



TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

KAIVINKONEEN TERÄSLEIKKURIN SUUNNITTELU

Aaro Kohilo

Opinnäytetyö
Huhtikuu 2016
Auto- ja kuljetustekniikka
Auto- ja työkonetekniikka



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Auto- ja kuljetustekniikka
Auto- ja työkonetekniikka

KOHILO, AARO:
Kaivinkoneen teräsleikkurin suunnittelu

Opinnäytetyö 35 sivua
Huhtikuu 2016

Opinnäytetyönä suunniteltiin kaivinkoneeseen asennettava teräsleikkuri, jota voidaan siirtää työmaalta toiselle nopeasti. Leikkurin runko, hydraulikka ja terät suunniteltiin alusta alkaen ja tavoitteena oli suunnitella leikkuri, jonka ominaisuudet olisivat kilpailukyiset kilpailijoihin verrattuna.

Kierrätyksen arvostus kasvaa jatkuvasti kehittyvässä maailmassa. Metallin kierrätyksessä käytetään nykyään teräsleikkuria, kun ennen leikattiin polttamalla kappaleet pienemmiksi hapen ja polttokaasun yhdistelmällä. Kaivinkoneeseen asennettava teräsleikkuri sopii työhön, mikäli työpiste vaihtuu usein ja työkoneita joudutaan siirtämään usein.

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi Ramtec Oy. Työn taustalla oli halu laajentaa Ramtec:n valmistamaa kaivinkoneiden työlaitteiden valikoimaa.

Opinnäytetyö sisältää vain suunnittelun ja yritys päättää myöhemmin laitteen valmistuksesta. Opinnäytetyössä on esitelty viimeisin kehitysversio ja sen tietoja. Teräsleikkurin tarkat suunnitelmat ja yksityiskohdat eivät sisälly julkaistavaan raporttiin, vaan jäävät yrityksen käyttöön. Tästä syystä raportin aineistoa on karsittu.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Automobile and Transport Engineering
Automobile and Industrial Vehicle Engineering

KOHILO, AARO:
Designing Mobile Scrap Shear

Bachelor's thesis 35 pages
April 2016

This thesis was commissioned by Ramtec Oy who wanted to analyze the possibility to expand their excavator attachment lineup.

Recycling and sustainable way of life are highly respected in modern world. Recycling will be even more important when nations try to reduce emission. Only one cutting machine can't be ideal style in every situation. Mobile scrap shear could be a useful machinery to purchase to accommodate rapid changes in work.

The purpose of this thesis was to design a mobile scrap shear for an excavator. The shear would work with hydraulics. The frame, hydraulic and blades were designed from scratch and same parts can be used in the company's other products.

First, scrap shear was planned developed and changes made with time and only the final model is shown in this thesis. The result of this thesis is a design of a scrap shear but the company will decide its manufacturing afterwards.

Confidential information and details have been removed from the public version of the thesis.

Key words: scrap shear, design, excavator

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	TUOTTEEN ESITUTKIMUS	7
2.1	Leikkurin käyttö ja tavoitteet.....	7
2.2	Leikkurin käytössä esiintyvät ongelmat.....	8
3	LEIKKURIN GEOMETRIA.....	9
4	LEIKKURIN RUNKO	12
4.1	Rungon suunnittelu	12
4.1.1	Akselit ja laakerointi	14
4.1.2	Sylinterin tapit.....	14
4.1.3	Pääakseli.....	15
4.1.4	Laakerit	15
4.2	Sylinterin kiinnitys.....	18
4.3	Leikkuuleuan tuki	18
4.4	Pyörittäjä ja kääntökehä.....	19
4.5	Huoltotehtävien vaikutukset runkoon.....	20
5	LEIKKUULEUKA.....	21
6	LEIKKURIN HYDRAULIIKKA	23
6.1	Leikkurin toiminta ja sen hydraulikka.....	23
6.2	Hydrauliikkasylinteri	24
6.3	Hydrauliikkaletkut	25
7	LEIKKUUTERÄT	27
7.1	Terien kiinnitys	27
7.2	Terät.....	28
8	FEM-simulointi	29
8.1	Voimien määrittäminen	29
8.2	Tulokset ja niiden pohdinta.....	29
9	POHDINTA.....	33
	LÄHTEET.....	35

ERITYISSANASTO

3rd member -kiinnitys	Työlaitteen kiinnitys kaivinkoneen kaivuupuomiin
2nd member -kiinnitys	Työlaitteen kiinnitys kaivinkoneen nostopuomiin
FEM	Finite Element Method, Elementtimenetelmä, käytetään pääasiallisesti lujuuslaskennassa. Tunnetaan myös termillä FEA.
HRC	Metallin pinnankovuus. Rockwell -testin tulos.

1 JOHDANTO

Ramtec Oy kehittää, suunnittelee, valmistaa, markkinoi ja myy maailmanlaajuisesti tunnettuja kouria, murskaimia, seuloja ja iskuvasarakoteloitaan kaivos- ja maanrakennusteollisuuden yrityksille (Ramtec Oy 2016). Yritys halusi tutkia mahdollisuutta laajentaa työlaitemallistoaan kilpailuilla markkinoilla. Kaivinkoneeseen asennettavia teräsleikkureita on tehty useampi vuosikymmen ja niistä onkin erilaisia toteutuksia. Ensimmäiset patentit teräsleikkurista olivat 80-luvun alusta. Nykyään valmistajia sekä erilaisia versioita teräsleikkureista eri käyttötarkoituksiin on alalla useita.

Nykyisessä maailmantilanteessa kierrätyksen arvostus on kasvanut. Teräsleikkuri on erittäin järkevä hankinta metallinkierrätykseen tai purkutöihin erikoistuneelle yritykselle, koska sitä voidaan käyttää erittäin laajasti eri sovelluksissa. Vaikka kierrätyskeskuksissa on usein raskaampi teräsleikkuri, toimii kaivinkoneeseen asennettava leikkuri niin esikäsitteilyleikkurina kuin etätöissä purkukoneena. Tulevaisuudessa kiristyvät teollisuuden päästörajoitukset ilmaston lämpenemisen ehkäisemiseksi tekevät kierrättämistä entistä suotuisamman vaihtoehdon, sillä kierrätysmetallin käyttäminen säästää energiaa uusien terästuotteiden valmistuksessa (VTT 2007).

Leikkurin geometrian suunnittelussa yksikin muutos vaikuttaa aina kokonaisuuteen, joten geometrian suunnittelussa käytetään iterointia, jotta päästään haluttuun lopputulokseen.

2 TUOTTEEN ESITUTKIMUS

2.1 Leikkurin käyttö ja tavoitteet

Teräsleikkuria käytetään teräskappaleiden pienentämisessä jälkikäsitteilyä tai kuljetusta varten. Leikkuria voidaan käyttää esimerkiksi suoraan rakennuksen purkamisessa tai kierrätyskeskuksessa. Leikkurilla voidaan esimerkiksi pilkkoa romumetalli, joka on menossa purkupaikalta kierrätyskeskukseen, jotta kuorma-auton kuormatila tulisi pakattua tiheämmin ja kuljetuksesta syntyviä kuluja tulisi vähemmän.

Leikkurin käyttö riippuu kuljettajasta ja työtehtävästä. Sen takia myös lievät väärinkäytön mahdollisuudet on syytä huomioida. Suunnittelussa varaudutaan siihen, että leikkuria käytetään jokaisena vuodenaikana ympäri maailmaa, joten korroosion kesto ja toiminta eri lämpötiloissa ovat tärkeitä kriteerejä suunnittelussa.

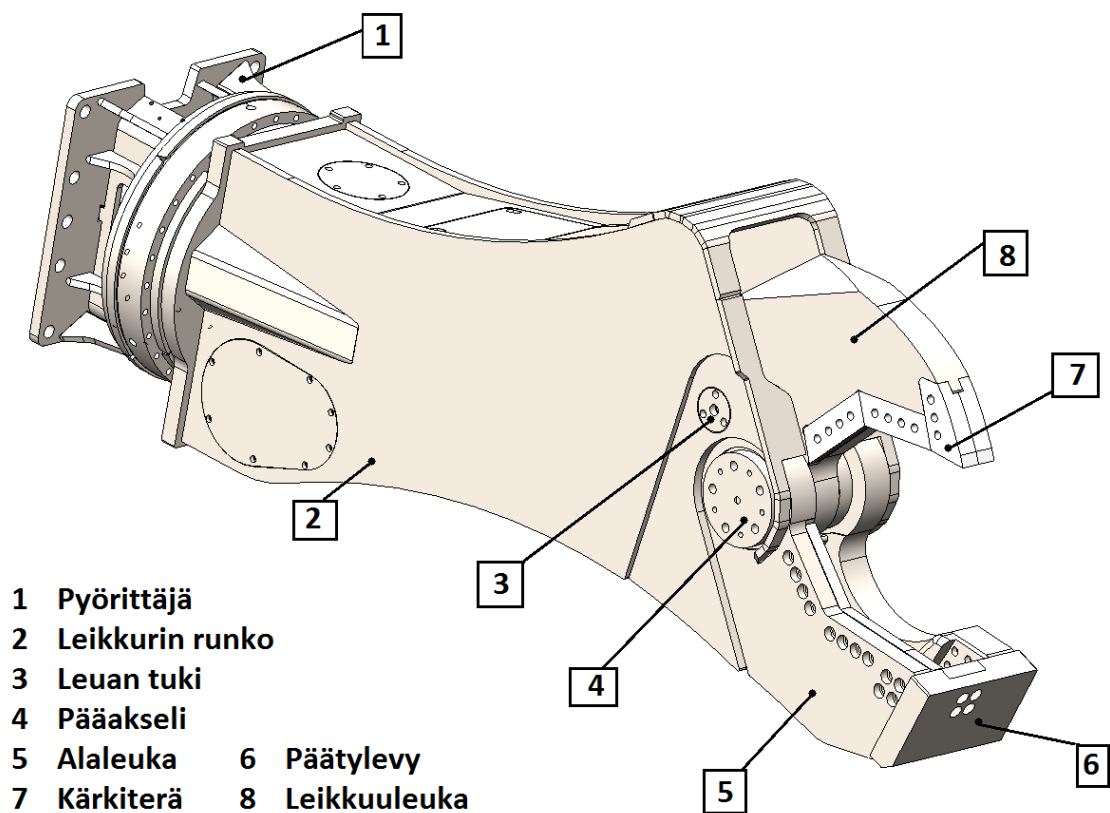
Esisuunnittelun jälkeen leikkurin tavoitepainoksi asetettiin 3000 kg. Muita toivottuja ominaisuuksia leikkurille olivat pyörittäjä, eli sitä voidaan pyörittää oman akselinsa ympäri sekä leikkurin kiinnitys kaivuupuomiin (3rd member). Kaivuupuomiin kiinnitetynä leikkuri pyritään mitoittamaan kymmenen prosenttia koneen painosta, mutta ulottuvuus on parempi kuin nostopuomiin (2nd member) asennettuna. Nostopuomiin kiinnitetynä (kuvio 1) leikkuri voisi olla painavampi suhteessa kaivinkoneeseen. Lisäksi leikkurin tulee olla kilpailukykyinen leikkausominaisuuksiltaan ja kestää kovaa käyttöä.



KUVIO 1. Teräsleikkurin erilaisia kiinnitystapoja (B2Breplicas, Modelbarn, 2016 muokattu)

2.2 Leikkurin käytössä esiintyvät ongelmat

Teräsleikkureiden suurimmat ongelmat esiintyvät leikattaessa ohuita levyjä tai vajereita. Ohut materiaali kiilautuu terien väliin ja vääntää leikkuuleukaa sivuttain alaleukojen väliin, jolloin leuka yleensä jumiutuu. Leukojen jumiutuessa työt joudutaan usein keskeyttämään ja toimenpiteet leukojen avaamiseksi ovat toisinaan aikaa vieviä. Tämä taas laskee koneen tehokkuutta. Kun leikkuriin vaihdetaan uudet terät, leikataan ensin ohuita materiaaleja ja terien kuluessa siirrytään vähitellen paksumpiin materiaaleihin. Terän pyöristyessä ohut materiaali kiilautuu paljon helpommin kuin uusien terien kanssa.



