



LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU
Lahti University of Applied Sciences

BETONIPUMPUN PUOMIN TUOTEKEHITYS

LAHDEN
AMMATTIKORKEAKOULU
Tekniikan ala
Kone- ja tuotantotekniikka
Suunnittelupainotteinen mekatroniikka
Opinnäytetyö
Kevät 2014
Juho Ihanamäki

Lahden ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

IHANAMÄKI, JUHO: Betonipumpun puomin tuotekehitys

Suunnittelupainotteisen mekatroniikan opinnäytetyö, 35 sivua, 8 liitesivua

Kevät 2014

TIIVISTELMÄ

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli M17 -betonipumpun puomin tuotekehittäminen. Työn toimeksiantaja oli betoninkuljetus- ja pumppauslaitteita valmistava Saraka Oy. M17 on Sarakan malliston pienin puomi. Opinnäytetyön päätavoitteet olivat puomin toisen nivelen uudelleensuunnittelu, sylinterin siirtäminen toisesta elementistä ensimmäiseen elementtiin, puomin massan ja valmistuskustannusten vähentäminen.

Opinnäytetyön tutkimusosuudessa käsitellään asioita, jotka vaikuttavat betonipumpun puomin suunnitteluun. Siinä on esitetty lyhyesti muutamia standardeja, jotka määrittelevät puomin ominaisuuksia ja sen suunnittelua. Myös muiden puomivalmistajien ratkaisuja on esitetty tutkimusosassa.

Puomin tuotekehitys aloitettiin luomalla kolme versiota parannetusta M17 -puomista. Nämä versiot luotiin SolidWorks 3D -suunnitteluohjelmalla. Jokaisen version hyödyt ja haitat määriteltiin ja paras versio valittiin tuotekehityksen pohjaksi. Ennen valintaa tehtiin laskelmia puomin akselitappeihin kohdistuneista voimista. M17 -puomin teräslaadut vaihdettiin teräslaatuun, jolla on suurempi myötölujuus kuin alkuperäisillä teräslaaduilla. Teräslaatuun vaihtaminen mahdollisti teräslevyjen seinämävahvuuden pienentämisen, jonka ansiosta puomin massa aleni.

Opinnäytetyön lopuksi tehtiin laskelmat vakauden todentamisesta esimerkkikokoonpanossa. Siihen kuului kallistusmomentin laskeminen ja kallistusreunapiirros Saraka City -järjestelmästä. Opinnäytetyön tuloksena saatiin 3D -malli kehitetystä M17 -puomista.

Asiasanat: betonipumpun puomi, tuotekehitys, uudelleensuunnittelu, 3D -suunnitteluohjelma

Lahti University of Applied Sciences
Degree Programme in Mechanical and Production Engineering

IHANAMÄKI, JUHO: Product development of a concrete
placing boom

Bachelor's Thesis in Mechatronics, 35 pages, 8 pages of appendices

Spring 2014

ABSTRACT

The objective of this Thesis was the product development of the M17 concrete placing boom. The work was commissioned by Saraka Oy, which manufactures concrete mixers and pumps. M17 is the smallest boom in Saraka's range of models. The main goals of the Thesis were re-engineering the second joint of the boom, moving the cylinder from the second to the first element and reducing the weight and the manufacturing costs.

The theory part of the Thesis deals with issues which influence designing of the concrete placing boom. It presents some standards which define the features or designing of the boom. Solutions from some other boom manufacturers are also presented in the theory part.

Product development of the M17 boom started with creating three suggestions for the improved M17 boom. These versions were created by SolidWorks 3D CAD design software. Benefits and drawbacks of each version were analyzed and the best version was selected as to basis of product development. Some strength calculations affecting the axle stubs were made before the selection. Steel grades of the M17 boom were also changed to a grade which has higher yield strength than the originals had. Steel grade changes allowed reducing sheet thickness which reduced the mass of the boom.

An example calculation of stability was also made at the end of the Thesis. It included tilting moment calculations and tilting edge drawing for the Saraka City pump mixer. A 3D model of the improved M17 boom was created by SolidWorks as the result of this thesis.

Key words: concrete placing boom, product development, re-engineering, 3D CAD design software

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	SARAKA OY	2
2.1	Saraka Oy:n tuoteryhmiä	3
2.1.1	Betoninkuljetussäiliöt	3
2.1.2	Teleskooppivalurännit	4
2.1.3	Yhdistelmäpumput	5
3	PUOMIEN SUUNNITTELUSSA HUOMIOITAVIA ASIOITA	6
3.1	Standardit ja säädökset	6
3.1.1	SFS-EN 12 001	6
3.1.2	DIN 15 018, osa 3	8
3.1.3	DIN 15 019, osa 2	9
3.1.4	DIN 24 117	10
3.1.5	DIN 24 118	11
3.2	M17 -puomin suunnittelussa huomioitavia asioita	12
3.3	Muiden valmistajien ratkaisuja	14
3.3.1	SCHWING Stetter	14
3.3.2	SERMAC S.r.l	15
4	M17 -PUOMIN TUOTEKEHITTÄMINEN	18
4.1	M17 -puomin rakenne	18
4.2	Versio 1	20
4.3	Versio 2	22
4.4	Versio 3	23
4.5	Käytettävän version valitseminen	25
5	M17 -PUOMIN TUOTEKEHITYKSEN LOPPUTULOS	27
5.1	M17 -puomin materiaalivalintojen tarkastelu	28
5.2	M17 -puomin toisen elementin liikenopeus	30
5.3	Puomin vakauden todentaminen	31
5.4	Esimerkki puomin vakauden todentamisesta	32
6	YHTEENVETO	34
	LÄHTEET	36
	LIITTEET	38

1 JOHDANTO

Saraka Oy on betonikuljetus- ja pumppauslaitteita valmistava yritys. Tässä opinnäytetyössä keskitytään yrityksen M17 -puomin tuotekehitykseen. Sitä käytetään Sarakan Eko- ja City -betonipumppujen puomina. Puomi on ollut tuotannossa jo 1990-luvulta lähtien, eikä sitä ole muutamaa pientä muutosta lukuun ottamatta kehitetty eteenpäin. Sen ominaisuuksissa on havaittu myös pieniä puutteita, joista halutaan eroon. Saraka Oy haluaa parantaa kilpailukykyään, ja siksi M17 -puomin kehittäminen on nyt ajankohtaista.

2000-luvun aikana markkinoille on tullut uusia ja aikaisempia lujempia rakenneteräksiä, joiden avulla teräsrakenteita voidaan keventää, ilman rakenteen heikentymistä. Esimerkkinä erittäin lujista rakenneteräksistä toimii Ruukki Oy:n Optim QC -sarjan rakenneteräkset. Erikoislujat rakenneteräkset ovat hyvä vaihtoehto juuri puomeihin ja muihin nostolaitteisiin, koska niiden avulla rakennetta voidaan keventää lujuutta heikentämättä. Puomin massa vaikuttaa myös suoraan betoniauton hyötykuormaan, eli kevyempi puomi mahdollistaa suuremman hyötykuorman.

Opinnäytetyön tavoitteena on puomin massan ja valmistuskustannusten pienentäminen. Puomin kakkoselementin sylinteri pitää siirtää ykköselementtiin muun muassa puomin toiminnan ja painopisteen parantamisen vuoksi. Opinnäytetyöhön kuuluu myös puomin toisen nivelen uudelleensuunnittelu. Nivel pitää suunnitella uudelleen sylinterin siirtämisen sekä puomin kestävyysparantamisen vuoksi. Nivelen uudelleensuunnittelulla halutaan parantaa myös sen kinemaattisia ominaisuuksia.

Opinnäytetyössä tuotetaan useita versioita parannellusta puomista ja valitaan paras vaihtoehto yhdessä Saraka Oy:n edustajien kanssa. Puomia aletaan kehittää valitun version pohjalta. Puomin suunnittelu toteutetaan SolidWorks-suunnitteluohjelmistolla ja sille tehdään lujuustarkastelu.

2 SARAKA OY

Saraka Oy on erilaisten betonikuljetus- ja pumppauslaitteiden valmistukseen keskittynyt suomalainen konepajateollisuuden yritys. Saraka Oy perustettiin vuonna 1976 ja yritys aloitti suunnittelutoimistona sekä konepajana, mutta on sen jälkeen siirtynyt betonikuljetus- ja pumppauslaitteiden valmistukseen. Yrityksen alkuperäinen nimi oli Laite-Saraka Oy, joka vuonna 2012 vaihtui Saraka Oy:ksi. Suurin osa Sarakan valmistamista betonialan laitteista on betoniautoja, mutta laitteita asennetaan myös perävaunujen rungon päälle. Yrityksen tuotteita ovat muun muassa betonikuljetussäiliöt, hydrauliset teleskooppivalurännit, betonin kuljetinhihnat ja yhdistelmäpumput. Saraka on viime vuosina laajentanut tuotevalikoimaansa myös kaivosteollisuuden tarpeisiin, esimerkiksi kaivokseen tarkoitettuihin mataliin betonikuljetussäiliöihin. (Saraka Oy 2014a; Seppänen 2014.)

Saraka Oy:n pääkonttori ja tehdas sijaitsevat Ulvilassa, osoitteessa Rantavainiontie 3-7, 28400 Ulvila. Pääkonttorin yhteydessä on kokoonpanohalli, jossa laitteet kootaan ja asennetaan kuorma-auton alustan tai perävaunun päälle. Siellä valmistetaan myös osa asennettavista komponenteista. Kokoonpanohallin vieressä sijaitsee pintakäsittelylaitos, jossa betonikuljetuslaitteisiin tehdään asiakkaan toivomusten mukaiset maalaukset. Pintakäsittelylaitoksen takana sijaitsevassa hallissa valmistetaan suurin osa tarvittavista komponenteista, esimerkiksi betonikuljetussäiliöt. (Saraka Oy 2014b; Seppänen 2014.)

Sarakassa työskentelee noin 30 henkilöä, muun muassa hitsaajia, asentajia, suunnittelijoita ja myynnistä vastaavia henkilöitä. Suurin osa yrityksen tuotteista menee vientiin, pääasiassa Pohjoismaihin. Saraka on Pohjoismaiden johtava betonipumppujen, pyörintäsäiliöiden ja teleskooppivalurännien valmistaja. Sarakan asiakkaat ovat betonialan yrityksiä, esimerkiksi Swerock AB ja Laurilan Betoni. (Saraka Oy 2014b; Seppänen 2014.)

2.1 Saraka Oy:n tuoteryhmiä

2.1.1 Betoninkuljetussäiliöt

Saraka Oy:n valmistamat betoninkuljetussäiliöt jakaantuvat kolmeen eri mallisarjaan A, B ja G. A- ja B-mallin säiliöt on tarkoitettu normaalissa tieliikenteessä käytettäviin betoninkuljetuslaitteisiin. G-mallin säiliöt on tarkoitettu käytettäväksi kaivoksissa. (Seppänen 2014.)

A-mallin säiliöitä on tilavuudeltaan neljää erilaista, ja B-mallin säiliöitä on tilavuudeltaan kuutta erilaista. A-mallin säiliöt on nimetty betoninkuljetuskapasiteetin mukaan, eli 7A -säiliön tilavuus on 7 m^3 . A-mallin muut säiliöt ovat 9A, 10A (kuva 1) ja 12A. Myös B-mallin säiliöt on nimetty betoninkuljetuskapasiteetin mukaan. B-mallin säiliöt ovat 6B, 7B, 8B, 9B, 10B ja 12B. A- ja B-mallien suurimpana erona on se, että B-mallin keskilieriön halkaisija on pienempi. G-mallin säiliöitä on tilavuudeltaan neljää erilaista. G-mallin säiliöt on nimetty samaan tapaan kuin A- ja B-mallit. G-mallin säiliöt ovat 8G, 9G, 10G ja 12G. G-mallin säiliöiden huomattavin ero A- ja B-mallin säiliöihin on se, että G-mallin säiliöissä kannatusrenkas on kauempana säiliön suuaukosta. (Seppänen 2014.)



KUVA 1. Sarakan betoniauto 10A-säiliöllä (Saraka Oy 2014.)

