021]. Saatavana: <https://verkkokauppa.turunkonekeskus.fi/koneet-ja-laitteet/lumityokoneet/siipilumikauhat/98166-sami-siipilumikauha-1800-3050-euro-verkkotera-ja-paineakku>