KUVIO 2. Teräsleikkuri ja sen osien nimiä

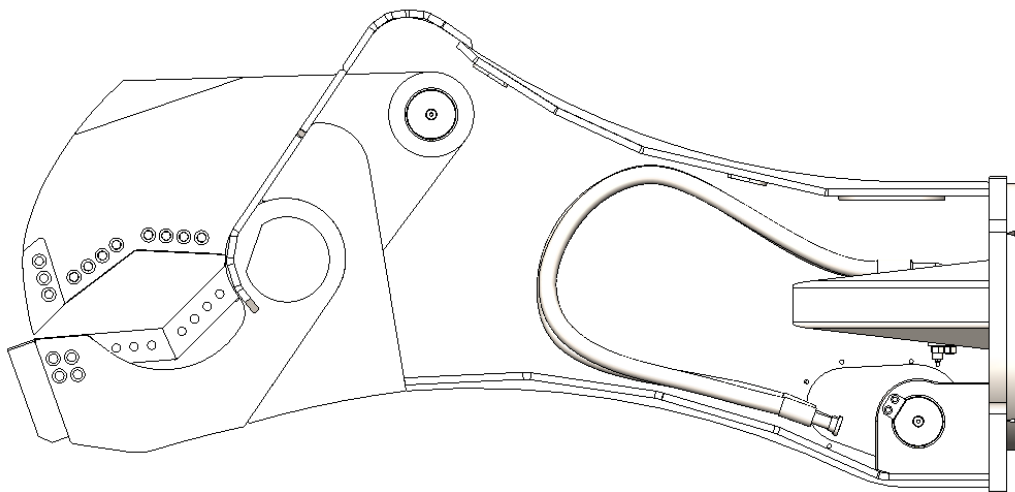
Mekaaniset murtumat rungossa tai leuoissa on toinen yleinen ongelma, jota on esiintynyt haastatelluilla yrittäjillä. Lisäksi leukojen jumittuessa, suuri osa käyttäjistä painaa koneella sylinterinpäätä sisäänpäin, jolloin sylinteristä saattaa rikkoutua jotain.

3 LEIKKURIN GEOMETRIA

Teräsleikkuri on saksityyppien leikkuri, jossa vastakkain olevat terät liikkuvat vuoroin toistensa lomitse hydraulisynterinin voimalla (kuvio 2). Leikkurin suunnittelussa kiinnitetään huomiota leukojen geometriaan ja painopisteen sijaintiin. Jotta pyörittäjä pystyy pyörittämään leikkuria jokaisessa asennossa, täytyy painopisteen olla melko lähellä leikkurin keskilinjaa. Hydrauliikkasynterinin kiinnitys pyritään sijoittamaan kääntökehän sisäpuolelle, jolloin voidaan synterivoiman aiheuttamat haitalliset rasitukset minimoida rungon ja kääntökehän liitoksessa. Samalla vähennetään kääntökehän laakereiden rasitusta ja kulumista.

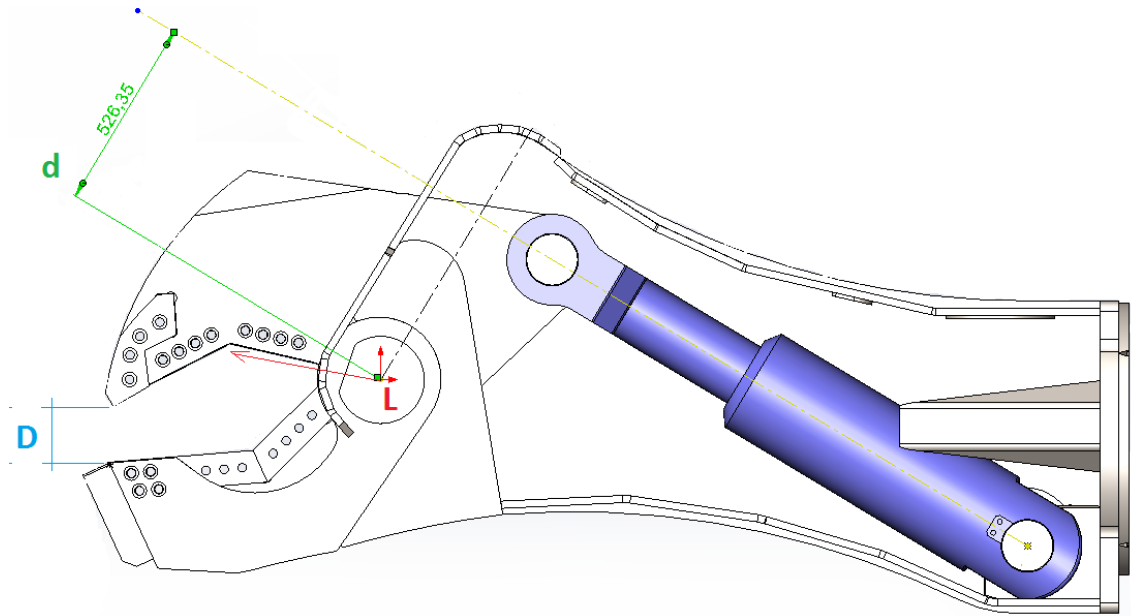
Puristuessaan leikkurin leuat eivät saa työntää leikattavaa kappaletta pois leukojen välistä, vaan kappale tulisi leikata lähellä leikkurin pääakselia, jossa suurin puristusvoima esiintyy. Terien geometria tulee siis enemmän suunnitella niin, että leikkurin kärki sulkeutuu ensin ja näin estää kappaleen luistamisen leukojen välistä (kuvio 3).

Synterinin ja leikkuuleuan yhdistelmä mitoitetaan niin, että suurin leikkuuvoima saavutettaisiin silloin kun leukojen etäisyys riittäisi leikattaville kappaleiden läpimitoille. Leikkurissa leikkuuvoima kasvaa tasaisesti leukojen puristuessa kiinni. Suurin leikkausvoima on leukojen kärjen sulkeutumisen jälkeen, jolloin leikattava kappale ei pääse tippumaan pois. Heikoin voima leikkurissa esiintyy leukojen ollessa täysin auki, mutta tuolloin yleensä leikkuri puristaa leikattavaa kappaletta pienemmäksi.



KUVIO 3. Leikkurin leuat suljettuna

Lisäksi geometrian suunnittelussa pitää huomioida terien riittävä leikkumatka. Terät suunniteltiin ohittamaan toistensa leikkupinnat vähintään kahdellakymmenellä millimetrillä. Näin suurella leikkumatkalla leikkuukyky säilyy vaikka terät kuluisivatkin vähän.



KUVIO 4. Leikkurin mitoitus

Laskettaessa leikkuuvoimaa tarvitsee huomioida koko leikkurin rungon vaikuttamat muodot ja etäisyydet. Kuviossa 4 on eritelty kaavassa esiintyvät suureet ja merkitykset. D (sininen) on leukojen kärjen etäisyys toisistaan ja L (punainen) on leikkauspisteen etäisyys pääakselista. Voiman suuruudesta kertova d -mitta (vihreä), on sylinterilinjan kohtisuora etäisyys pääakselista. Leikkausvoima, halutulla etäisyydellä pääakselin keskeltä leukojen ollessa tietyssä asennossa, lasketaan kaavalla 1,

$$F_c = \frac{F d}{L} \quad (1)$$

jossa

- F_c = Leuan leikkuuvoima [kN]
- F = Sylinterivoima [kN]
- d = Sylinterilinjan etäisyys pääakselista [mm]
- L = Leikkuupisteen etäisyys pääakselista [mm]

Leikkausvoimia leuan asennon ja leikkauskohdan suhteen on tarkasteltu taulukossa 1.

TAULUKKO 1. Leukojen leikkausvoimat

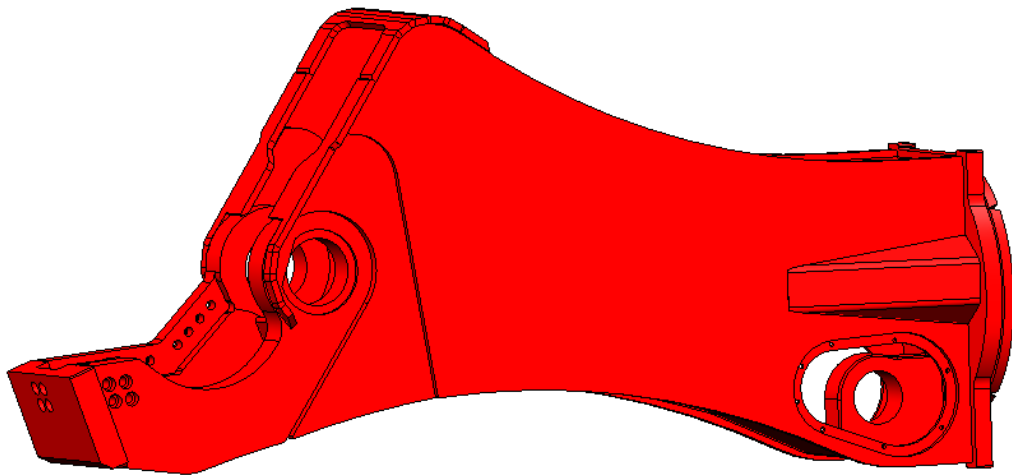
D [mm]	d [mm]	L (Leikkauspisteen etäisyys pääakselista) [mm]					
		180	320	390	420	630	740
		Leikkausvoima [kN]					
585	217,7	2077,9	1168,8	959,0	890,5	593,7	505,4
550	251,6	2401,5	1350,8	1108,4	1029,2	686,1	584,1
500	301,2	2874,9	1617,1	1326,9	1232,1	821,4	699,3
450	345,4	3296,8	1854,4	1521,6	1412,9	941,9	801,9
400	388	3703,4	2083,1	1709,2	1587,2	1058,1	900,8
350	420,7	4015,5	2258,7	1853,3	1720,9	1147,3	976,7
300	457,6	4367,7	2456,8	2015,9	1871,9	1247,9	1062,4
250	485	4629,2	2603,9	2136,6	1983,9	1322,6	1126,0
200	508,4	4852,6	2729,6	2239,6	2079,7	1386,4	1180,4
150	528,3	5042,5	2836,4	2327,3	2161,1	1440,7	1226,6
100	544	5192,4	2920,7	2396,5	2225,3	1483,5	1263,0
50	555,6	5303,1	2983,0	2447,6	2272,7	1515,2	1289,9
0	565	5392,8	3033,4	2489,0	2311,2	1540,8	1311,8
-50	571,8	5457,7	3070,0	2518,9	2339,0	1559,3	1327,5
-100	530	5058,7	2845,5	2334,8	2168,0	1445,4	1230,5

Oheisessa taulukossa on kuvattu leikkurin leikkausvoima leuan kärkien muutoksen mukaan. Taulukosta nähdään voiman kasvavan leikattaessa. Vain viimeisten senttien aikana leikkuuvoima alkaa laskea. Esimerkiksi, kun kärki puhkaisee teräslevyn, on leikkausvoima kärkiterällä noin 1311 kN. Jos taas leikataan 80 mm putkea, tapahtuu leikkaus arviolta 420 mm etäisyydeltä pääakselista, jolloin leikkausvoima on arviolta 2339 kN.

4 LEIKKURIN RUNKO

4.1 Rungon suunnittelu

Suljetun runkorakenteen heikkoudet ovat painon lisääntyminen sekä huolto- ja asennustöiden vaikeus. Sillä saadaan kuitenkin erittäin hyvin suojattua hydraulikkasylinteri ulkopuolisilta iskuilta ja sen ohella rungosta tulee jäykkä. Alaleuan tulee olla kiinteä ja keskeltä avonainen, jotta leikattu metalli ei tukkeudu leukojen väliin. Pääakselin alapuolelta rungosta tulee kuitenkin olla suljettu, estäen suurien metallin palasten kulkeutumisen rungon sisään. Toiseen alaleukaan suunniteltiin lovi, jonka tarkoitus on vähentää leikatavan kappaleen puristumista kasaan. Samalla lovi vähentää pinta-alaa, johon leikkausvoima vaikuttaa, ja nostaa leikkuutehoa (kuvio 5).