2.1.2 Teleskooppivalurännit

Saraka Oy:n teleskooppivaluränni on nimeltään HR-4. Rännin liikkeet tuotetaan hydraulisyntereiden avulla. Sitä voidaan ohjata radio-ohjaimella tai kaapelitoimisella kauko-ohjaimella. Ränni koostuu neljästä kourusta, jotka liikkuvat teleskoopin tavoin. Kourut on valmistettu teräslevystä, joka on särmätty kourun muotoon. Rännin pituus on suurimmillaan noin yhdeksän metriä. Sen säätövara on portaaton. Rännin käänkökulma on noin 220°. Kuvassa 2 ränni on kuljetusasennossa. Ränniä käytettäessä se ajetaan auton sivulta auton taakse sellaiseen asentoon, että ensimmäisen kourun alkupää on purkusuppilon alapuolella. Betoni puretaan säiliöstä purkusuppilon kautta ränniin. (Seppänen 2014.)



KUVA 2. Saraka HR-4 -teleskooppivaluränni (Saraka Oy 2014.)

2.1.3 Yhdistelmäpumput

Yhdistelmäpumpuissa on betoninkuljetussäiliön lisäksi betonipumppu ja puomi. Betoninpumppaus tapahtuu pääpiirteissään niin, että betoni puretaan säiliöstä auton takaosassa olevaan betonipumppuun, joka pumppaa betonin betoniputkia pitkin. Betoniputket kulkevat puomin tornin, eli jalustan läpi puomiin, jossa betoniputkilinjat kulkevat puomin sivussa sen päähän asti. Puomin päässä on letku, josta betoni tulee ulos. Kuvasta 3 on nähtävissä, kuinka betoniputkilinja kulkee puomin sivulla. Puomi mahdollistaa betonin pumppauksen tietyn etäisyyden päähän sekä pituus- että korkeussuunnassa. Saraka Oy:n pienimmät yhdistelmäpumput Eko ja City mahdollistavat betonin pumppauksen 17 metrin korkeuteen ja suurin voi pumpata betonia 33 metriin. Eko- ja -City pumpuissa käytetään M17 -puomia. Saraka valmistaa itse M17 -puomin, mutta suuremmat puomit (M28 ja M33) tulevat alihankintana Italiasta. (Seppänen 2014.)



KUVA 3. Sarakan yhdistelmäpumppu SMT-33-4Z4 (Saraka Oy 2014.)

3 PUOMIEN SUUNNITTELUSSA HUOMIOITAVIA ASIOITA

Tämän opinnäytetyön tutkimusvaihe alkoi betoninpumppauspuomeja koskevien standardien tutkimisella. Vaiheeseen liittyi myös erilaisten nivelratkaisujen tutkiminen, joka tapahtui tarkastelemalla jo olemassa olevien puomien rakenteita. Pääsin tutkimaan yrityksen tiloissa olevia puomeja, pääasiassa M17 -puomia ja muutamaa Sermacin valmistamaa puomia. Sain haltuuni myös Sermacin puomien varaosakirjoja, joissa on räjäytyskuvat puomeista. Nämä räjäytyskuvat auttoivat ymmärtämään erilaisten nivelratkaisujen toimintaa. Käytössäni oli myös italialaisen Coimen 18 metriä pitkän puomin piirustukset ja osa lujuuslaskelmista. Tutkin myös muiden valmistajien puomeja, mutta niitä pääsin tutkimaan ainoastaan valokuvien kautta.

Tarkoitukseni oli tutkia myös asioita, jotka vaikuttavat puomien suunnitteluun. Puomien suunnittelussa huomioon otettavia asioita ovat muun muassa puomilta vaadittavat ominaisuudet sekä puomeja koskevat säädökset ja standardit. Puomin ominaisuuksia ovat esimerkiksi puomin ulottuvuus, betoniputkilinjojen sijoitus, nivelten aukeamiskulmat sekä elementtien ja nivelten lukumäärä.

3.1 Standardit ja säädökset

Betonipumpun puomia koskee useita standardeja. Nämä standardit ovat pääosin saksalaisia DIN-standardeja. Osa standardeista koskee nostureita, ja myös ne pitää ottaa huomioon. Seuraavissa alaluvuissa esitellään tiivistetysti joitain Sarakan käytössä olevia betonipumpun puomia koskevia standardeja.

3.1.1 SFS-EN 12 001

Englanninkielinen standardi SFS-EN 12 001 sisältää betonin sekä laastin kuljetus-, ruiskutus- ja valulaitteiden turvallisuusvaatimukset. Standardissa on 63 sivua. Se keskittyy betonipumpun ja puomin käyttöturvallisuuden varmistamiseen. Standardissa ei ole paljoakaan puomin suunnittelua koskevia tai hyödyttäviä määräyksiä.

Standardin alkupuolella määritellään betonipumppu ja puomi. Puomi määritellään konekäyttöiseksi pyöriväksi laitteeksi, joka koostuu yhdestä tai useammasta laajentuvasta tai taittuvasta osasta. Puomi ohjaa betoninsyöttöputkea. Määritelmän mukaan puomi voidaan asentaa kuorma-auton alustan, perävaunun tai erikoisajoneuvon päälle. Puomia saa ajaa vain silloin, kun sen alusta on paikallaan, eli esimerkiksi kuorma-auton päälle asennettua puomia ei saa käyttää auton ollessa liikkeessä. Myös laitteen tukijalkojen tulee olla maassa puomia käytettäessä. (SFS-EN 12 001. 2012, 8.)

Standardissa on taulukko huomattavista vaaroista, joiden riski tulee minimoida tai poistaa. Esimerkiksi liikkuvat koneenosat tulee suojata niin, ettei käyttäjä pääse niihin käsiksi koneen käydessä ja loukkaa itseään. Taulukossa on myös juuri puomia koskevia määräyksiä, esimerkiksi suurimmista sallituista liikenopeuksista. Yhtä elementtiä ajettaessa sen lasku- ja nostoliikenopeus ei saa ylittää arvoa 0,75 m/s. Puomin kaikkien elementtien liikkeiden ollessa käytössä samanaikaisesti maksimiliikenopeus on 3 m/s. Puomin vaakasuuntainen maksimiliikenopeus on myös määritelty, eikä se saa ylittää arvoa 1,5 m/s. Vaakasuuntaista liikettä tulee silloin, kun puomia käännetään jalustan akselin ympäri joko oikealle tai vasemmalle. Puomit on yleensä kiinnitetty alapäästään kääntökehään, joka on kiinnitetty apurungossa kiinni olevaan jalustaan. Kääntökehän kääntäminen aiheuttaa puomin pyörivän liikkeen. (SFS-EN 12 001. 2012, 12, 23.)

Standardissa on myös taulukko, jossa kerrotaan, miten turvallisuusvaatimusten toteutuminen pitää todistaa. Niiden toteutuminen voidaan todistaa testeillä ja laskelmilla. Esimerkiksi puomin vakauden todistamiseen tarvitaan laskelmat. Niiden pitää osoittaa, ettei puomi eikä sen alusta (esimerkiksi kuorma-auto) kaadu, kun puomia ajetaan ääriasentoihin. Standardi määrää myös, että puomin sylintereissä tulee olla letkurikkoventtiilit, ettei mahdollinen hydraulikkaletkun katkeaminen tai muu vaurioituminen aiheuttaisi puomin odottamattomia liikkeitä. Puomiin pitää myös merkitä hydraulikkajärjestelmän maksimikäyttöpaine sekä betoniputkien maksimihalkaisijat ja ainevahvuudet. Standardin loppupuolella on tarkat määräykset käyttöohjekirjaan merkittävistä asioista. Siinä pitää esimerkiksi lukea, ettei puomia saa käyttää esineiden nostamiseen. (SFS-EN 12 001. 2012, 13, 24 - 29, 31 - 32.)

3.1.2 DIN 15 018, osa 3

Englannin kielelle käännetty saksalainen standardi DIN 15 018 part 3 käsittelee ajoneuvojen päälle asennettujen nostureiden rakenteita sekä antaa ohjeita siitä millaisia laskelmia rakenteen kuormituksista tulee olla. Standardissa on 12 sivua. Se käsittelee nostureita, mutta sen määräykset koskevat myös betonipumpun puomeja. Siinä kuormat jaetaan kolmeen ryhmään: pääkuormiin, lisäkuormiin ja erikoiskuormiin. Pääkuormiin kuuluvat muun muassa omamassa, nostetut kuormat, hitausvoimat ja keskipakovoimat. Lisäkuormia ovat tuulikuormat ja erikoiskuormiin kuuluu testikuormat. Nämä kuormat määritellään standardin ensimmäisillä sivuilla tarkemmin. Omamassasta kerrotaan esimerkiksi, että puomin painopiste tulee määrittää joko laskemalla tai punnitsemalla $\pm 1,5\%$:n tarkkuudella. Tuulikuormista kerrotaan, että ne pitää ottaa huomioon, jos nosturi altistuu tuulelle ja niiden laskennassa viitataan standardiin DIN 1055 osa 4:ään. Tuulikuorman laskennassa tulee käyttää dynaamisen paineen arvoa $q = 125 \text{ Nm}^2$. Standardi kertoo myös, että jos operaation kannalta on tarpeen alentaa tai suurentaa dynaamista painetta, niin se voidaan tehdä, mutta paineen arvo ei saa olla alle 50 Nm^2 . (DIN 15 018 Part 3. 1984, 1 - 3.)

Standardissa nosturin kuormitustapaukset on jaettu normaaleihin (H ja HZ) sekä erikoiskuormitustapauksiin (HS). Siinä on myös taulukko, jossa on määritetty tiettyjen teräslaatuojen sallitut veto-, puristus- ja leikkausjännitykset sekä normaalilla- että erikoiskuormituksella. Standardi sallii erikoiskuormituksille teräksen lujuudesta riippuen 20–70 MPa korkeammat jännitykset. Siinä on samanlainen taulukko myös hitsaussaumojen sallituille jännityksille tietyillä teräslaaduilla. Siitä löytyy myös varmuuskertoimet eri kuormituslajeille ja -tapauksille. Esimerkiksi tuulikuorman varmuuskerroin on 1,20. Nämä varmuuskertoimet tulee sisällyttää myös betonipumpun puomien laskelmiin. Standardissa todetaan, että laskelmissa pitää todistaa, etteivät jännitykset ylitä sallitun myötörajan arvoja. Myös nosturin vakaus pitää todistaa laskelmilla ja laskuissa pitää käyttää standardin määrittelemiä varmuuskertoimia. Jännitykset eivät saa olla yli 90 prosenttia standardissa DIN 4 114 määrättyistä maksimijännityksistä. (DIN 15 018 Part 3. 1984, 4 - 7.)

3.1.3 DIN 15 019, osa 2

Englannin kielelle käännetty saksalainen standardi DIN 15 019 part 2 käsittelee liikkuvien nostureiden vakautta, koekuormausta sekä laskelmia. Standardissa on 7 sivua. Vakaudella tarkoitetaan tässä tapauksessa sitä, että mitä vakaampi nosturi, sitä suurempaa kallistusmomenttia se kestää kaatumatta, eli nosturin tukimomentin tulee olla suurempi kuin kallistusmomentti. Vakauden todentaminen suoritetaan koekuorman ja laskelmien avulla. Standardissa kerrotaan koekuormalla testaamisesta, että kuormaamattoman puomin tulee olla kantavaan maahan nähden vaakasuorassa $\pm 0,5\%$:n tarkkuudella. Jos suuremmat kaltevuudet ovat sallittuja laitteen käytön aikana, niin sen testaaminen tulee suorittaa suurimmilla sallituilla kaltevuuksilla. Testit tulee suorittaa kevyimmän mahdollisen tuulen aikana, eikä 50 N/m^2 dynaamista painetta saa ylittää. Koekuormitus tulee suorittaa pienellä ja isolla koekuormalla sekä nosturin valmistajan määrittämien suurimpien nostettavien kuormien (P) sekä työsäteen mukaisesti. Työsäde mitataan nosturin pyörivän akselin keskeltä nostettavan kuorman massakeskipisteeseen. Betonipumpun puomeilla ei saa nostaa mitään, joten niihin ei lisätä kuormaa koekuormituksessa. Betonilaitteiden puomien tapauksessa työsäde mitataan puomin pyörivän akselin keskeltä puomin päähän, kohtaan josta betoni tulee ulos. (DIN 15 019 Part 2. 1979, 1 - 2.)