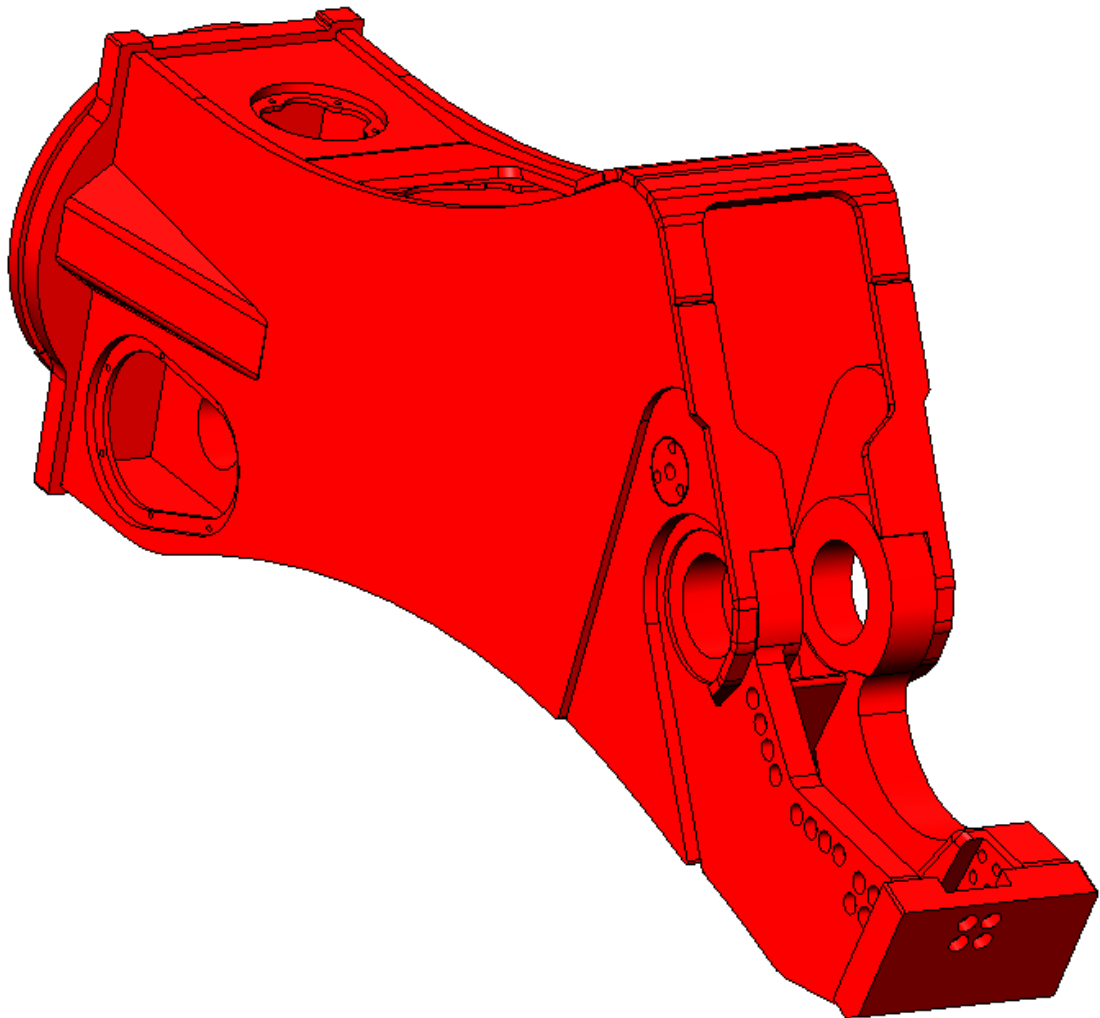


KUVIO 5. Runko

Teräsleikkuri altistuu käytössä erilaisille iskuille, värinälle ja kulumiselle. Sen takia kaikki leikkurin ruuvinkannat suojattiin upottamalla ne runkoon. Näin ruuvinkannat ovat suojassa kulumiselta ja ne pystytään avaamaan myöhemmin. Ruuvien kanssa käytetään Nord-lock lukitusaluslevyjä, jotta ruuvit pysyvät kiinni. Rungon suunnittelussa joudutaan huomioimaan sylinterin tarvitsema tila, sen liikeradat sekä hydraulikkaletkujen ja -liittimien vaatima tila.

Leikkurin suojalevy, joka tulee leikkuuleuan molemmille puolille ja ylös, päätettiin tehdä kolmesta erillisestä osasta levyn käytön optimoimiseksi. Lisäksi osat voidaan kohdistaa helpommin ja valmistus helpottuu, kun taitoksia on yhdessä levyssä vähemmän.

Runkoa suunnitellessa tulee huomioida huollon ja asennustöiden helppous ja turvallisuus. Esimerkiksi leikkuriin vaadittava sylinteri painaa useita satoja kiloja, joten sen käsin asentaminen ei onnistu. Sylinterin asentaminen nosturia apuna käyttäen täytyy ottaa huomioon myös rungon suunnittelussa.



KUVIO 6. Runko koneistettuna

Rungossa koneistetaan laakerien pinnat, rasvavevyjen vastinpinnat, akselien lukitusta varten vaadittavat pinnat, terien vastinpinnat ja kääntökehän vastinpinta. Lisäksi koneistetaan sivuhuoltoluukkujen pinnat ja leikkuuterän vastinpinnat. Leikkuri onkin haastava hitsata ja koneistaa, sillä terien täytyy olla suorassa toisiinsa nähden. Rungon materiaalina käytetään erikoislujia teräksiä (kuvio 6).

4.1.1 Akselit ja laakerointi

Valtaosa akselivaurioista on seurausta materiaalin väsymisestä. Väsymisvauriot alkavat epäjatkuvuuskohdista tai selvistä alkusäröistä. Korkeat pintapaineet voivat aiheuttaa pintaväsymystä, kuoppatutumista, pinnanmuokkautumista muulla tavalla ja mankeloitumista, kun myötöraja ylitetään ja pinta muokkautuu (Airila ym. 2010, 323). Leikkurin kaikki akselit valmistetaan materiaalista, jolla on korkea myötölujuus. Akselien leikkausjännitykset [N/mm^2] laskettiin kaavalla 2,

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

Jossa, σ = Jännitys [N/mm^2]
 F = Sylinterivoima [N]
 A = Akselin pinta-ala [mm^2]

4.1.2 Sylinterin tapit

Sylinterin tappeihin vaikuttava voima on sylinterin aiheuttama työntövoima. Tapin lukitus on yhtenäinen muiden yrityksen tuotteiden kanssa, jolloin samaa lukitukseen tarvittavaa osaa voidaan käyttää muissakin tuotteissa. Lukitus on yksinkertainen, pieni, halpa valmistaa ja suojattu hyvin ulkoisilta iskuilta. Lukituksessa akseliin tehdään lovi, johon lukituskappale tulee. Kappale, johon akseli lukitaan, tehdään lukituskappaleen muotoinen syvennys ja pulttien kierteet. Lukituskappale asennetaan akselin asennuksen yhteydessä ja muotolukituksen ansiosta se lukitsee akselin niin aksiaalis- kuin radiaanisuunnassa.

Tappien molempiin päihin asennetaan rasvanippa, josta voidellaan liukulaakeria käytönaikana. Rungon sisällä olevalle tapille tehdään rasvausta varten nippa rungon kylkeen ja se yhdistetään letkun avulla akselille, jonka avulla voitelu voidaan suorittaa ilman huoltoluukkujen irrottamista.

4.1.3 Pääakseli

Liikkuvan leuan akselin halkaisija on suurempi kuin sylinterin akselit, vaikka voimat eivät ole suurempia pääakselilla. Suurempi halkaisija vähentää leuan taittumista ja sitä kautta terien jumiutumista ja laakerien rasiutusta. Pääakselin lukitus eroaa sylinterin tappien lukituksesta. Pääakselin laippa on muotosulkeinen, eikä se näin pääse pyörimään. Kiristysmutteri lukitaan ruuvilla runkoon, jolloin se ei pääse aukeamaan vahingossa, mahdollistaen kuitenkin pääakselin kireyden säätämisen.

Pääakselinpää ja mutteri haluttiin suojaan ulkoisten iskujen ja kulumisen varalta. Sen takia rungon etuosaan suunniteltiin suojalevy, joka suojaa kolhuilta ja kulumiselta. Pääakselin halkaisijaksi suunniteltiin 190 mm. Leikkausjännitys $65,8 \text{ N/mm}^2$ on alhainen ja akselin pitäisi kestää rasiutukset hyvin. Iso halkaisija helpottaa myös laakerien valinnassa, sillä se laskee laakeriin kohdistuvaa pintapainetta.

4.1.4 Laakerit

Laakerin valintaan vaikuttavat muun muassa liukunopeus, kuormitus, voitelutapa, korrosio, toleranssit, tilantarve ja paino. Leikkurissa laakerit tulevat tekemään suuren kuormituksen alaisena hidasta, edestakaista liikettä. Siihen parhaiten soveltuvat liukulaakerit. Laakereille kohdistuu hieman liukumaa, ja matalahkon liukumanopeuden kanssa voidaan käyttää voiteluaineena voitelurasvaa (D&E Trading. Laakeriin vaikuttavat tekijät; Airila ym. 2010, 417).

Kun kaivinkone vaatii rasvausta päivittäin useaan eri kohteeseen, on hyvä että sama voiteluaine sopii myös leikkurin huoltoon. Liukulaakerit eivät radiaalisuunnassa vaadi suurta tilaa, jolloin paino ja tilan tarve vähenevät. Liukulaakeri kestää hyvin radiaalisuuntaista kuormitusta, mutta akselin täytyy olla aina kovempi kuin laakerin. Lisäksi liukulaakerit kestävät hyvin korroosiota ja niillä on hyvä kulumiskestävyys, etenkin rajavoitelutilanteissa (Airila ym. 2010, 469). Suositeltua karkeampi pinnanlaatu tai laakerien huono linjaus voi kuitenkin vaikuttaa laakerin elinikään huomattavan paljon (D&E Trading. käsittely). Sen takia kaikki laakereihin vaikuttavat pinnat koneistetaan hitsauksen jälkeen.

Liukulaakerin laskennallinen pintapaine p [N/mm^2] lasketaan kaavalla 3,

$$p = \frac{F}{dL} \quad (3)$$

, jossa F = Sylinterivoima [N]
 p = Pintapaine [N/mm²]
 d = Laakerin sisähalkaisija [mm]
 L = Laakerin pituus [mm]

Suurin pintapaine esiintyy sylinterin laakereilla, kun leikkurilla leikataan (sylinterin positiiviseen liikesuuntaan), 133,214 N/mm². Pintapaine on kohtuullisen suuri, mikä rajaa laakerivaihtoehtoja. Pääakselilla esiintyy suurimmillaan 98,158 N/mm² paine. Ero tulee laakerin halkaisijasta, joka on pääakselilla suurempi.

Laakerien liukunopeutta laskettaessa selvitetään akselin kääntymisen asteina. Liukumamatkalla voidaan selvittää liukunopeus v [m/s], joka lasketaan kaavalla 4,

$$v = \frac{s}{t} \quad (4)$$

, jossa v = Liukunopeus [m/s]
 t = liukuma-aika [s]
 s = liukumamatka [m]

liukumamatka s [m] saadaan selvitettyä jakamalla akselin kääntymiskulma [radiaani] jaettuna akselin säteellä [mm]. Leikkuuleuka kääntyy 84,3 astetta ja nopeimmillaan leuka sulkeutuu 3,1 sekunnissa (+ -suunnassa) tai 4,1 sekunnissa (- -suunnassa). Tällöin pääakselin liukunopeus on 0,0451 m/s (+ -suunnassa) ja 0,0365 m/s (- -suunnassa). Leikkuuleuan ja sylinterin välinen laakeri kääntyy 84,3 astetta. Tällöin liukunopeudet ovat 0,0269 m/s (- -suunta) ja 0,0332 m/s (+ -suunta).