Pienen koekuorman laskemiseen käytetään kaavaa 1. Tällä koekuormalla nosturin tulee suoriutua kaikista sille normaalissa toiminnassa sallituista liikkeistä, kuorman ollessa kaikkein epäsuotuisimmassa kohdassa. Suuren testikuorman laskemiseen käytetään kaavaa 2.

$$1,1 * P$$

P = nostettava massa [kg]

KAAVA 1. Pieni koekuorma

$$1,25 * P + 0,1 * A$$

A = puomin massa [kg]

KAAVA 2. Suuri testikuorma

Tällä koekuormalla testaus tehdään staattisesti ja puomia tulee ajaa pienimmällä mahdollisella nopeudella. Vakaus todennetaan epäsuotuisimmalla kallistusreunalla (tilting edge), eli kallistusreuna pienimmällä pystysuoralla etäisyydellä nosturin massakeskipisteestä. Massakeskipisteen siirtyminen puomin kääntämisen ja työsäteen muuttamisen vuoksi tulee kuitenkin ottaa huomioon. Standardissa olevassa taulukossa 1 on eritelty jokaisen kuormitustapauksen laskelmissa huomioon otettavat seikat, esimerkiksi nostettavat kuormat, tuulen aiheuttama paine ja dynaaminen paine. (DIN 15 019 Part 2. 1979. 2 - 5.)

Standardissa on taulukko, jossa on esitetty kuvin erilaisia nosturin tuenta mahdollisuuksia. Kuviin on merkitty kallistusreunat katkoviivalla. Viivat kulkevat tukien keskipisteiden kautta. (DIN 15 019 Part 2. 1979. 2 - 5.)

3.1.4 DIN 24 117

Saksalainen standardi DIN 24 117 käsittelee betonipumppujen puomien laskelmien ja vakauden periaatteita. Standardi sisältää 13 sivua. Sen alussa käsitellään puomiin vaikuttavia voimia ja kuormia. Kuormat jaetaan pää- ja lisäkuormiin. Pääkuormia ovat omamassa, käyttökuormitus ja massavoimat. Lisäkuormiin kuuluu sivuttaisvoimat ja tuulivoimat. Puomin omamassaan kuuluvat dynaamiset voimat tulee kertoa turvakertoimella 1,2.

Käyttökuormituksella tarkoitetaan puomin betoniputkissa kulkevan betonin aiheuttamaa kuormitusta. Laskelmissa betonin tiheytenä käytetään arvoa $2,40 \text{ kg/dm}^3$. Betoniputkien massa kerrotaan laskuissa turvakertoimella 1,3.

Massavoimat aiheutuvat puomin liikkeistä (kiihdytys ja hidastus). Massavoimia testattaessa puomi ajetaan kaikkein epäedullisimpaan asentoon. 42 metrin pituisilla sekä pidemmällä puomeilla käytetään dynaamisen paineen arvoa $0,125 \text{ kN/m}^2$ ja tuuliluokkaa 7, joka vastaa tuulennopeutta $14,14 \text{ m/s}$. Alle 42 metrin pituisilla puomeilla käytetään dynaamisen paineen arvoa $0,250 \text{ kN/m}^2$ ja tuuliluokkaa 8, joka vastaa tuulennopeutta 20 m/s . (DIN 24 117. 2007, 1 - 6.)

Laskelmavaatimukseen kuuluu, että laskelmien pitää vastata statiikan ja lujuusopin sääntöjä. Laskelmien yhtälöt tulee esittää siten, että laskujen oikeellisuus voidaan tarkastaa. Standardissa on taulukko, jossa on määritelty suurimmat rakenteelle

sallitut jännitykset materiaalin ja kuormitusluokan mukaan. Siitä löytyy myös taulukko suurimmista sallituista reiän seinämärasituksista rakenteelle ja ruuveille. Taulukossa on eritelty liitoslaji ja rakenteen materiaali. Pulttien rasitus on määritelty lujuusluokan 10.9:n mukaan. Standardissa on taulukko myös hitsaussaumojen suurimmille sallituille jännityksille. Siinä on määritelty hitsin muoto (esimerkiksi pienahitsi), rasituslaatu (esimerkiksi veto), teräslaatu ja kuormitusluokka. Taulukoissa on käytetty DIN-teräslaatuja S460N ja 690QL1, mutta standardi sallii myös muiden teräslaatuojen käyttämisen. Puomin käyttölujuus pitää todistaa standardin DIN 15 018 osa 1: n mukaan. Puomin vakaudesta tulee olla selvitys, joka todistaa sen turvallisuuden nurjahdusta, kallistusta ja lommahdusta vastaan kuormitustapauksessa HZ. Siinä puomiin vaikuttavat pää- ja lisäkuormat on laskettu yhteen. Tankojen nurjahduksessa käytetään osavarmuuslukua $\gamma_r=1,35$ ja levyjen pullistumalle $\gamma_r=1,2$. (DIN 24 117. 2007, 6 - 9.)

Puomilla varustettujen betonipumppuautojen vakausturvallisuus on osoitettava laskuilla ja testeillä. Testikuorman jakautumisesta kerrotaan, että jos puomissa on useita avautuvia tai laajenevia elementtejä, niin testikuorma jaetaan yksittäisille elementeille vastaamaan valmistajan määrittämiä kuormaosuuksia.

Koekuormitusta suoritettaessa puomin tulee olla avattuna ääriasentoon ja puomia tulee ajaa koko kääntöalueen läpi. Koekuormitus on tehtävä vaakasuorassa tasaisella maalla sekä maksimipainoilla. Kokeen aikana laite ei saa kaatua ja sen pitää olla vähintään kolmesta tukipisteestään kiinni maassa. Puomia pidetään vakaana, jos kaikkien momenttien summa on suurempi kuin kallistusmomentti, eli tukimomentin tulee olla suurempi kuin kallistusmomentti. Puomin omamassa ja käyttökuorma tulee kertoa varmuusluvulla 1,1. Standardin loppuun on listattu tärkeitä asioita, jotka pitää mainita käyttöohjekirjassa. (DIN 24 117. 2007, 9 - 11.)

3.1.5 DIN 24 118

Saksalainen standardi DIN 24 118 käsittelee betonipumppauspuomien betoniputkilinjojen mitoitus ja laskelmia. Siinä on 19 sivua. Standardin alussa on määritelty putkien normaalit pituudet ja sisähalkaisijat. Putkissa käytettävien laippojen malleja on kaksi: A- ja B-malli. Putket liitetään toisiinsa laippojen

avulla ja lukitaan laippojen päälle tulevilla lukoilla, jotka puristavat laipat tiiviisti yhteen. A-mallin laippa jakautuu vielä kahteen erilaiseen laippaan, jotka sopivat yhteen keskenään. Ne ovat nimeltään A1 ja A2. A1-laipassa kulkee sen ympyrän muotoista sivua pitkin ura, johon A2-laipan vastaavan kokoinen uloke sopii. Uraan laitetaan tiivisterengas ja laipat lukitaan tämän jälkeen lukolla toisiinsa. B-mallin laippoja ei ole kuin yhtä mallia. Laipan sivu on tasainen ja tiivisterengas laitetaan laippojen ulkoreunan ja lukon väliin. (DIN 24 118. 2007, 3 - 4, 8 - 9.)

Betoniputkissa käytettävät sisähalkaisijat ovat 100 mm, 125 mm, 150 mm ja 180 mm. Muitakin sisähalkaisijoita käytetään, mutta ne ovat harvinaisempia.

Esimerkiksi Sermac käyttää 4Z33 -puomissaan putkia, joiden sisähalkaisija on 112 mm. Myös putkien mutkissa käytettävät kulmat on määritelty, ne ovat 15°, 30°, 45° ja 90°. Standardissa on taulukko, jossa on määritelty mutkien tarkat mitat putken sisähalkaisijan, mutkan säteen sekä kulman mukaan. Standardin lopussa on taulukko ja laskukaavoja putkien seinämävahvuuksien laskemiseksi. Siinä on myös nomogrammi, jossa arvioidaan jäljellä oleva seinämä paksuus tietyissä tilanteissa. (DIN 24 118. 2007, 5 - 7, 11 - 14.)

3.2 M17 -puomin suunnittelussa huomioitavia asioita

M17 -puomi poikkeaa yleisimmistä markkinoilla olevista puomeista siinä, että betoniputkilinja vaihtaa puomin puolelta toiselle aina jokaisen elementin jälkeen. Tämä tarkoittaa sitä, että puomin elementtien väliset akselit ovat akseliholkkeja, eli niiden keskellä on reikä, josta putki mahtuu menemään läpi. Muista tunnetuista valmistajista ainoastaan Schwing Stetterillä on mallistossaan lähes vastaavalla tavalla rakennettu puomi. Suurimmassa osassa markkinoilla olevista puomeista ensimmäisessä nivelessä käytetään akseliholkkeja, mutta sen jälkeen käytetään akselitappeja, joten betoniputket kulkevat koko puomin matkan ajan samalla puolella. Puomista saadaan kapeampi, kun betoniputkilinja vaihtaa puolta joka elementin jälkeen.



KUVA 4. Sermac 4Z-28 –puomi

Akseliholkein toteutettu puomi vaatii monimutkaisemmat nivelet, kuin normaaleilla akseleilla varustetut puomit. Tämä johtuu siitä, että nivelen pitää kiertää akseliholkki kauempaa, kuin normaalein akselein varustetuissa puomeissa. Akseliholkkien käyttö sulkee pois myös yleisesti käytetyn tavan jakaa akseli kahteen osaan, niin että akselilinjan keskelle jää tyhjää tilaa nivelen liikkeitä varten. Tämä tarkoittaa sitä, että elementtejä liikutettaessa nivelet kulkevat akselilinjojen läpi kahden akselin välistä, osumatta kuitenkaan akseleihin. Esimerkiksi italialainen Sermac käyttää puomiensa nivelissä tällaista ratkaisua. Tämä tapa on nähtävissä kuvassa 4. Siinä näkyy puomin toinen ja neljäs nivel, joissa akselit on jaettu kahteen osaan. Kuviossa näkyy myös hieman elementtien välissä olevien nivelten rakennetta.

Kuvassa 5 on esitetty Sarakan M17 -puomin toisen nivelen, eli ensimmäisen ja toisen elementin välisen nivelen rakenne. Kuvassa näkyy akseliholkki, jonka läpi neljän tuuman betoniputki kulkee. Kuvasta näkyy myös, että kuinka elementtien välinen nivel kiertää akseliholkin.



KUVA 5. Saraka M17 puomin 2.nivel

3.3 Muiden valmistajien ratkaisuja

3.3.1 SCHWING Stetter

Saksalaisella SCHWING Stetterillä on mallistossaan rakenteeltaan lähes Sarakan M17 -puomia vastaava puomi, jota käytetään yhdistelmäpumpussa FBP 21 (kuva 6). Puomi on pienin valmistajan FBP-mallisarjan puomeista, muut mallit ovat: FBP 24 ja 26. FBP-mallisarjan puomit koostuvat M17 -puomin tapaan kolmesta elementistä ja niissä käytetään elementtien välillä akseliholkkeja. FBP -puomien suurin rakenteellinen ero M17 -puomiin nähden on sen toinen nivel. Nivel on toteutettu niin, että se sijaitsee puomin elementtien välissä, kun M17- puomissa nivel sijaitsee elementtien ulkopuolella (kuva 5). Schwingin toteutus mahdollistaa sylinterin sijoittamisen 1. elementin alapintaan ja puomin ollessa kuljetusasennossa sylinteri on kiinni. M17 -puomissa sylinteri on 2. elementin yläpinnassa (puomi ajettuna suoraksi) ja sylinteri on auki puomin ollessa kuljetusasennossa. Schwingin kolmannen nivelen toteutus on samanlainen kuin M17 -puomissa. (SCHWING-Stetter GMBH 2014b.)



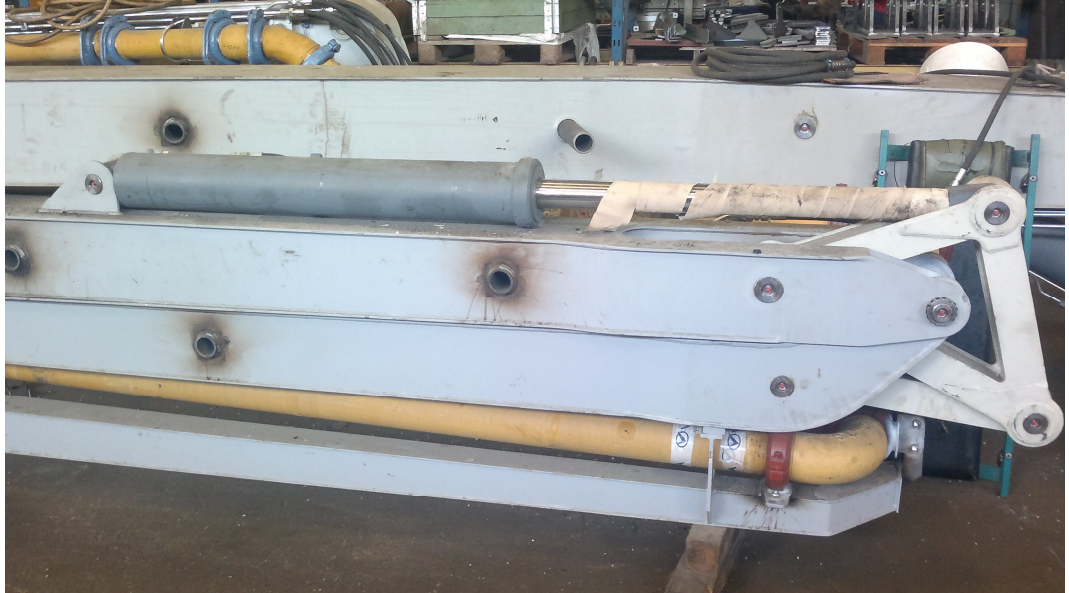
KUVA 6. Schwing Stetter FBP 21 (SCHWING-Stetter GMBH 2014d.)

Tällä valmistajalla ei ole muita yhdistelmäpumpumallisarjoja, vaan muut puomit kuuluvat autobetonipumppujärjestelmiin, niissä kuorma-auton päällä ei ole muuta kuin puomi ja pumppu, eli autobetonipumpuilla ei pysty kuljettamaan betonia. Schwingin autobetonipumppumalliston pienimmän mallin ulottuvuus on 20 metriä ja suurimman 61 metriä. Schwingin mallistossa on myös yksi teleskoopilla varustettu malli S31XT. Kyseinen malli on ainutlaatuinen tällä alalla, eikä kukaan muu valmistaja tietävästi käytä teleskooppirakennetta puomeissaan. Siinä on puomin ensimmäisessä elementissä teleskooppi, joka toteuttaa maksimissaan 4 650 mm:n liikkeen. Teleskoopin kohdalla olevat betoniputket ovat normaaleja teräksisiä putkia ja ne seuraavat teleskoopin liikkeitä. Tämä on mahdollistettu putkikulmien avulla toteutetulla mekanismilla. (SCHWING-Stetter GMBH 2014a, c.)

3.3.2 SERMAC S.r.l

Italialaisella Sermacilla on kolme eri yhdistelmäpumppua: TWINSTAR 3Z24, 4Z28 sekä 4Z33. Kahden jälkimmäisen rakenne on keskenään suurin piirtein samanlainen. Ne koostuvat neljästä elementistä, mutta 3Z24:ssä on kolme elementtiä. Se on lähimpänä Saraka M17 -puomia. Sermacin puomien nivelten rakenteena käytetään edellä mainittua kahteen osaan jaettua niveltä. Sermac käyttää akseliholkkeja vain ensimmäisessä nivelessä. Sarakan tiloissa oli muutama kappale Sermacin 4Z28- ja 4Z33 -puomeja, joten pääsin tutkimaan niitä. 3Z24-

puomin rakenteeseen tutustuin varaosakirjan ja valmistajan internetsivujen valokuvien kautta. Varsinkin varaosakirjan räjäytyskuvat havainnollistivat hyvin nivelten toteutuksen. (SERMAC S.r.l 2014.)



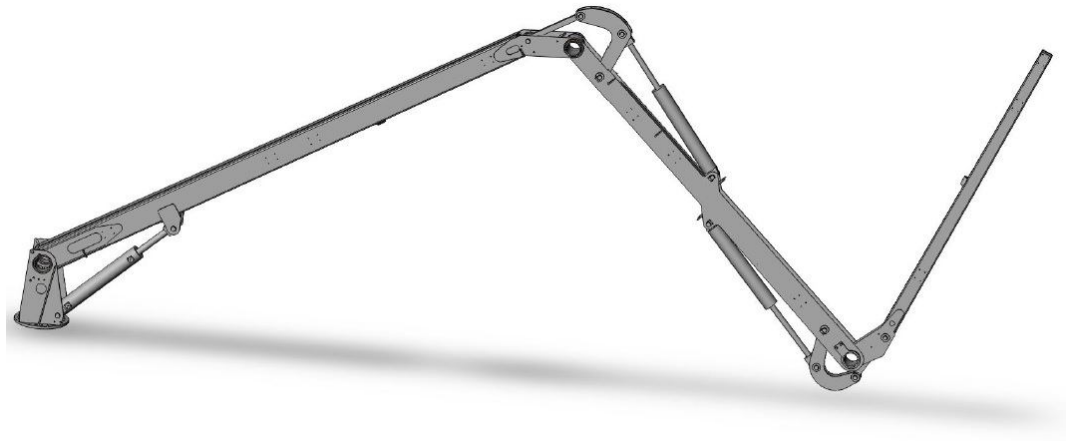
KUVA 7. Sermac 4Z28 -puomin 3. nivel

Huomion arvoisena erona M17 -puomilla ja 3Z24:llä on myös toisen nivelen sylinterin sijoitus: M17 -puomissa sylinteri on toisen elementin yläpinnassa ja 3Z24:ssä sylinteri sijaitsee ensimmäisen elementin alapinnassa (puomin ollessa auki). Kolmannen nivelen rakenne on puomeissa samanlainen, mutta nivel on muuten erilainen, mikä johtuu jo mainituista erilaisista akseliratkaisuista. Tämän vuoksi Sermac käyttää puomeissaan kolmantena nivelenä kolmion muotoista rakennetta, se muistuttaa suorakulmaista kolmiota ja on keskeltä avoin. Kolmion kärjissä on reiät kiinnitysakseleille ja kolmion ”hypotenuusa” kulkee kahteen osaan jaetun akselin välistä, kun elementtiä liikutetaan ääriasentoon. Nivelen rakenne on nähtävissä kuvassa 7. Nivel vaatii toimiakseen myös suoran palkkimaisen osan, joka on toisesta päästään kiinni nivelkolmiossa ja kiinnittyy toisesta päästä kolmanteen elementtiin. Koska M17 -puomissa on akseliholkit, Sermacin käyttämää nivelkolmiota ei voi hyödyntää. M17 -puomissa käytetäänkin bumerangia muistuttavaa niveltä, jonka nurkissa on reiät kiinnitysakseleille. Tämä

nivel on tavallaan kolmio, josta puuttuu hypotenuusa. Tämäkin rakenne vaatii toimiakseen suoran palkkimaisen osan. Rakenne on nähtävissä kuvassa 5.

4 M17 -PUOMIN TUOTEKEHITTÄMINEN

Tutkimusvaiheen jälkeen aloin tuottaa erilaisia kehitysversioita M17 -puomista. Aluksi tein muutaman yksinkertaisen nivelkokeilun tekemällä 3D-malleja erilaisista nivelistä SolidWorksin avulla. Mallien avulla tutkin erilaisten nivelten kinematiikkaa ja liikeratoja. Näiden kokeilujen jälkeen tein kolme versiota parannellusta M17 -puomista, parasta niistä hyödynnettäisiin puomin kehittämisessä. Sain käyttööni M17 -puomin tarkan 3D-mallin, jota käytin pohjana näiden versioiden tekemiselle. Mallista puuttuvat betoniputket, mutta muuten siinä on kaikki teräsrakenteet. Tämä malli on esitetty kuvassa 8. Näissä versioissa parantelun kohteena ovat puomin toinen nivel, sylinterin sijainti sekä puomin 1. ja 2. elementti.



KUVA 8. Alkuperäisen M17 -puomin 3D-malli

4.1 M17 -puomin rakenne

Puomin rakenteen suurimpiin komponentteihin kuuluvat jalusta, kolme elementtiä sekä nivelbumerangit. Puomin rakenne on nähtävissä kuvassa 8. Puomin elementtien liikkeet toteutetaan hydraulisylintereillä. Puomi kiinnitetään pulteilla jalustan pohjalevystä kiinni kääntökehään, joka on kiinnitetty betonikuljetuslaitteen rungossa olevaan torniin. Kääntökehää pyörittää hydraulimoottori, joka mahdollistaa puomin pyörimisen jalustan pysty akselin ympäri. Jalusta on polttoleikatuista teräslevyistä hitsaamalla koottu rakenne.

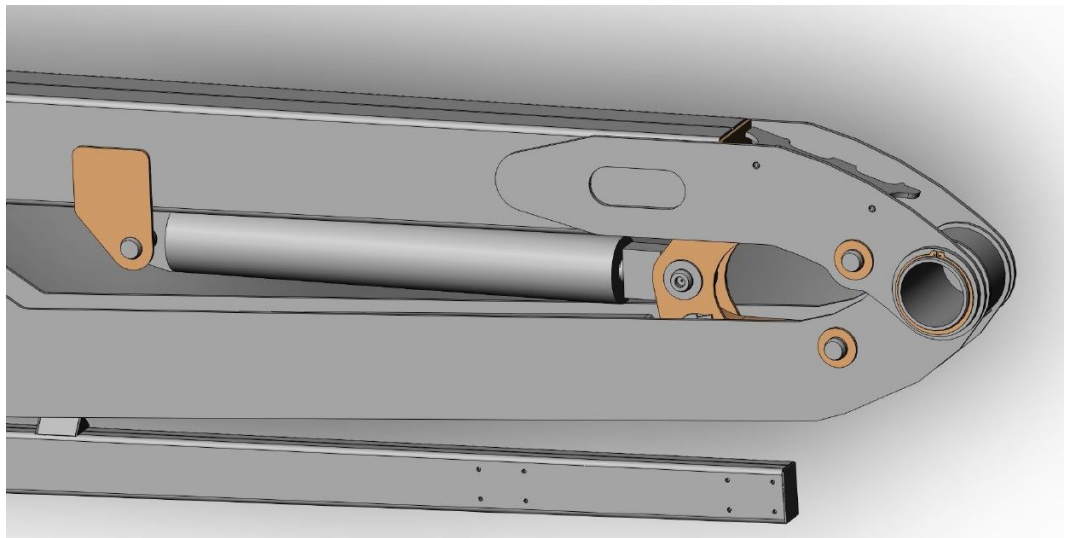
Puomin kolmea teräslevyistä koottua palkkimaista rakennetta kutsutaan elementeiksi. Ne on nimetty juoksevilla numeroinnilla, eli lähinnä jalustaa oleva elementti on nimeltään ensimmäinen elementti ja niin edelleen. Ensimmäisen elementin molemmissa päissä on nivelholkit. Elementti on kiinnitetty sekä jalustaan että toiseen elementtiin akseliholkeilla, jotka kulkevat nivelholkkien läpi ja lukitsevat komponentit toisiinsa. Nivelet sallivat elementtien pystysuoran liikkeen, mutta estävät niiden sivuttaissuuntaisen liikkeen. Ensimmäisen elementin runko koostuu kahdesta U:n muotoon särmätystä teräslevystä, jotka on asetettu palkin muotoon ja kiinnitetty hitsaamalla toisiinsa.

Toinen elementti on rakennettu neljästä noin neljän metrin pituisesta polttoleikatusta teräslevystä, jotka on hitsattu palkkimaiseksi rakenteeksi. Elementin sisälle on hitsattu teräslevyjä elementin tukemiseksi. Myös toisen elementin molemmissa päissä on nivelholkit, joista elementti kiinnitetään ensimmäiseen ja kolmanteen elementtiin. Kolmas elementti on rakennettu samaan tapaan, kuin ensimmäinen elementti. Se koostuu kahdesta U:n muotoon särmätystä levystä, jotka on asetettu palkin muotoon ja kiinnitetty hitsaamalla toisiinsa. Vain elementin toisessa päässä on nivelholkki, josta se kiinnittyy toiseen elementtiin.

Nivelbumerangit, yhdystangot sekä sylinterit mahdollistavat toisen ja kolmannen nivelen liikkeet. Nivelbumerangi kiinnittyy kolmeen eri komponenttiin: sylinteriin, elementtiin ja yhdystankoon. Sekä toisen että kolmannen nivelen bumerangit ovat rakenteeltaan ja muodoiltaan samankaltaiset. Ne ovat nähtävissä kuvassa 8. Bumerangit on rakennettu polttoleikatuista teräslevyistä, jotka on liitetty hitsaamalla yhteen. Yhdystangot yhdistävät nivelbumerangin sekä elementin toisiinsa. Ne ovat paksusta 32 mm:n teräslevystä leikattuja levyjä, joissa on kiinnitysreiät molemmissa päissä. Puomin rakenteeseen kuuluvat myös betoniputkilinjat, jotka koostuvat neljän tuuman teräsputkista. Linjoihin kuuluvat suorien putkien lisäksi myös 90°:n putkikulmat sekä lukot, jotka liittävät kulmat sekä putket yhteen.