Sen sijaan liukunopeuden ja pintapaineen kerroin kohoaa todella suureksi. Arvoltaan suuri liukunopeus-paine kerroin on pääakselilla, 4,426 N/mm²*m/s, kun yleensä liukulaakereille sallitaan 2,5-3 N/mm²*m/s. Miinussuuntaan vaikuttava pintapaine on vielä pienempi kuin + -suunnassa. Suuri pintapaineen ja liukunopeuden tulo johtuu suuresta

synterivoimasta ja pikaliikeventtiilillä saavutetusta liikenopeudesta. Myös kapeahkot laakerit vaikuttavat pintapaineen kasvuun. Tulo lasketaan kaavalla 5,

$$pV = pv \quad (5)$$

, jossa pV = Pintapaineen ja nopeuden tulo [MPa*m/s]

p = Pintapaine [N/mm²]

v = Liukunopeus [m/s]

Tavallisen pronssilaakerin ominaisuudet eivät riittäneet vaadittuihin arvoihin ja siksi päädyttiin kuidusta tehtyyn laakeriin (taulukko 2). Näin sylinterin tappeina voidaan käyttää pienempiä akseleita ja leikkurista on mahdollista tehdä kevyempi. Puristuslujuus laakerimateriaalille on 340 N/mm², joka on huomattavasti korkeampi kuin perinteisillä pronssilaakereilla (100–140 N/mm²).

TAULUKKO 2. Laakerien tiedot

Krütex 200 -laakeri		
sallittu pintapaine	340	N/mm ²
sallittu liukunopeus	0,5	m/s
Sylinterin laakerit		
	140 x 150 x 100	1 kpl / akseli
Max. Pintapaine	133,2	N/mm ²
Max. Liukunopeus	0,033	m/s
Paine-nopeuskerroin	4,43	MPa*m/s
Pääakselin laakerit		
	190 x 200 x 50	2 kpl
Max. Pintapaine	98,2	N/mm ²
Max. Liukunopeus	0,045	m/s
Paine-nopeuskerroin	4,43	MPa*m/s

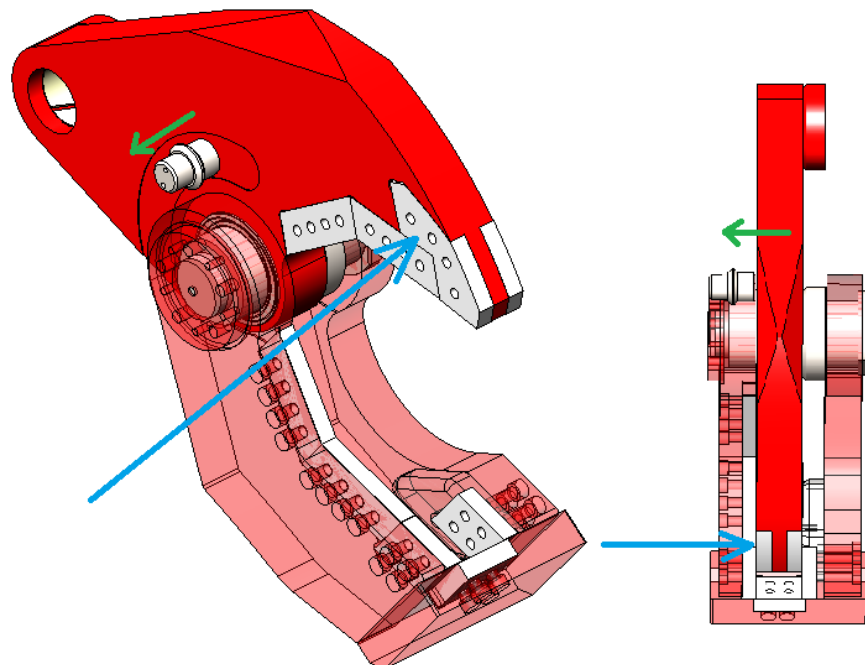
Rungon ja leikkuuleuan väliin suunniteltiin paksut rasvavevyt, joiden tehtävänä on vähentää niiden välistä kitkaa ja kulumista. Rasvavevyt valmistetaan materiaalista kuin akselit. Levyjä varten, leikkuuleukaan koneistetaan syvennykset suojaamaan ja pitämään levyt paikallaan. Levyihin on koneistettu urat, jotka helpottavat voiteluaineen kulkua haluttuun paikkaan.

4.2 Sylinterin kiinnitys

Hydrauliikkasyylinterin sylinteriputki kiinnitetään leikkurin takarunkoon, kääntökehän reunalle ja sylinterin männänvarsi leikkuuterään. Sylinteriputki on kiinteästi kiinnitetty runkoon, jolloin se liikkuu huomattavasti vähemmän ja hydrauliikkaletkut voidaan mitoittaa lyhyemmiksi verrattuna siihen, että sylinteri asennettaisiin toisinpäin. Hydrauliikkasyylinteri kiinnitetään tapeilla molemmista päistä ja sylinterin päät ovat vielä haarukkakiinnitteisiä, jolloin molemmat akselit ja laakerit ovat samanlaisia. Koska molemmat päät ovat haarukkaliitoksella, täytyy niiden linjaus ja koneistus tehdä tarkkaan, sillä haarukkaliitos on oltava suorassa.

4.3 Leikkuuleuan tuki

Leikkuuleuan tuen tehtävänä on tukea leikkaavaa leukaa vääntymisiltä. Tuki on rungon oikealla puolella, jonne leikkuuleuka vääntyy leikatessa. Tuki kiinnitetään pulteilla rungon ulkopuolelta. Tuki on terästä, jota voidaan säätää muuttamalla säätölevyjien määrää holkin ja liu'un välissä. Tukeen on tehty reiät, jotta voitelurasva kulkeutuu leuan ja tuen väliin.

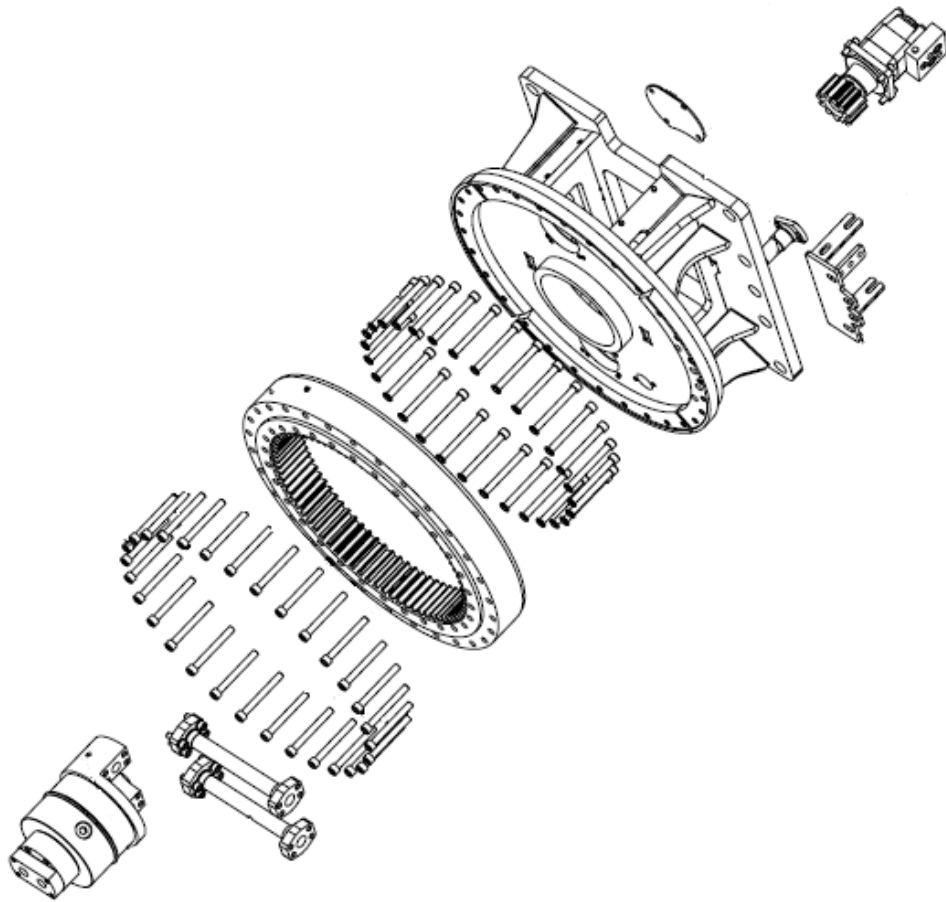


KUVIO 7. Leikkuuleuan tuen merkitys. Sininen on leikkaustapahtumasta aiheutuva leuan kääntymisen suunta ja vihreällä kuvataan leuan kallistussuuntaa pääakselin toisella puolella.

Tuki on leuan oikealla puolella, akselin ”takapuolella”, koska leikkaustilanteessa leuka vääntyy vasemmalle (kuvio 7). Terät ovat leuan oikealla puolella ja niiden väliin kiilautuessa materiaalia leuka vääntyy vasemmalle. Tuki estää leuan vääntymistä, mutta ei estä jos leuka antaa periksi ja taipuu. Leuan myötölujuus on tosin huomattavasti korkeampi kuin mitä pronssiseoksesta tehty laakerin pintapaine saisi olla.

4.4 Pyörittäjä ja kääntökehä

Pyörittäjä helpottaa kappaleiden poimintaa maasta ja kun leikkuria voidaan pyörittää, vähenee kaivinkoneen siirtämisen tarve. Pyörittäjän avulla pystytään kääntämään leikkuria oman akselinsa ympäri mihin asentoon tahansa (kuvio 8).



KUVIO 8. Pyörittäjän osakokoonpano

Pyörittäjä on yrityksellä käytössä jo entuudestaan yrityksen muissa tuotteissa, jolloin pystytään hyödyntämään jo tuotannossa olevia osia. Pyörijä on varusteltu kaksirivisellä laakerilla ja kahdella hydraulimoottorilla. Kääntökehän sisällä on hydrauliiikan läpivien-

ti, jonka kautta leikkurin hydraulikkasynterille saadaan kaivinkoneesta riittävä öljynvirtaus ja -paine.

4.5 Huoltotehtävien vaikutukset runkoon

Teräsleikkuri on kovilla ja sen laakereita joudutaan rasvaamaan päivittäin, mutta sen huoltotoita pyritään helpottamaan vähentämällä ylimääräistä työtä. Esimerkiksi turha luukkujen availu pidentää huoltoaikaa, vaatii enemmän työkaluja ja pahimmillaan on yksi syy huoltamatta jättämiseen. Sen takia kaikki rasvanipat pyritään sijoittamaan niin, että leikkuri pystytään rasvaamaan kokonaan ilman työkaluja.

Huoltoluukut pyrittiin muotoilemaan pyöreiksi, jotta korkeat jännitykset vähenisivät rungossa. Luukkujen kokoon vaikutti myös se, kuinka paljon tilaa koneistus rungon sisällä vaatii. Sivuluukut muotoiltiin siten, että hydraulikkaletkut olisi mahdollista irrottaa luukun kautta.

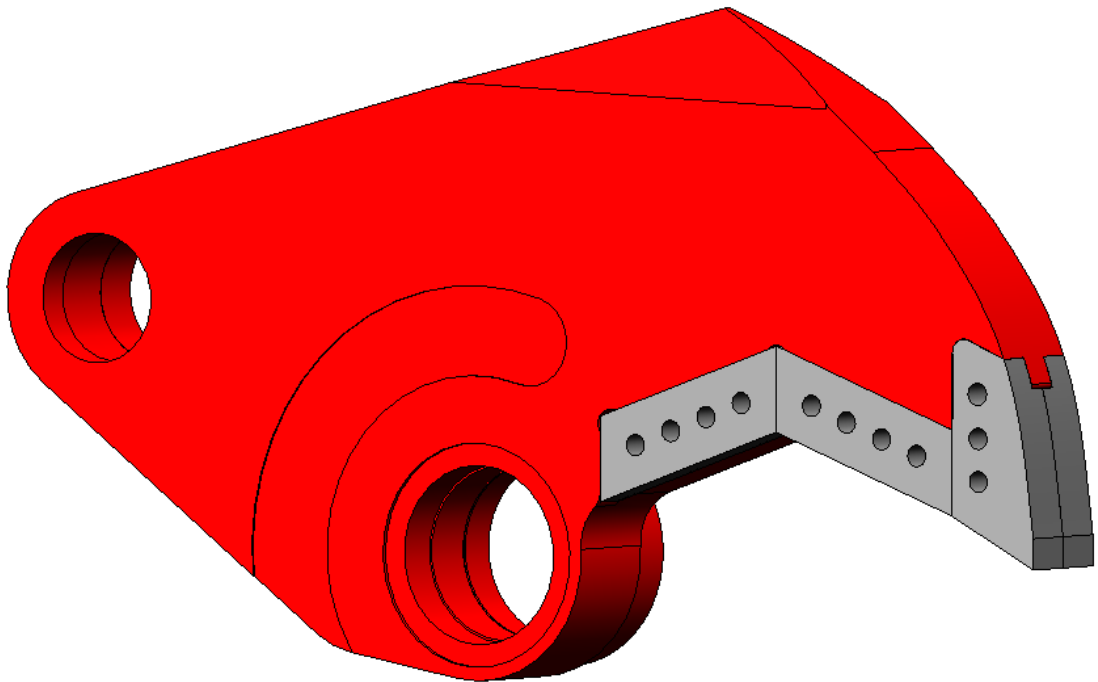
Rungon päällä on isompi luukku, jota kautta rungon sisällä oleva hydraulisynteri voidaan asentaa. Luukussa on kaksi kanttia, ja sen takia kiinnitysruuvien reikien täytyy olla soikeita. Sivuilla olevat pyöreät luukut paitsi mahdollistavat rungon sisällä olevan synterin kiinnikkeen koneistuksen, myös helpottavat synterin asennusta runkoon.

Runkoon tehtiin nostokoukkuja varten kierteet. Tasapainoisemman ja turvallisemman nostamisen takia niille tehdään runkoon useampi paikka.

5 LEIKKUULEUKA

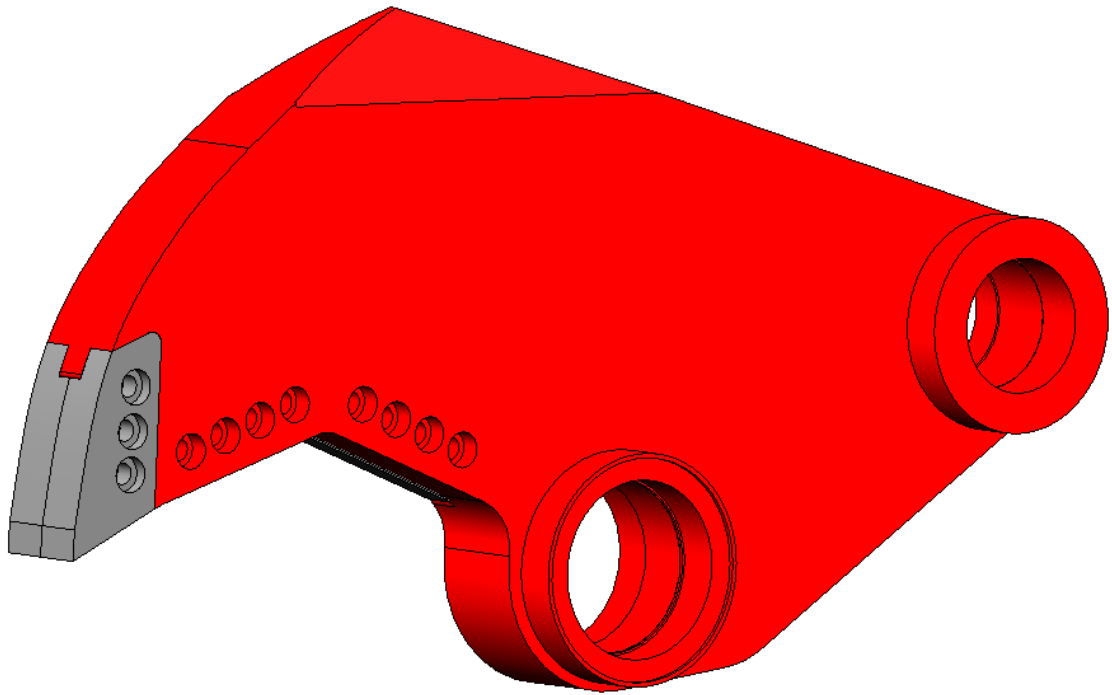
Leikkuuleukaan koneistetaan leikkuu- ja kärkiterien paikat ja hitsataan holkit toiselle puolelle, jotta hydraulisylinteri saadaan keskelle. Leikkuuleuan oikealla puolella on koneistettu pinta, josta rungossa oleva leuan tuki vähentää leuan vääntymistä (kuvio 9).

Leukaan koneistetaan molemmin puolin pääakselin laakereille paikat. Sylinterin tapin laakerille koneistetaan leuan vasemmalle puolelle ura, jolloin laakeri on keskellä leukaa. Rasvavevyä varten leukaan on koneistettu syvennykset, jotta levyt pysyisivät paremmin paikoillaan. Terät kiinnitetään leukaan pulteilla leuan läpi ja ruuvinkannoille koneistetaan syvennykset leukaan (kuvio 10).



KUVIO 9. Leikkuuleuka

Leikkuuleuan suunnittelussa pyritään huomioimaan huolto- ja asennustyöt ja pyritään minimoimaan hankaluudet. Leikkuuleuan suuren massan takia leukaan koneistetaan kierteet nostosilmukoille, jotta leuka voidaan nostaa hallitusti paikalleen.



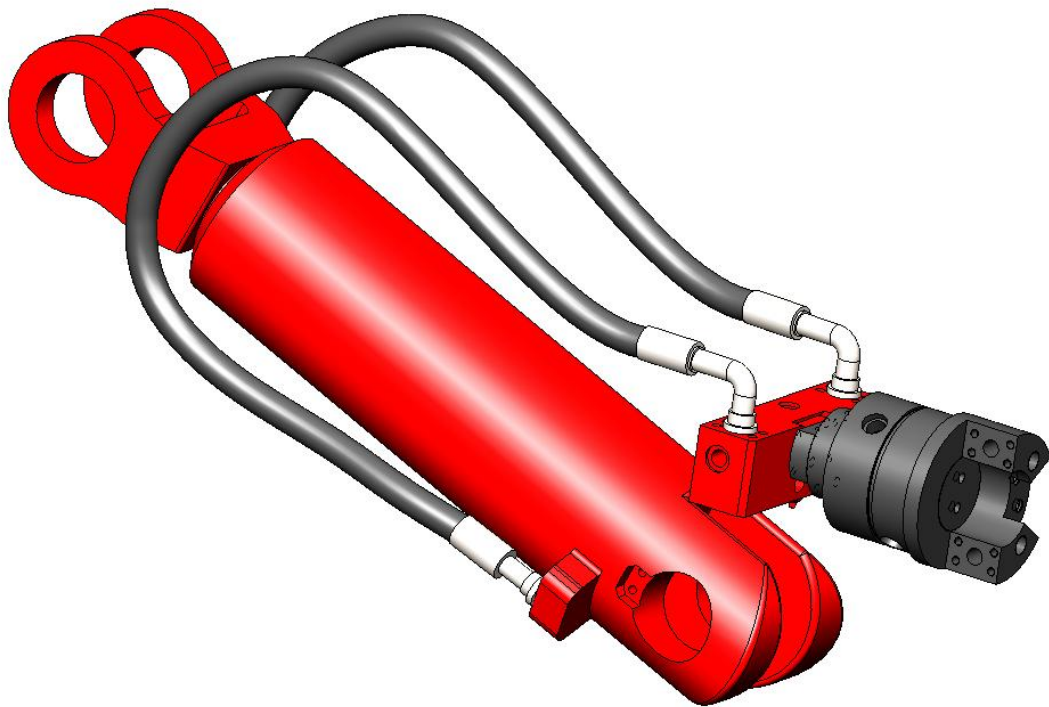
KUVIO 10. Leikkauleuka

Teräpesiä suunnitellessa pitää huomioida käytössä olevat työkalut, jotta koneistus on mahdollista sekä terien istuvuus pesään. Terän pitää olla suorassa leukaan nähden, sillä leikkuri on erittäin tarkka terien välyksistä. Myös pulttien reikien ja terien ulkomuotojen pitää sopia teräpesään, sillä teräpesän pohjan tulee tukea terää.

6 LEIKKURIN HYDRAULIIKKA

6.1 Leikkurin toiminta ja sen hydraulikka

Hydraulijärjestelmässä on kyse energian siirtämisestä nesteen avulla. Sen etuna ovat muun muassa suurien voimien ja momenttien tuottaminen sekä tehoon nähden pienet ja kevyet komponentit. Öljyn vähäisen kokoonpuristumisen takia väliasennot voivat olla jäykkiä. Hydrauliiikan heikkoutena taas on sen toimivuudesta huolehtiminen. Järjestelmä ei saa vuotaa, koska vuotaessaan se voi vahingoittaa luontoa ja pahimmassa tapauksessa ihmistä. Järjestelmä on pidettävä puhtaana toimiakseen. (Airila ym. 2010, 692.) Hydraulinen voimavälitys on kuitenkin käytännössä ainoa järkevä voiman välitystapa kaivinkoneissa (kuvio 11).



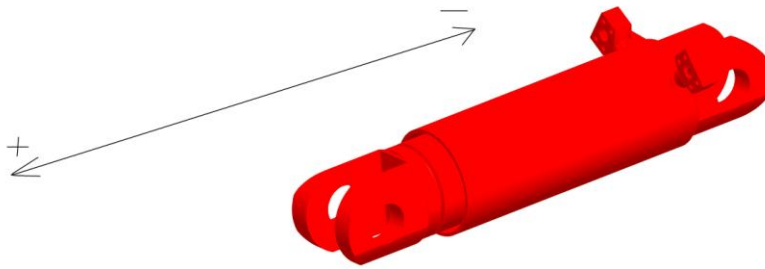
KUVIO 11. Leikkurin hydraulikkaa

Tällä hetkellä yleisin käyttöpaine kaivinkoneessa on 35 MPa (350 bar), joissain tilanteissa voidaan kuitenkin käyttää 38 MPa:n (380 bar) painetta. Leikkuri mitoitettiin 350 bar:in mukaan, mutta niin että se toimisi tarvittaessa myös korkeammalla paineella. Leikkurin hydraulikka mitoitettaessa hydraulikkajärjestelmän pumpun tuotoksi päätet-

tiin 240 l/min, sillä vastaavaa tuottoa oli käytetty yrityksen muiden tuotteiden suunnittelussa.

6.2 Hydraulikkasyylinteri

Hydraulikkasyylinterin toiminta on yksinkertainen. Leikatessa ohjataan kaivinkoneen tuottama öljynpaine sylinterissä männän puolelle, jolloin sylinteri tekee positiivista liikettä ja leuat sulkeutuvat. Leukaa avatessa öljynpaine ohjataan männänvarren puolelle, jolloin sylinteri liikkuu negatiiviseen liikesuuntaan ja avaa leukoja (kuvio 12).