4.2 Versio 1

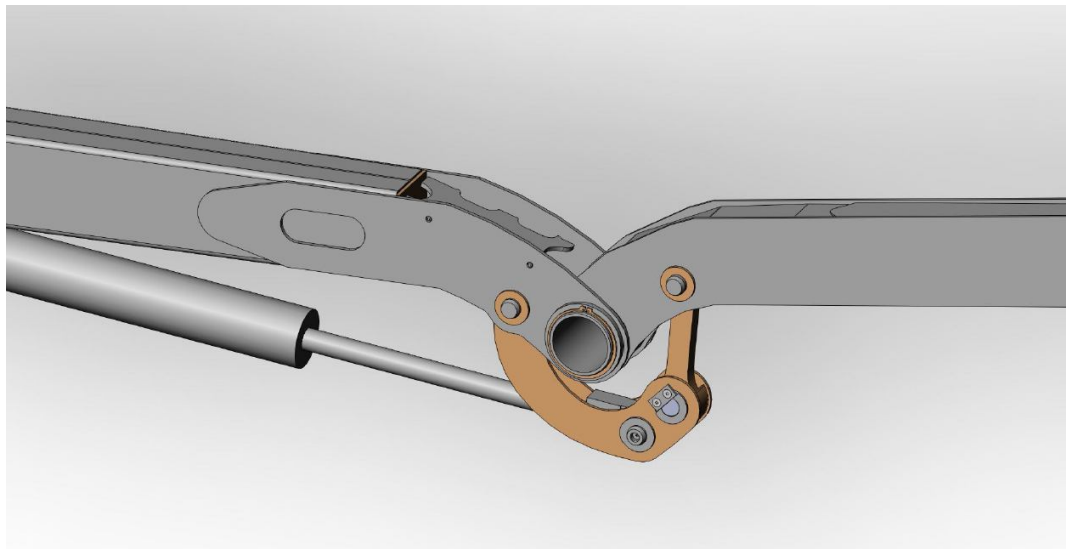
Ensimmäisessä kehitysversiossa puomin toisen nivelen sylinteri on siirretty toisen elementin yläpinnasta ensimmäisen elementin alapintaan. Tarkoituksena on parantaa puomin painopistettä tuomalla sylinteri lähemmäs puomin pyörimispistettä. Tämä pienentää myös kokoon taitetun puomin korkeutta, mikä on hyvä asia. Tarkoituksena oli myös saada puomin toinen nivel elementtien sisäpuolelle. Tässä mallissa nivel on yritetty piilottaa mahdollisimman hyvin ensimmäisen ja toisen elementin sisään, puomin ollessa kokoon taitettuna. Nivelestä näkyikin elementtien välissä vain pieni osa. Tämä on havaittavissa kuvasta 9.



KUVA 9. M17 puomin ensimmäinen kehitysversio kokoon taitettuna

Tässä versiossa ensimmäisen ja toisen elementin toisiinsa kiinnittyvät päät ovat kaarevia, toisin kuin alkuperäisessä mallissa, jossa toinen elementti on suora ja ensimmäisen elementin pää on alaspäin viisto. Nivel koostuu bumerangin muotoisesta hitsatusta levyrakenteesta sekä polttoleikatusta levystä, jotka kiinnitetään akselitapeilla. Rakenne on nähtävissä kuvassa 10. Tämän version vahvuuksia ovat muun muassa kokoon taitetun puomin pienentynyt korkeus, nivelen pieni massa, nivelen mahdollistama suuri aukeamiskulma sekä

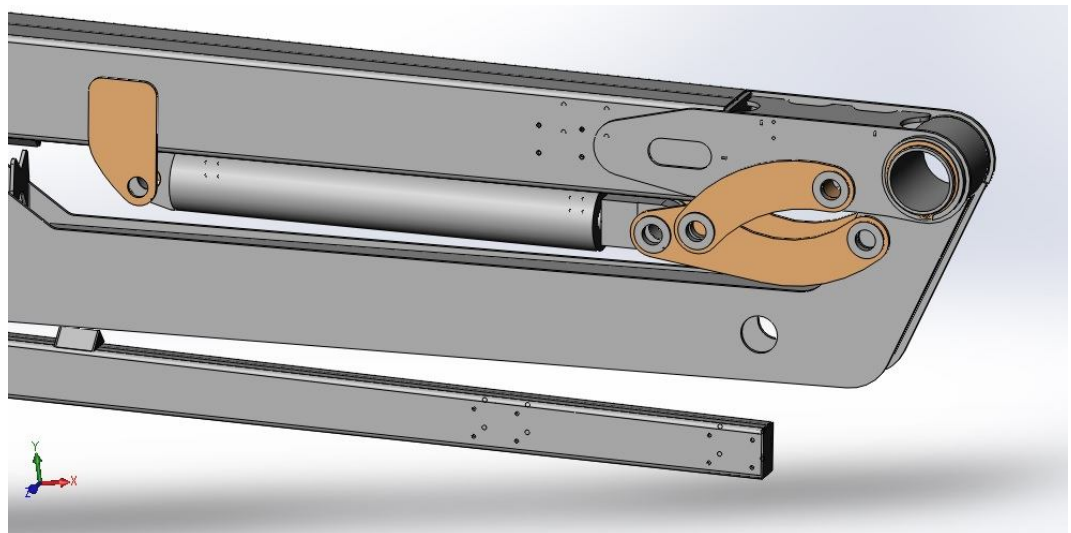
esteettisyys. Esteettisyydellä tarkoitetaan nivelen piilotusta elementtien sisälle puomin ollessa kokoon taitettuna. Sylinterivarasi kulkee nivelen bumerangilevyjen välistä, kun puomi ajetaan suoraksi. Sylinterivarren ja bumerangin levyjen väliin jää tyhjää tilaa vain muutama milli. Myös nivelen ja toisen elementin sivulevyjen väliin jäävä tila on hyvin pieni. Nämä asiat voivat aiheuttaa ongelmia, jos osia ei pystytä valmistamaan ja kokoamaan tarkasti mittojen mukaan valmistusteknisten syiden vuoksi (esimerkiksi hitsauksen aiheuttamat materiaalin vääntymiset). Tilaa on niin vähän, koska elementit ovat niin kapeita, eikä niitä haluttu leventää tähän malliin. Ongelma voidaan poistaa leventämällä elementtejä ja niveltä. Tämän vuoksi nivelen bumerangin ja polttoleikatun nivellevyn yhdistävä akseli on tehty mahdollisimman lyhyeksi ja kiinnitys on tehty eri tavalla kuin muilla puomin akseleilla (kuva 10).



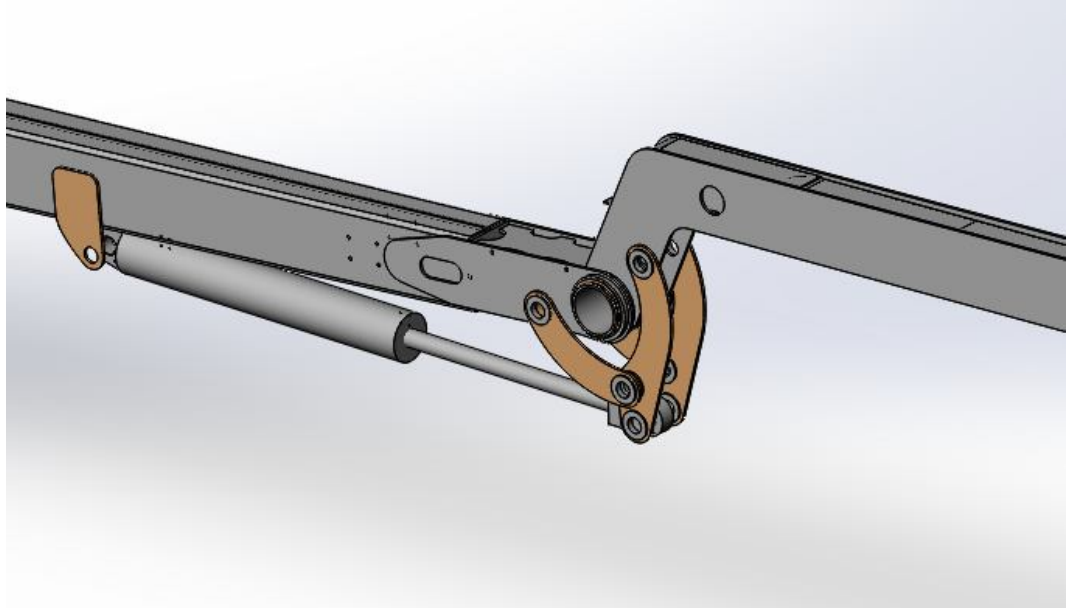
KUVA 10. M17 puomin ensimmäinen kehitysversio puomi suorana

4.3 Versio 2

Tämän version nivelet ovat toimintaperiaatteeltaan samankaltaiset, kuin Schwingin FBP 21 -puomissa. Versiossa nivelrakenne koostuu kahdesta erilaisesta kaarevasta levystä, joita molempia on kaksi kappaletta. Levyt on kiinnitetty puomin elementtien ulkosivuihin. Tässä versiossa nivelellä on huomattavasti enemmän liikkumatilaa, eikä ole vaaraa siitä, että sylinterin varsi osuisi nivelrakenteeseen. Tätä versiota olisi mahdollista kehittää vielä niin, että nivelrakenne sijoitettaisiin puomin elementtien sisäpuolelle, eikä samanlaista tilanpuutetta ilmaantuisi, kuin ensimmäisessä versiossa. Tämä johtuu siitä, että tässä mallissa sylinterivarsi ei kulje missään tilanteessa nivelen sivulevyjen välissä (kuva 12). Tämä ratkaisu mahdollistaisi erilaisten tukirakenteiden lisäämisen nivelen sivulevyjen välille, rakenteen tukevoittamiseksi. Myös tässä versiossa sylinteri on tuotu puomin ensimmäisen elementin alapintaan esteettisyyden ja painopisteen parantamisen vuoksi. Ensimmäisen elementin pää on tässä versiossa suora ja toisen elementin pää muistuttaa L-kirjainta. Rakenne näkyy kuvassa 11. Tässä versiossa aukeamiskulma ei ole yhtä suuri kuin ensimmäisessä versiossa. Tämän version vahvuuksia ovat muun muassa yksinkertainen ja kevyt nivelrakenne, nivelen parempi liikkumatila sekä kokoon taitetun puomin pienentynyt korkeus.