KUVIO 12. Hydraulinen sylinteri ja sen liikesuunnat

Sylinterinvoima [N] lasketaan kaavalla 6,

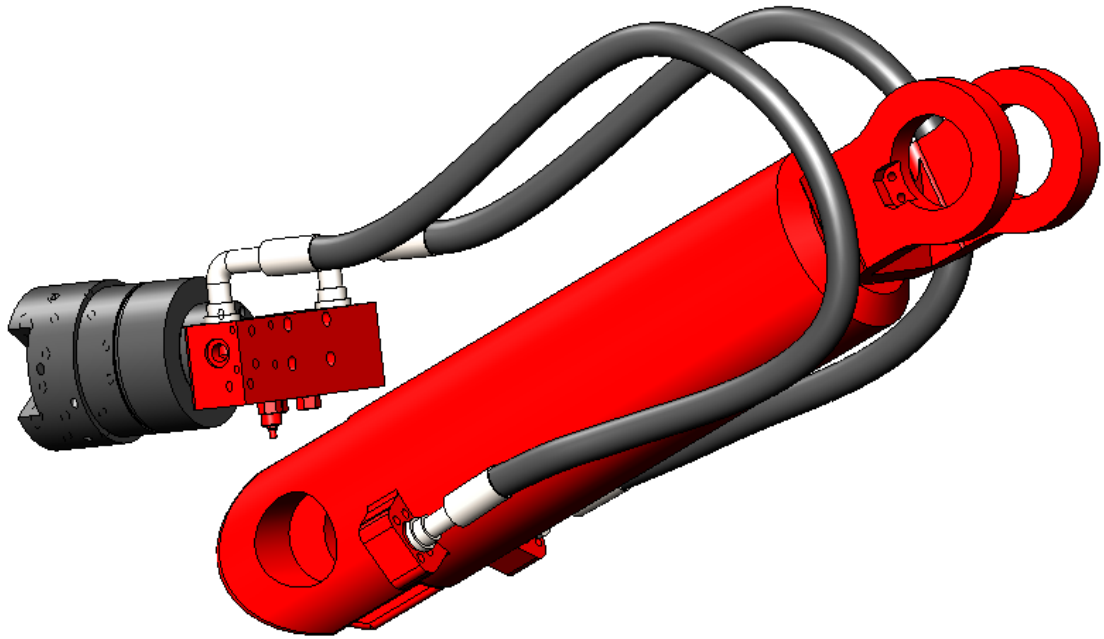
$$F = PA \quad (6)$$

, jossa F = Sylinteristä saatava ulkoinen voima [N]

P = Hydraulijärjestelmän paine [Pa]

A = Männän pinta-ala [m²]

Koska leikkurin hydraulikkasyylinterin männän halkaisija on suuri, tarkoittaa se leukojen hitaita liikkeitä. Liikkeitä voidaan nopeuttaa pikaliikeventtiilillä, joka ohjaa hydraulikkaöljyn männänvarren puolelta suoraan männän puolelle (kuvio 13). Pikaliikkeen vaikutus riippuu männän ja männänvarren pinta-alan suhteesta. Leikkurissa pinta-alojen suhde on melko suuri, jolloin pikaliikeventtiili laskee leikkausaikaa huomattavasti.



KUVIO 13. Hydraulisyylinteri ja pikaliikeventtiili

Sylinterin valmistaa ja suunnittelee alihankkija. Mallissa esitelty sylinteri on luonnos tarvittavasta sylinteristä ja mitat on tarkistettu alihankkijalla, mutta tarkkoja ulkomittoja ei silti tiedetä.

6.3 Hydraulikkaletkut

Hydraulikkaletkujen valintaan vaikuttaa hydraulikkajärjestelmän vaatimukset. Leikkurissa on suuri hydraulikkasyylinteri, jolloin öljyn virtausominaisuuksien merkitys kasvaa. Tärkeänä nähtiin öljyn optimaalinen virtausnopeus, jonka avulla voidaan ehkäistä kavitaation riskiä.

Mikäli hydraulikkaneesteeseen paine laskee liian alas, saattaa nesteeseen muodostua ilmakuplia ja neste saavuttaa höyrystymispisteen, jolloin siihen muodostuu höyrykuplia. Höyrystyminen aiheuttaa järjestelmässä kavitaatioeroosiota eli kulumista. Tällöin koko hydraulikkajärjestelmä saattaa kärsiä vaurioita (Elkelä. 2012, 32). Hydrauliohjauksen virtausnopeutta oli tutkittu yrityksessä aikaisemmin ja hydraulikka järjestelmä mitoitettiin niitä tuloksia hyväksi käyttäen, jotta virtauksen aiheuttama kavitaatio pystytään hallitsemaan (Pitkäsalo. 2016).

Virtausnopeus putkessa lasketaan kaavalla 7,

$$Q = vA \quad (7)$$

, jossa Q = Tilavuusvirta putkessa [m^3/s]
 v = Virtausnopeus putkessa [m/s]
 A = Putken sisäpuolen poikkipinta-ala [m^2]

Virtausnopeus 1¼ tuuman letkulla on 5 m/s. Tämä on lähes puolet suositellusta ja pumpun tuottoa voidaan nostaa reilusti. Samalla kuitenkin nousee Reynoldsin arvo ja nesteen virtaustyyppi muuttuu kokonaan turbulenttiseksi. Laminaarisessa virtauksessa nestepartikkeleiden virtaus on suoraviivaista. Partikkelit liikkuvat hitaasti virtauskanavan reunoilla ja vastaavasti keskellä niiden nopeus on nopeinta. Turbulenttisessa virtauksessa nestepartikkelien virtaus muuttuu pyörteileväksi. Tällöin osa nesteen liikkeestä suuntautuu eri suuntiin ja järjestelmän tehohäviöt järjestelmässä kasvavat (Elkelä. 2012, 26). Reynoldsin lukua voidaan pienentää kasvattamalla hydraulikkaletkun halkaisijaa, mutta tällöin täytyy huomioida letkun vaatima taivutussäde. Reynoldsin luku lasketaan kaavalla 8.

$$Re = \frac{vl}{\mu} \quad (8)$$

jossa Re = Reynoldsin luku
 v = Virtausnopeus [m/s]
 l = letkun sisäpinnan halkaisija [m]
 μ = Hydraulikkaöljyn viskositeetti [m^2/s] (Neste)

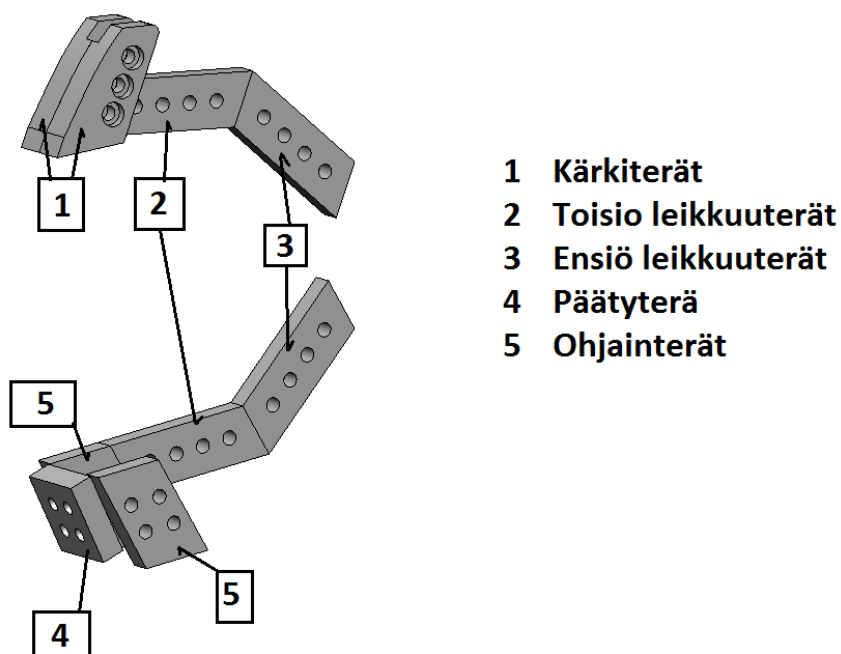
Reynoldsin luvuksi suunnitelluilla komponenteilla tulee 3460. Tämä on yli laminaarisen virtauksen arvon, joka on alle 2300. Kuitenkin vasta kun Reynoldsin luku on yli 4000, on virtaus turbulenttista. Näiden välissä virtaus on siirtymätilassa, jolloin virtaus voi olla kumpaa tahansa (Clarkson University). Koneessa, jossa leikkuri on, kuviteltiin käytettävän Nesteen ISO VG 46-hydraulioöljyä, jota suositellaan käytettäväksi työkonneissa.

Letkun valintaan vaikutti myös sen taivuttaminen, sillä hydraulikkaletkun tulee olla taivutettuna leikkurin rungon sisällä, jotta letku sallisi sylinterin tekemät liikkeet ja isommalla letkulla taivuttaminen olisi ollut haastavaa.

7 LEIKKUUTERÄT

7.1 Terien kiinnitys

Leikkurin terien pultit tulevat rungon ulkopuolelta ja terässä itsessään on kierteet. Tämä mahdollistaa terien irrottamisen, vaikka leuat jumittuisivatkin kiinni. Terät kiinnitetään pulteilla leukaan niin, että pultinkanta on leuan ulkopuolella ja kannalle on koneistettu syvennys. Koska kierreosa on terässä, tarvitsee terän olla riittävän leveä kierteen keston kannalta.



- 1 Kärkiterät
- 2 Toisio leikkuuterät
- 3 Ensiö leikkuuterät
- 4 Päätysterä
- 5 Ohjainterät

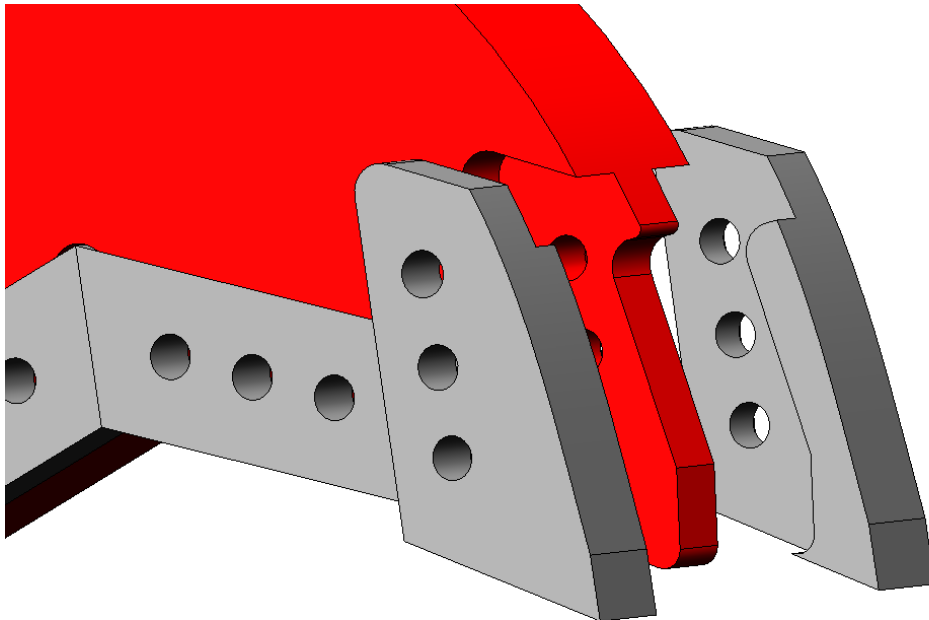
KUVIO 14. Leikkurin terät

Teriä voidaan säätää säätölevyillä, joiden määrää muuttamalla siirretään teriä lähemmäs tai kauemmas toisistaan. Säätölevyt asennetaan terien ja rungon väliin. Suositeltu välyk leikkaaville terille on 0,25 – 0,5 millimetriä.

7.2 Terät

Teriltä vaadittiin symmetrisyyttä, jotta samaa terää voidaan käyttää useammassa paikassa ja vielä niin, että terästä voidaan käyttää neljää särmää leikkaukseen. Samanlaiset terät helpottavat ja laskevat varastointikuluja ja useampi käytettävä reuna laskee leikkurin käyttökuluja, sillä laadukkaat terät ovat erittäin kalliita (kuvio 14).

Ohjainterä voidaan asentaa leuan kummalle puolelle tahansa ja teristä voidaan käyttää yhteensä neljä leikkaavaa särmää. Alaleuan päätyterästä voidaan käyttää kahdeksan leikkaavaa särmää, mikä lisää terän käyttöikää huomattavasti.



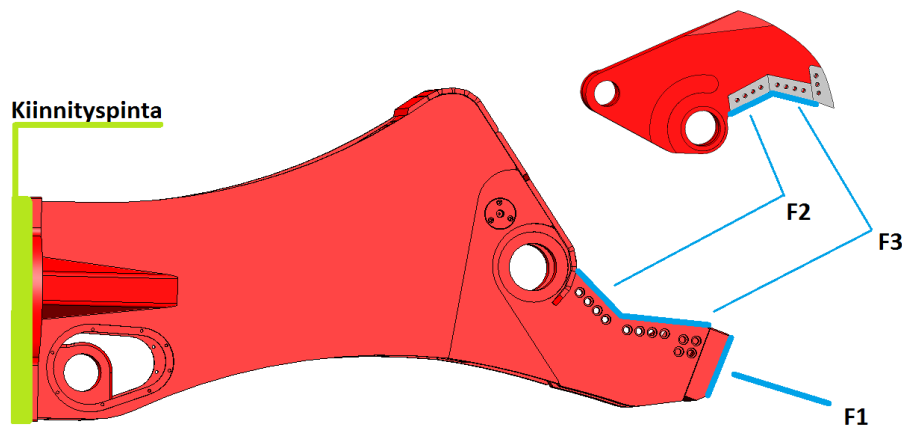
KUVIO 15. Kärkiterät

Kärkiteriä ei voida kääntää lainkaan. Tästä tavoitteesta luovuttiin, sillä uskottiin että suunnittelemaamme versio olisi kestävämpi ja paremmin leikkaava. Myös muutamat patentit vaikuttivat siihen, että luovuimme käännettävästä terästä. Kärkiterässä on tärkeää, että leikkuuterän leikkuureunaa on koko leikkuuleuan leveydellä (kuvio 15).

8 FEM-simulointi

8.1 Voimien määrittäminen

Teräsleikkuri on kaivinkoneen puomin jatkeena ja se joutuu koville. Laskuissa käytetään voimien varmuuskerrointa 1,4. Runkoon ja leikkuuterään simuloidaan hydraulikkasyylinterin aiheuttama voima. Ulkoiset kuljettajan aiheuttamat voimat jouduttiin arvioimaan ja nekin ovat koneen kuljettajasta ja käytöstä riippuvaisia. Terien kohdalle laskettiin leikkuuleuan aiheuttama voima, joka vaihteli pääakselin etäisyyden mukaan. Leikkuuvoima kerrottiin vielä varmuuskertoimella (kuvio 16).

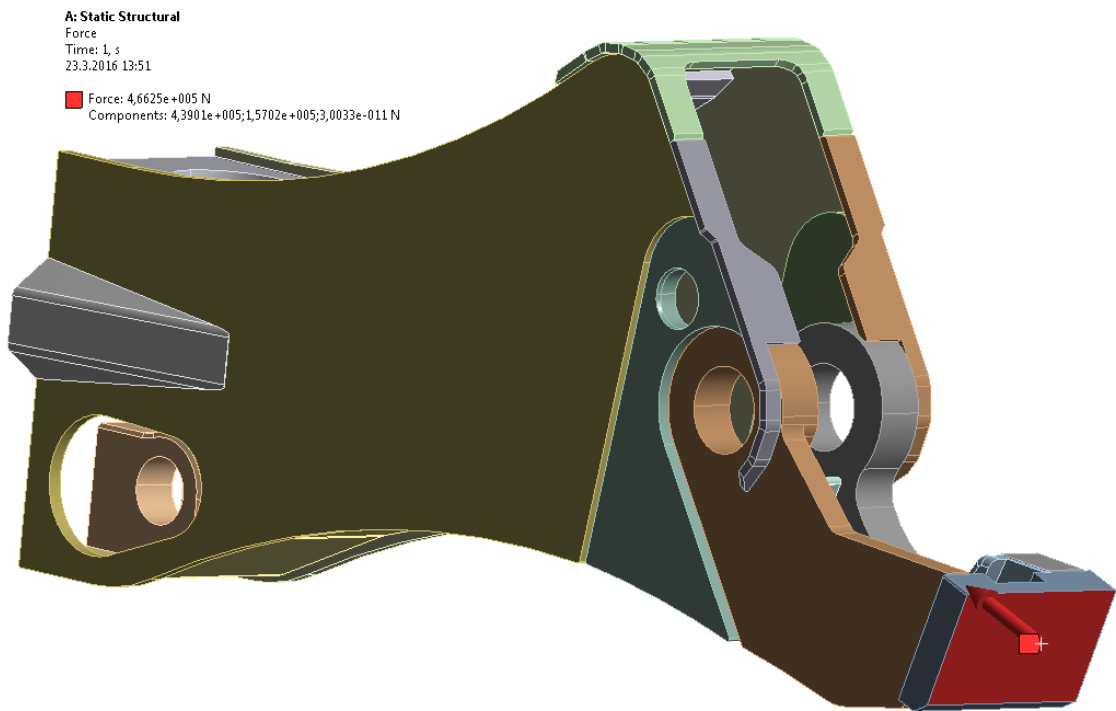


KUVIO 16. Leikkuriin arvioitujen voimien suunnat

Simuloinnissa käytettiin koneistamattomia osia, jotta ohjelmiston elementtikoko ei olisi noussut liian suureksi. Lisäksi hitsausseamoja ei mallinnettu, eikä pyörijää tai hydraulikkajärjestelmää otettu lainkaan huomioon.

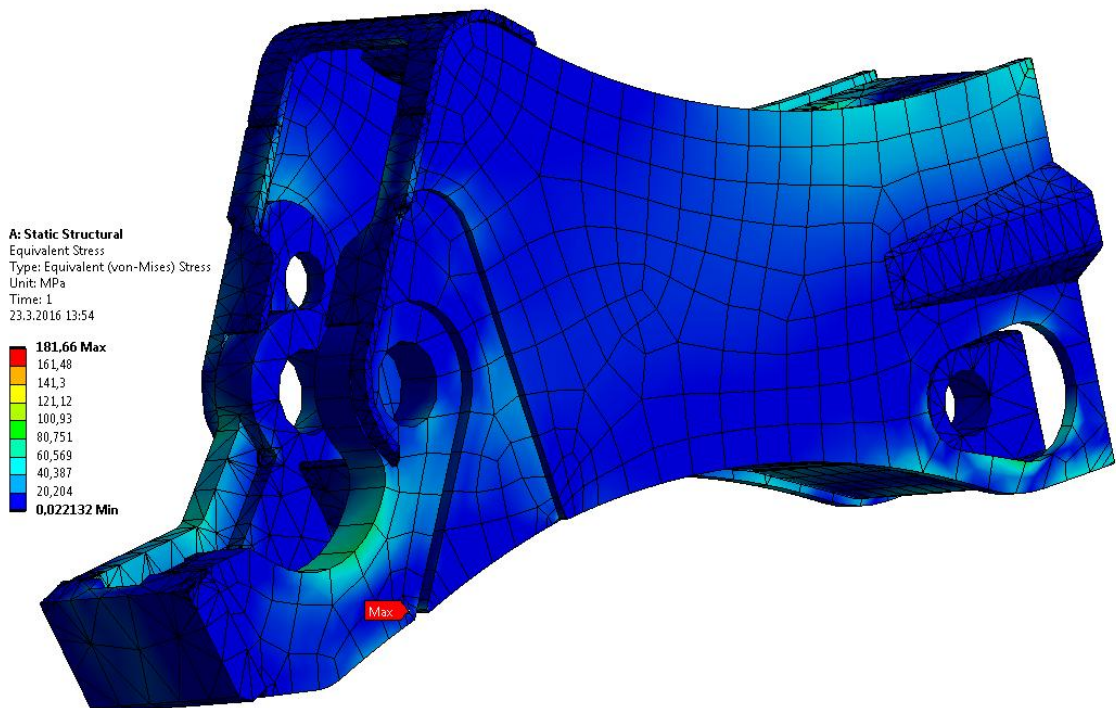
8.2 Tulokset ja niiden pohdinta

Leikkuria simuloitaessa Ansys-ohjelmistolla, tarkasteltiin Von Mises-vertailujännityksiä. Von Mises on tarkoitettu sitkeiden materiaalien, kuten teräksen simulointiin. Ensin tarkasteltiin rungon jännityksiä. Kuvitellussa tilanteessa (kuvio 17) leikkurin päätylevyyden tulee kohtisuora voima. Leikkurin kääntökehä on kuviteltu kiinteäksi.



KUVIO 17. Kuvitellun voiman vaikutus pinta ja suunta

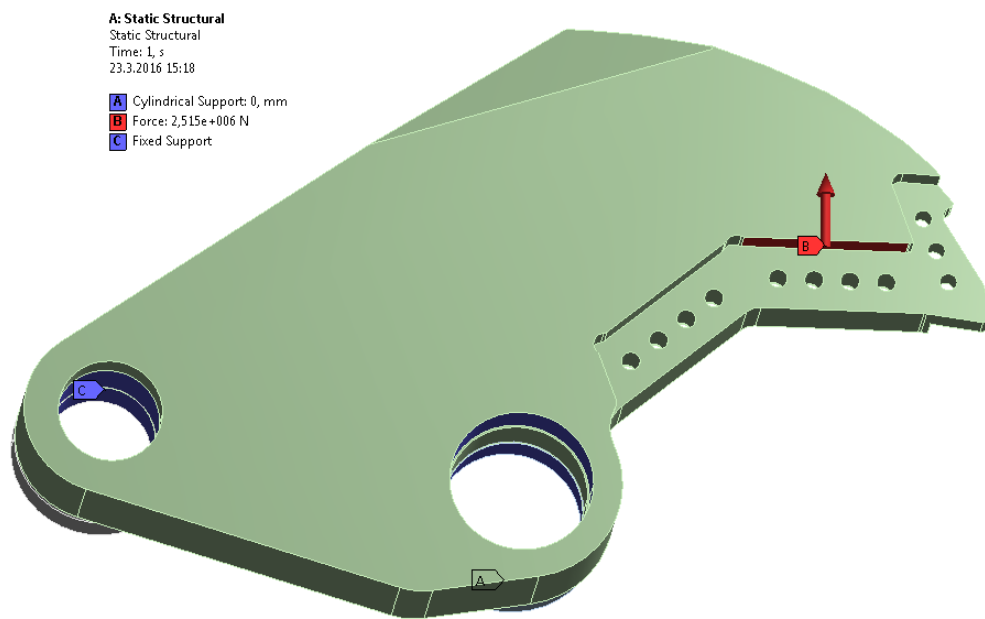
Suurimmat jännitykset esiintyvät vasemman alaleuan ja välilevyn liitoskohdan alareunassa (kuvio 18). Liitoskohtaa tasoittavat hitsaussaumamat laskevat jännityspiikkiä entisestään, vaikka 182 MPa:n jännitys ei leikkuria vauriotakkaan. Jännitykset laskevat myös muissa liitoskohdissa, jotka liitetään hitsaamalla. Hitsaussauma loiventaa teräviä reunoja ja jännitykset pääsevät jakaantumaan tasaisemmin.