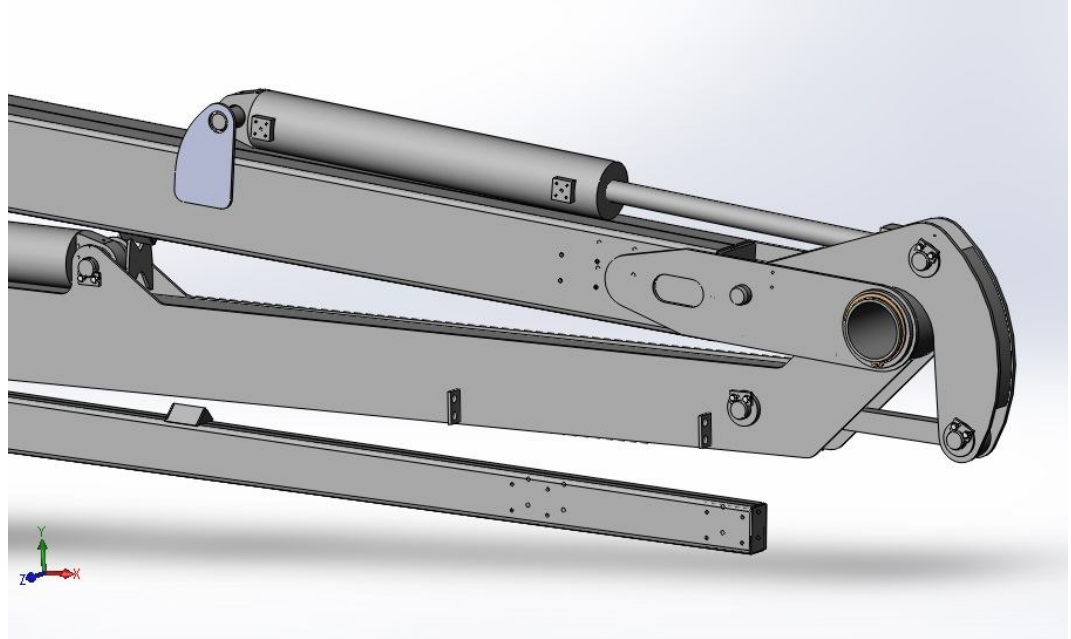
KUVA 11. M17 puomin toinen kehitysversio kokoon taitettuna



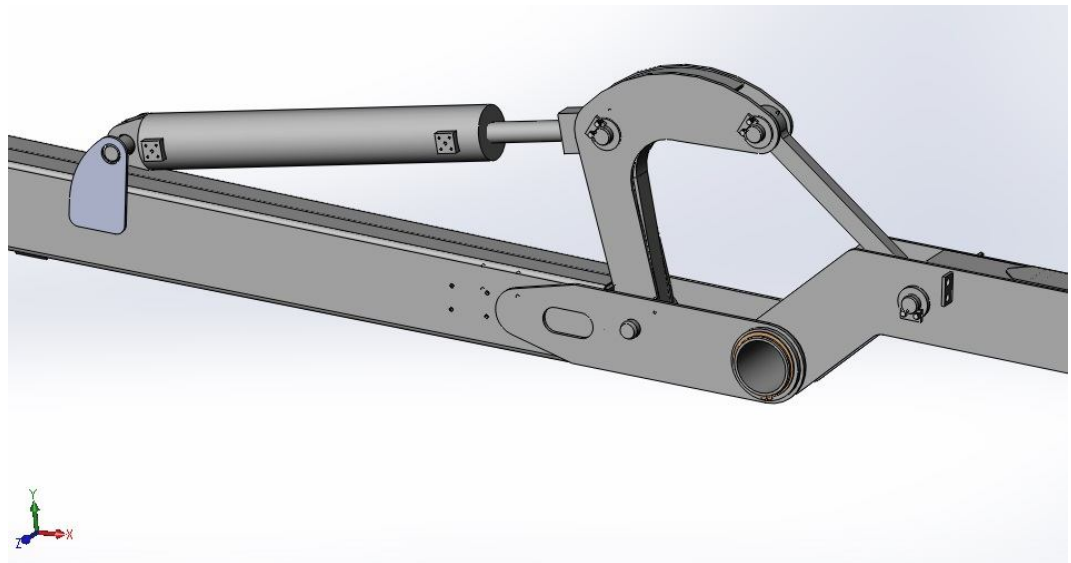
KUVA 12. M17- puomin toinen kehitysversio puomi suorana

4.4 Versio 3

Kolmannessa versiossa tutkitaan mahdollisuutta käyttää alkuperäisen M17 - puomin nivelrakennetta hyväksi. Siinä sylinteri on siirretty ensimmäisen elementin yläpintaan ja ensimmäisen sekä toisen elementin geometria on muutettu päinvastaiseksi. Tämä tarkoittaa sitä, että ensimmäisen elementin pää on suora ja toisen elementin pää on viisto. Nivelrakenne on samanlainen kuin alkuperäisessä mallissa, mutta se on vain käännetty toisinpäin. Rakenne näkyy kuvassa 13. Tämän version vahvuutena on se, että siinä on käytetty mahdollisimman paljon samoja osia kuin alkuperäisessä puomin mallissa. Siinä on kuitenkin saatu parannettua puomin painopistettä sylinterin siirron avulla. Tässä versiossa on myös suuri aukeamiskulma (kuva 14).



KUVA 13. M17 puomin kolmas kehitysversio kokoon taitettuna



KUVA 14. M17 puomin kolmas kehitysversio puomi suorana

4.5 Käytettävän version valitseminen

Edellä esitellyistä versioista valittiin paras jatkokehittelyä varten. Ensimmäinen versio pudotettiin pois jo aikaisessa vaiheessa, koska sen nivelrakenne todettiin muita versioita huonommaksi. Suurin syy tähän on se, että sylinterin varsi kulkee siinä niin läheltä nivelen levyjä, eikä elementtejä haluttu leventää tilan luomiseksi sylinterivarren liikkeille. Tällaisissa rakenteissa olisi kuitenkin todennäköistä, ettei muutaman millin väli sylinterivarren ja nivelen sivulevyjen välillä ole riittävä.

Jäljelle jääneitä versioita vertailtiin tarkemmin ja päävalintakriteereinä käytettiin valmistettavuutta, nivelen liikerataa, niveliin vaikuttavia voimia sekä toisen nivelen sylinteriltä vaadittavaa voimaa. Pieni painoarvo annettiin myös esteettisyydelle. Valmistettavuudessa ja nivelen liikeradassa ei havaittu suuria eroja. Liikerataa tutkittiin 3D-mallin avulla, ja molemmissa versioissa sekä nivel että sylinteri liikkuvat suhteellisen tasaisella vauhdilla sekä sulavasti, eikä minkäänlaisia niin sanottuja kuolleita kohtia ilmaantunut. Kuolleella kohdalla tarkoitetaan tässä yhteydessä tilannetta, jossa puomi liikkuu suurella vauhdilla, vaikka sylinterin mäntä liikkuu erittäin vähän. Nykyisessä M17 -puomissa on 3D-mallia liikuttamalla havaittavissa juuri tällainen kohta. Siinä kohdassa sylinterin mäntä tarvitsee huomattavasti suuremman paineen liikkuaan, kuin liikealueen muissa kohdissa. Esteettisyydessä versio 2 on hieman parempi, koska siinä toinen nivel sekä sylinteri ovat ensimmäisen ja toisen elementin välissä, kun taas kolmannessa versiossa sylinteri on ensimmäisen elementin päällä ja nivel on puomin ulkoreunalla. Kolmas versio on myös kokoon taitettuna ulkomitoiltaan suurempi.

Tein laskelmat niveliin vaikuttavista voimista sekä toisen nivelen sylinteriltä vaadittavasta voimasta. Näissä laskuissa on käytetty 3D-mallien massoja ja painopiste on määritetty molemmissa laskuissa myös 3D-mallin mukaan. 3D-mallien massojen voidaan olettaa pitävän suhteellisen tarkasti paikkansa, koska malleissa käytetyt materiaalit ja niiden tiheydet ovat samat kuin oikeassa puomissa. Näihin massoihin on lisätty betoniputkien ja lukkojen massat (liite 1). Kaikki massat on myös kerrottu standardien määrittämällä turvakertoimilla. Molemmissa laskelmissa kuvataan tilannetta, jossa puomi on suorana, koska tällöin voimat ovat oletettavasti kaikkein suurimmillaan. Molemmissa laskuissa

laskeminen on aloitettu laskemalla momentti ensimmäisen ja toisen elementin välisen akselin mukaan.

Toisen version laskelmien (liite 2) mukaan sylinteriltä vaadittava voima on 408 kN. Nivelen akselitappeihin vaikuttavat voimat ovat 121 kN ja 434 kN.

Kolmannen version laskelmien (liite 3) mukaan sylinteriltä vaadittava voima on 87.4 kN. Nivelen akselitappeihin vaikuttavat voimat ovat 66.2 kN ja 68.9 kN.

Näiden tulosten perusteella toisen version niveleen vaikuttavat voimat sekä sylinteriltä vaadittava voima ovat moninkertaisesti suuremmat kuin kolmannessa versiossa.

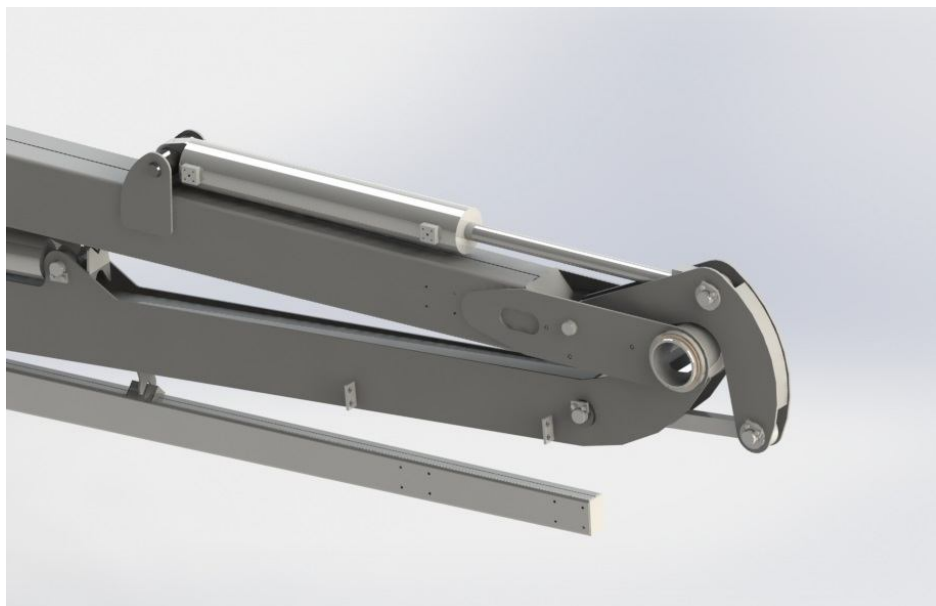
Ratkaisevin ero toisen ja kolmannen version välillä tuli esiin niveliin vaikuttavissa voimissa ja sylinteriltä vaadittavassa voimassa. Muiden valintakriteerien osalta versioiden välillä ei ollut suuria eroja, joten edellä mainitut laskelmat osoittautuivat ratkaisevaksi tekijäksi valinnan tekemisessä. Tämän johdosta kolmas versio valittiin ja M17 puomia alettiin kehittää sen mukaisesti.

5 M17 -PUOMIN TUOTEKEHITYKSEN LOPPUTULOS

Puomin lopullinen malli pohjautuu kolmanteen kehitysversioon (kuva 15). Aloitin mallin tekemisen muotoilemalla kolmannen version toisen elementin päädyn pyöreämmäksi (kuva 16). Viimeistelin mallin käymällä puomin elementit tarkemmin läpi. Lisäsin muun muassa tukilevyjä, akselitappeja sekä muokkasin joitain puomin komponentteja.



KUVA 15. M17 -puomi tuotekehityksen jälkeen



KUVA 16. M17 -puomin toinen nivel

5.1 M17 -puomin materiaalivalintojen tarkastelu

Tämän opinnäytetyön yhtenä tavoitteena on keventää M17 -puomin rakennetta. Puomin massan pieneneminen parantaa muun muassa yhdistelmäpumppuauton hyötykuormaa sekä se vähentää puomiin vaikuttavia momenttivoimia, jotka aiheutuvat puomia liikuttaessa. Materiaalivalintojen päivittäminen on tärkeässä osassa puomin keventämisessä. Puomissa käytettävien teräslaatuojen korvaaminen korkeamman myötölujuuden omaavilla teräksillä mahdollistaa teräslevyn ainevahvuuden pienentämisen. M17 -puomin suurimmissa teräsrakenteissa on käytetty pääasiassa seuraavia teräksiä: Raex 650 (myötölujuus: 650 MPa), Raex 640HSF (myötölujuus: 640 MPa) ja Weldox 700 (myötölujuus: 700 MPa). Saraka Oy käyttää pyörintasäiliöissään Ruukin Optim 900QC -terästä, jonka myötölujuus on 900 MPa. Tämä sama materiaali päätettiin valita myös M17 -puomin teräslevyjen materiaaliksi. Tähän valintaan vaikuttivat teräksen korkea lujuus sekä Sarakan työntekijöiden kokemus kyseisen teräksen käsittelystä ja ominaisuuksista säiliöiden valmistuksessa.

Teräslevyjen ainevahvuuksien pienentämisessä päädyttiin sellaiseen ratkaisuun, että ainevahvuuksia pienennetään samassa suhteessa teräksen lujuuden nousun suhteen. Esimerkiksi toisen elementin sivulevyn materiaali on Raex 640HSF ja ainevahvuus on 8 mm. Tämän materiaalin myötölujuus on 71 % Optim 900-teräksen myötölujuudesta (kaava 3). Jos ainevahvuutta pienennetään kuuteen millimetriin, niin se on 75% alkuperäisestä vahvuudesta (kaava 4).

$$\frac{R_{eraex}}{R_{eoptim}} * 100$$

$$\frac{640 \text{ MPa}}{900 \text{ MPa}} * 100 = 71\%$$

R_{eraex} = Raex 640HSF -teräksen myötölujuus (MPa)

R_{eoptim} = Optim 900 QC -teräksen myötölujuus (MPa)

KAAVA 3. Raex 640HSF -teräksen myötölujuuden suhde Optim 900 QC -teräksen myötölujuuteen

$$\frac{S_{raex}}{S_{optim}} * 100$$

$$\frac{6 \text{ mm}}{8 \text{ mm}} * 100 = 75 \%$$

S_{raex} = Raex 640 HSF -teräslevyn ainevahvuus (mm)

S_{optim} = Optim 900 QC -teräslevyn ainevahvuus (mm)

KAAVA 4. teräslevyjen ainevahvuuksien suhde

Kävin edellä esitettyä menettelytapaa käyttäen läpi kaikki puomin teräslevyt pienimpiä levyjä lukuun ottamatta, ja levyjen ainevahvuutta puomin 3D-mallissa pienennettiin, jos ainevahvuuden pienemisen ja lujuuden nousun suhteen pystyi pitämään suurin piirtein samansuuruisena.

Optim 900QC -terästä on saatavana 2,5-8 mm:n paksuisena, joten kaikkia paksuimpia puomin teräslevyjä ei voi korvata tällä teräksellä. Esimerkiksi puomin jalustan levyjen vahvuudet vaihtelevat 12 ja 23 mm:n välillä, joten näitä levyjä ei voi korvata Optim 900QC -teräksellä. Toisaalta jalustan massan vähentäminen ei olisi vaikuttanut puomin momenttivoimiin, toisin kuin esimerkiksi 2. elementin sivulevyjen painon vähennys pienentää myös puomin momenttivoimia.

M17 -puomin alkuperäisen 3D-mallin mukaan sen massa oli 891,2 kg.

Teräslevyjen materiaalin vaihdon ja ainevahvuuksien päivittämisen jälkeen puomin massa on 814,3 kg, puomin massa aleni siis 76,9 kg, prosentuaalisesti massa väheni noin 9 % alkuperäisestä. Suurin yksittäisen levyn painon säästö saatiin ensimmäisen elementin runkolevyistä, yhden levyn alkuperäinen massa oli 79,9 kg, mutta seinämävahvuuden pienentämisen jälkeen massa on 64,2 kg.

Yhden levyn painonsäästöksi tuli 15,7 kg. Ensimmäisessä elementissä on näitä levyjä 2 kpl, joten elementti keveni toimenpiteen vuoksi 31,4 kg.

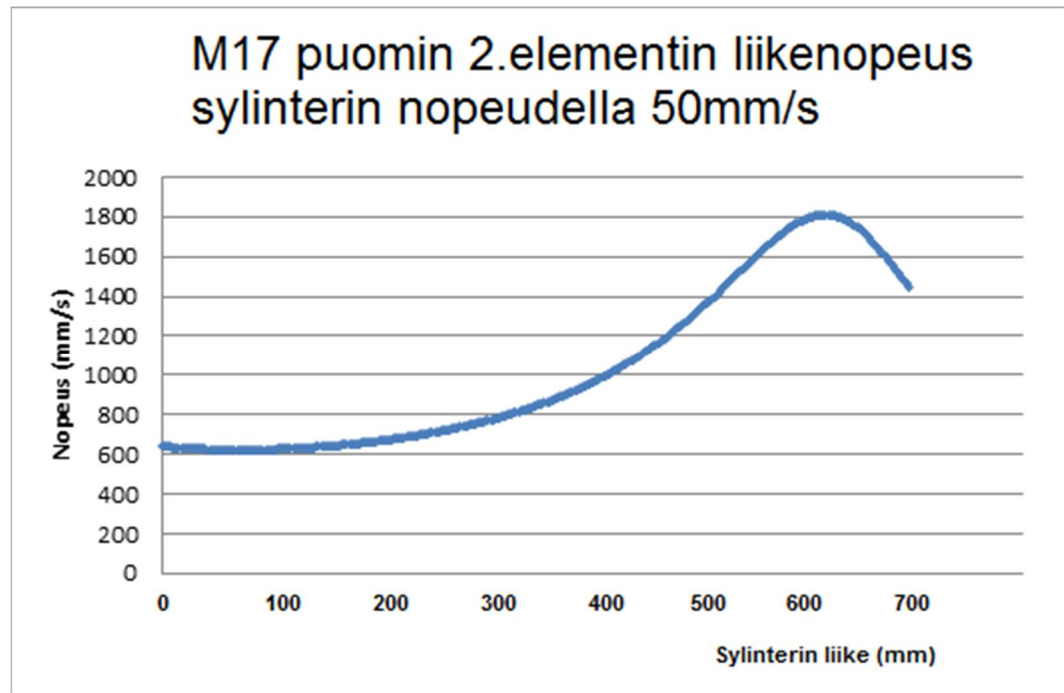
Puomin lujuuslaskelmat piti alkuperäisen suunnitelman mukaan sisällyttää tähän opinnäytetyöhön minun tekemänäni. Opinnäytetyön edetessä toimeksiantaja kuitenkin katsoi paremmaksi, että lujuuslaskelmat teetetään vasta myöhemmin, niiden tekemiseen erikoistuneessa yrityksessä. Niiden tekeminen ja

sisällyttäminen tähän opinnäytetyöhön olisi todennäköisesti tehnyt opinnäytetyöstä liian laajan, joten lujuslaskelmia ei sisällytetä tähän opinnäytetyöhön.

5.2 M17 -puomin toisen elementin liikenopeus

Puomin toisen elementin liikenopeudesta tehtiin kaavio SolidWorksin Motion Analysisin avulla. Motion Analysis -työkalu on tarkoitettu erilaisten koneiden liikkeiden simulointiin ja eri osien ominaisuuksien tutkimiseen sekä mittaamiseen. Sillä voidaan tutkia kokoonpanoja sekä osia erilaisten suureiden muutosten avulla, esimerkiksi voiman, kiihtyvyyden sekä nopeuden muutoksen suhteen. Sen avulla voidaan tuottaa kaavioita ja taulukoita, jotka kertovat näiden suureiden muutoksista, esimerkiksi tietyllä ajanhetkellä tai tietyssä kohdassa. Kaavio puomin liikenopeudesta on esitettyä kuviossa 1. Kaavion luomista varten tein yksinkertaisen 3D-kokoonpanon ensimmäisestä ja toisesta elementeistä ja nivellevyistä, käytin tätä kokoonpanoa liikenopeuden mittaamisessa. Sylinterin liikenopeus tässä simulaatiossa on 50 mm/s. Toisen elementin liikenopeus on mitattu kohdasta, jossa kulkee toisen ja kolmannen elementtien välinen akseli, eli elementin kärki kulkee ympyränkaaren muotoista rataa pitkin ja kaavio kertoo kärjen nopeuden tietyssä kohdassa sylinterin liikematkalla. Liikenopeus on mitattu koko nivelen liikematkalta, eli sylinterin liikkeen kohdassa 0 mm sylinteri on kiinni ja kohdassa 700 mm sylinteri on ääriasennossaan.

Kuviosta 1 nähdään, että elementin liike on suhteellisen tasaista ensimmäiset 200 mm ja tämän jälkeen nopeus alkaa tasaisesti nousta. Simulaation tulokset olivat odotettuja, koska puomin 3D-mallia manuaalisesti liikutettaessa oli havaittavissa nopeuden nousua sylinterin liikealueen loppupuolella. Nopeuden nousu on tyypillistä puomia kokoon ajettaessa myös muilla puomeilla, eikä nopeuden noususta ole haittaa liikealueen loppupuolella. Nopeus on kuitenkin tasaista puomin työskentelyalueella, johon kuuluu sylinterin liikealueen alkuosa.



KUVIO 1. M17 -puomin 2. elementin liikenopeus sylinterin nopeudella 50 mm/s

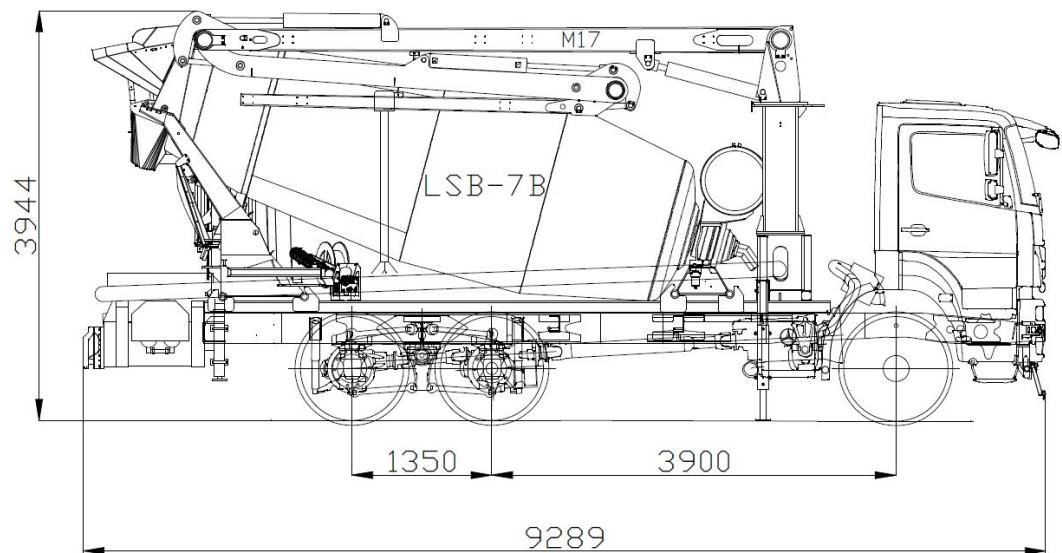
5.3 Puomin vakauden todentaminen

Standardi DIN 24 117 määrittää, että puomin ja siihen liittyvän laitteiston vakausturvallisuus pitää todistaa. Seuraavassa luvussa on esimerkin avulla selvitetty, miten M17 -puomin vakaus todistetaan laskelmalla tietyn kuorma-auton alustan, sekä betoninkuljetuslaitteiston yhteydessä. Standardin mukaan puomia voidaan pitää riittävän vakaana, jos tukimomenttien summa on suurempi kuin kallistusmomentti. Ajoneuvosta, jonka päälle betoninkuljetus- ja pumppauslaite on asennettu, tulee esittää piirros, johon on merkitty kallistusreunat.

Kallistusreunat kulkevat renkaiden keskilinjojen ja tukijalkojen keskikohtien kautta. Puomin aiheuttama kallistusmomentti pitää laskea niin, että puomi on suorana kohtisuorassa epäsuotuisinta, eli lähintä kallistusreunaa kohti. Etäisyys kallistusreunaan lasketaan laitekokonaisuuden painopisteestä. (DIN 24 117, 10.)

5.4 Esimerkki puomin vakauden todentamisesta

Tässä luvussa käsitellään M17 -puomilla varustetun betoninkuljetuslaitteen vakauden todentamista laskuesimerkin avulla. Laskelma on esitetty liitteessä 4 ja kallistusreunapiirros liitteessä 5. Tässä esimerkissä alustana käytetään Mercedes-Benz Axor 2636 -kuorma-autoa. Betoninpumppauslaite on Saraka City, jossa M17 -puomi on keskiasenteinen, eli se on asennettu betoninkuljetussäiliön ja kuorma-auton hytin väliin. Betoninkuljetuslaitteisto on Saraka LSB-7B, eli siinä on 7B-säiliö. Laitteiston kokoonpano on esitetty kuvassa 17.



KUVA 17. Esimerkkilaitteiston kokoonpano

Näissä vakauskalkeissa käytettävä esimerkkilaitteisto pohjautuu oikeasti rakennettuun laitteeseen ja laskuissa esiintyvät arvot ovat tämän laitteen arvoja, esimerkiksi massat ja painopiste. Vakauskalkeat on laskettu standardin DIN 24 117 mukaan (liite 4). Niiden jälkeen piirsin tilanteesta kallistusreunapiirroksen. Siinä on esitetty laitteen kallistusreunat standardin DIN 24 117 mukaisesti. Piirroksessa puomi on ajettu kohtisuoraan epäsuotuisinta kallistusreunaa kohti. Siihen on myös merkitty tärkeimmät mitat, joita käytin laskiessani kallistus- ja tukimomentteja. Piirroksessa on myös esitetty laitteiston kokoonpano ja massat.