KUVIO 18. Jännitysten esiintyminen rungossa

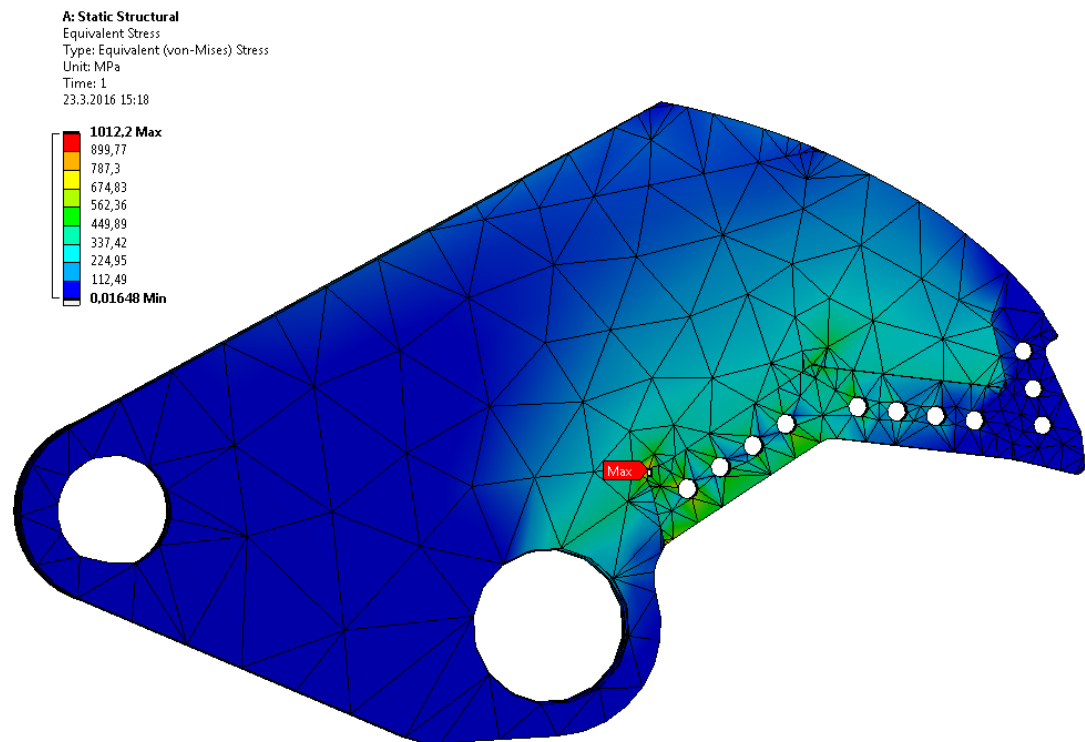
Jännitykset jakaantuvat kohtalaisen hyvin runkoon eikä suuria jännityspiikkejä synny. Vain huoltoluukkujen ympärillä jännitykset kohoavat hieman.

Leikkuuleukaa simuloidessa kuviteltiin leikkuuvoiman kohdistuvan teräpesän pohjaan. Leikkuri oli tuettu kiinteästi sylinterin reiästä ja pääakseli oli tuettu niin, että se pääsi pyörittämään akselinsa ympäri (kuvio 19).



KUVIO 19. Leikkuuleuan simulointi

Jännitykset kohoavat ensiöteräpesän kulmaan lähelle pääakselia, jossa jännitys kohoaa yli sallitun myötörajan (kuva 20). Raja ylittyy niin vähän, että sitä saadaan laskettua muotoilemalla hieman teräpesän kulmaa. Kun pultit jakavat leukaan kohdistuvaa voimaa laajemmalle alueelle, laskee jännitys entisestään.



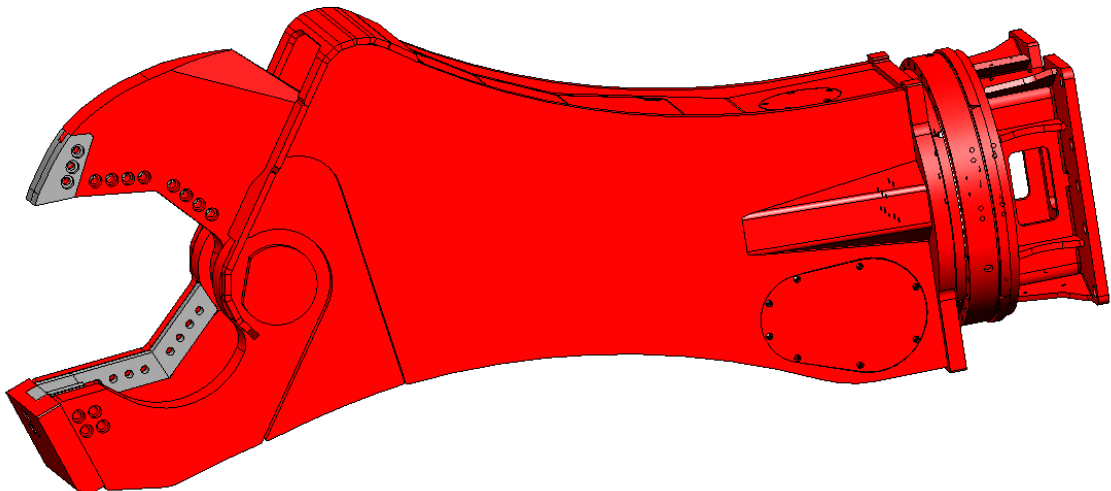
KUVIO 20. Leikkuuleuan jännityksiä

9 POHDINTA

Tavoitteena opinnäytetyössä oli suunnitella kaivinkoneeseen asennettava teräsleikkuri, joka olisi kilpailukykyinen omassa painoluokassaan. Vaatimukset täytettiin, vaikka leikkurin paino pääsikin lopussa ylittämään tavoitepainon. Vaikka työssä ei varsinaisesti keksitty mitään uutta tuotealalle, on tuotteen suunnittelusta varmasti hyötyä yrityksen muihin tuotekehitysprojekteihin.

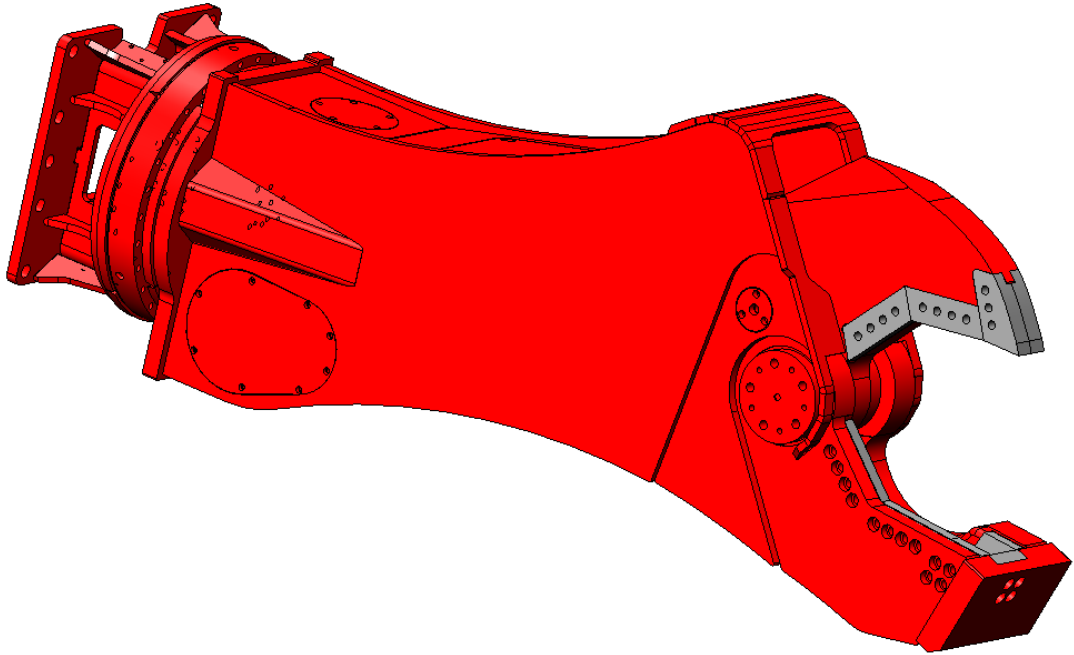
Leikkurin suunnittelu ja sen kehittäminen ennen valmistuksen aloittamista on kokonaisuudessaan haastavaa ja teräksen hinnan romahdus tietää ennen kaikkea kierrätyskeskuksille vaikeita aikoja, on silti liikuteltavalla teräsleikkurilla tulevaisuudessakin markkinoita. Etenkin Pohjois-Amerikassa rakennetaan teräksestä paljon enemmän kiinteitä kohteita, esim. varastoja, joita ei voida liikutella teräsenkierrätyskeskuksen pihalle.

Leikkurin kannattava valmistaminen ja on kuitenkin hankalampaa. Alalla on valmistajia jotka kilpailevat hinnalla ja niitä, jotka ovat kehittäneet leikkureita jo 80-luvulta asti ja pystyvät kilpailemaan laadukkailla tuotteilla. Erilaisia teräsleikkurien sovelluksia on valmistettu jo useampi vuosikymmen ja patenteja erilaisista ratkaisuista on paljon. Patentit kuitenkin pääosin rajoittavat yksityiskohtien suunnittelua leikkurissa, eikä geometrian suunnittelua rajoiteta millään.



KUVIO 21. Leikkuri

Opinnäytetyö oli prosessina itselleni uusi haaste ja kokemus. Näin laajaa projektia en ole aiemmin tehnyt yksin ja laajuuden takia kaikkiin yksityiskohtiin en ehtinyt paneutua täydellä tarkkuudella. Projekti oli erittäin opettavainen ja sain paljon neuvoja koneen suunnitteluun liittyen. Loppujen lopuksi koen selvinneeni projektista kunnialla. Nykyistä tuotetta kehittäisin vielä rungon osalta ja simuloisin rungon kestävyyttä tarkemmin.



KUVIO 22. Teräsleikkuri

LÄHTEET

Airila M. Ekman K. Hautala P. Kivioja S. Kleimola M. Martikka H. Miettinen J. Niemi E. Ranta A. Rinkinen J. Salonen P. Verho A. Vilenius M & Välimaa V. 2009. Koneenosien suunnittelu. Helsinki: WSOYpro Oy.

B2Brelicas, kaivinkoneen kiinnitys, 3.3.2016.
<http://www.b2brelicas.com/images/NORSCOT/55283.jpg>

Clarkson University. Reynolds number. Luettu 20.4.2016.
<http://web2.clarkson.edu/projects/subramanian/ch330/notes/Reynolds%20Number.pdf>

D&E Trading. Laakerin valintaan vaikuttavat tekijät. Luettu 8.12.2015
<http://www.detrading.fi/fi/teoria/laakerin-valintaan-vaikuttavia-tekijoeitae>

D&E Trading. Käsittely. . Luettu 8.12.2015
<http://www.detrading.fi/fi/teoria/kaesittely>

Elkelä A. 2012. Hydrauliiikka-alan koulutusmateriaalin laatiminen. Auto- ja kuljetustekniikka. Tampereen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.
https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/45633/Elkela_Atte.pdf?sequence=1

Ganter- Griff, nostokoukkujen luettelo, Luettu 30.3.2016
<https://katalog.ganter-griff.de/pdf/ganter/en/580.pdf>

Modelbarn, kaivinkoneen kiinnitys, 3.3.2016.
<http://modelbarn.co.nz/images/CAT-323DL-NSCT55282.jpg>

Neste. ISO VG 46 hydraulioöljy 2013. Luettu 20.2.2016
https://www.neste.fi/tp_tiedote.aspx?productid=320711&lang=&type=tt

Pitkäsalo Benjami. Myyntijohtaja. 2016 Haastattelu yrityksen muiden tuotteiden hydrauliiikan suunnittelusta. Haastattelija Kohilo A. Ramtec Oy. Lahti.

Ramtec Oy. 2016. Luettu 9.3.2016.
<http://ramtec.fi/en/home/>

Volvo. 2012, EC380D Excavator specs. Luettu 8.1.2016
http://www.volvoce.com/SiteCollectionDocuments/VCE/Documents%20Global/crawler%20excavators/ProductBrochure_EC380D_EC480D_EN_30_20030338-D_2012.12.pdf

VTT. 2007. Pienmetallikeräyksen tehostaminen (VTT-R-06362-07). Luettu 30.3.2016.
<https://www.hitpages.com/doc/6749309445865472/2#pageTop>