Vakauslaskelmat osoittivat (liite 4), että laite on vakaa ja puomia voidaan ajaa koko liikealueella laitteen kaatumatta. Puomin kallistusmomentti on 6 475,4 Nm ja Kallistusta vastustava- eli tukimomentti on 22 875 Nm. Tukimomentti on noin 3,5 kertaa suurempi kuin kallistusmomentti.

6 YHTEENVETO

Opinnäytetyöni tavoitteena oli M17 -puomin tuotekehittäminen. Työn toimeksiantaja toimi Saraka Oy. Toimeksiantaja määrätti pääkohdiksi työssä puomin toisen nivelen uudelleensuunnittelun, sylinterin siirtäminen toisesta elementistä ensimmäiseen elementtiin ja puomin massan sekä valmistuskustannusten pienentämisen. Tarkoituksena oli kokeilla toisistaan poikkeavia ratkaisuja ja valita niistä paras jatkokehittelyä varten.

Työ alkoi betonipumpun puomia koskevia standardeja tutkimalla. Standardit olivat pääosin englanninkielisiä, mutta joukossa oli myös muutama saksankielinen standardi. Standardien läpikäyminen ja sisäistäminen kävi lopulta yllättävän helposti ennako-odotuksiini nähden. Tämän jälkeen aloin tutkia erilaisten puomien rakenteita. Pääpaino oli erityisesti nivelien toteutuksen tutkimisessa.

Käytännön työvaiheen aloitin tekemällä omia kokeiluja erilaisista nivelistä SolidWorksin avulla. Nämä kokeilut opettivat todella paljon erityyppisten nivelten toiminnasta sekä siitä, miten tietyt muutokset nivelen levyjen mitoissa vaikuttivat ominaisuuksiin, esimerkiksi elementtien väliseen aukeamiskulmaan. Näiden kokeilujen jälkeen tein kolme erilaista versiota M17 -puomista, niiden muutokset keskittyivät toiseen niveleen. Kaikissa versioissa toinen sylinteri oli myös siirretty toisesta elementistä ensimmäiseen elementtiin. Näistä versioista valittiin paras Saraka Oy:n edustajien kanssa. Valintakriteereinä olivat muun muassa nivelen akselitappeihin vaikuttavat voimat, toiselta sylinteriltä vaadittava voima, kinemaattiset ominaisuudet ja valmistettavuus.

Parhaan version valinnan jälkeen M17 -puomia alettiin kehittää valitun version pohjalta. Puomin massan pienentäminen hoitui pääasiassa teräslevyjen materiaalin vaihtamisella Ruukin Optim 900QC -teräkseen, sen käyttäminen mahdollisti levyjen ainevahvuuden pienentämisen tietyissä tilanteissa. Puomin toisen elementin liikenopeus määritettiin SolidWorksin Motion Analysis -työkalun avulla. Motion Analysisin käytön kanssa minulla oli aluksi pieniä ongelmia, mutta lopulta opin sen käytön ja sain puomin liikkumaan sen avulla sekä sain ohjelman avulla tehtyä kaavion liikenopeudesta. Työn lopuksi tein esimerkkikokoonpanon laitteesta, jossa käytetään M17 -puomia. Esimerkissä laskin laitteeseen

kohdistuvan kallistusmomentin ja tein kallistusreunapiirroksen laitteistosta.

Alun perin tarkoituksena oli sisällyttää lujuuslaskelmat tähän opinnäytetyöhön minun tekemänäni. Opinnäytetyön edetessä toimeksiantaja kuitenkin katsoi paremmaksi, että lujuuslaskelmat teetetään vasta myöhemmin, niiden tekemiseen erikoistuneessa yrityksessä. Muuten opinnäytetyö saavutti mielestäni asetetut tavoitteet. Työn tekeminen on ollut mielenkiintoista ja erittäin opettavaista. Sain työn tekemiseen riittävästi ohjausta Tapio Seppäseltä Saraka Oy:stä sekä Olli Kaikkoselta, joka toimi ohjaavana opettajana. Toivon, että Saraka Oy pystyy hyödyntämään opinnäytetyöni tuloksia tulevaisuudessa.

LÄHTEET

Painetut lähteet:

DIN 24 118. 2007. Bau- und Baustoffmaschinen- Betonförderleitungen- Maße und Berechnung. Berliini. Deutsches Institut für Normung.

DIN 24 117. 2007. Bau- und Baustoffmaschinen- Verteilermaste für Betonpumpen- Berechnungsgrundsätze und Standsicherheit. Berliini. Deutsches Institut für Normung.

DIN 15 018 Part 3. 1984. Cranes; Principles relating to steel structures. Design of cranes on vehicles. Berliini. Deutsches Institut für Normung.

DIN 15 019 Part 2. 1979. Cranes; Stability for non-rail-mounted mobile cranes. Test loading and calculation. Berliini. Deutsches Institut für Normung.

SFS-EN 12 001. 2012. Conveying, spraying and placing machines for concrete and mortar. Safety requirements. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto.

Elektroniset lähteet:

Saraka Oy. 2014a. Etusivu. Saraka Oy [viitattu: 17.3.2014]. Saatavissa:

<http://www.saraka.com/fi/etusivu.html>

Saraka Oy. 2014b. Tuotteet. Saraka Oy [viitattu 17.3.2014]. Saatavissa:

<http://www.saraka.com/fi/tuotteet/sailiot.html>

SCHWING-Stetter GMBH. 2014a. Autobetonpumpen. SCHWING-Stetter GMBH [viitattu 19.3.2014]. Saatavissa:

<http://www.schwing.de/?product=autobetonpumpen>

SCHWING-Stetter GMBH. 2014b. Fahrmischerbetonpumpen. SCHWING-Stetter GMBH [viitattu 19.3.2014]. Saatavissa:

<http://www.schwing.de/?product=fahrmischerbetonpumpen>

SCHWING-Stetter GMBH. 2014c. S-31XT. SCHWING-Stetter GMBH [viitattu 19.3.2014]. Saatavissa: <http://www.schwing.de/?product=s-31-xt>

SCHWING-Stetter GMBH. 2014d. Truck-mixer concrete pump. SCHWING-Stetter GMBH [viitattu 19.3.2014]. Saatavissa: http://www.schwing.cz/data/52/UserFiles/File/ke_stazeni/prospekty/FBP/FBP_21_24_26_%28en%29kl.pdf

SERMAC S.r.l. 2014. Truck mixer pump Twinstar. SERMAC S.r.l [viitattu 19.3.2014]. Saatavissa: http://www.sermacspa.com/prodotti.php?lingua=eng&id_az_scelto=3

Suulliset lähteet:

Seppänen, T. 2014. Tuotantopäällikkö. Saraka Oy. Haastattelu 3.1.2014

LIITTEET

LIITE 1. Betoniputkien mitat ja massat

LIITE 2. 2. kehitysversion toiseen niveleen vaikuttavat voimat sekä 2. sylinteriltä vaadittava voima

LIITE 3. 3. kehitysversion toiseen niveleen vaikuttavat voimat sekä 2. sylinteriltä vaadittava voima

LIITE 4. Kallistusmomentin ja kallistusta vastustavan momentin laskuesimerkki

LIITE 5. Kallistusreunapiirros

LIITE 1 /1. Betoniputkien mitat ja massat

Betoniputkien mitat ja massat:

betoniputket 4"	10,3 kg/m
lukko 4"	4,2 kg
mutka 4" R152	8,8 kg

<u>2.version toisen ja kolmannen elementin putket:</u>	<u>Massa:</u>
suoraa putkea 7560mm	77,8 kg
6 mutkaa	52,8 kg
7 lukkoa	29,4 kg
yhteensä:	160 kg

Betonin osuus: (tiheys 2 400 kg/m³)

4" putken sisähalkaisija on 100 mm

Suoralla putkiosalla betonia on:

$$\pi r^2 h = \pi * (50 \text{ mm})^2 * 7560 \text{ mm} = 59376101 \text{ mm}^3 \Rightarrow 0,059376 \text{ m}^3$$

$$\text{Betonin massa: } 2400 \text{ kg/m}^3 * 0,059376 \text{ m}^3 = \underline{142,5 \text{ kg}}$$

Mutkissa betonia on:

6*8,1 kg = 48,6 kg (Tulos on saatu tekemällä putken sisäosasta umpinainen SolidWorks-malli ja laittamalla materiaaliksi betoni (tiheys 2 400 kg/m³).

Betoniputkien ja betonin yhteismassa:

Betonin massa tulee standardin DIN 24 117 mukaisesti kertoa turvakertoimella 1,3
(142,5 kg + 48,5 kg) * 1,3 = 248,3 kg

Samoin standardin mukaisesti betoniputkien massa tulee kertoa turvakertoimella 1,2
160 kg * 1,2 = 192 kg

Betoniputkien ja betonin yhteismassa versiossa 2 on 248,3 kg + 192 kg = 440,3 kg

<u>3.version toisen ja kolmannen elementin putket:</u>	<u>Massa:</u>
suoraa putkea 7545 mm	77,7 kg
6 mutkaa	52,8 kg
7 lukkoa	29,4 kg
yhteensä:	159,9 kg

Betonin osuus: (tiheys 2 400 kg/m³)

4" putken sisähalkaisija on 100 mm

Suoralla putkiosalla betonia on:

$$\pi r^2 h = \pi * (50 \text{ mm})^2 * 7545 \text{ mm} = 59258291 \text{ mm}^3 \Rightarrow 0,059258 \text{ m}^3$$

$$\text{Betonin massa: } 2400 \text{ kg/m}^3 * 0,059258 \text{ m}^3 = \underline{142,2 \text{ kg}}$$

LIITE 1/2.

Mutkissa betonia on:

$6 \cdot 8,1 \text{ kg} = 48,6 \text{ kg}$ (Tulos on saatu tekemällä putken sisäosasta umpinainen SolidWorks-malli ja laittamalla mallin materiaali betoniksi (tiheys $2\,400 \text{ kg/m}^3$).

Betoniputkien ja betonin yhteismassa:

Betonin massa tulee standardin DIN 24 117 mukaisesti kertoa turvakertoimella 1,3
 $(142,2 \text{ kg} + 48,5 \text{ kg}) \cdot 1,3 = 247,9 \text{ kg}$

Saman standardin mukaisesti betoniputkien massa tulee kertoa turvakertoimella 1,2
 $159,9 \text{ kg} \cdot 1,2 = 192 \text{ kg}$

Betoniputkien ja betonin yhteismassa versiossa 3 on $247,9 \text{ kg} + 192 \text{ kg} = \underline{439,9 \text{ kg}}$

Puomin lopullisen kehitysversion betoniputkien ja betonin massa:

Puomin putket:

suoraa putkea 12 720 mm

8 mutkaa

11 lukkoa

yhteensä:

Massa:

131 kg

70,4 kg

46,2 kg

247,6 kg

Betonin osuus: (tiheys $2\,400 \text{ kg/m}^3$)

4" putken sisähalkaisija on 100 mm

Suoralla putkiosalla betonia on:

$$\pi r^2 h = \pi \cdot (50 \text{ mm})^2 \cdot 12\,720 \text{ mm} = 99\,902\,646 \text{ mm}^3 \Rightarrow 0,099902646 \text{ m}^3$$

$$\text{Betonin massa: } 2\,400 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,099902646 \text{ m}^3 = 239,8 \text{ kg}$$

Mutkissa betonia on:

$8 \cdot 8,1 \text{ kg} = 64,8 \text{ kg}$ (Tulos on saatu tekemällä putken sisäosasta umpinainen SolidWorks-malli ja laittamalla mallin materiaali betoniksi (tiheys $2\,400 \text{ kg/m}^3$).

Betoniputkien ja betonin yhteismassa:

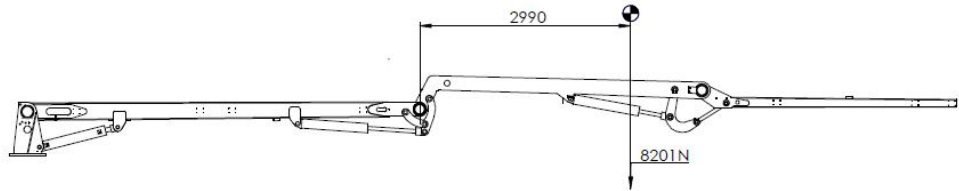
Betonin massa tulee standardin DIN 24 117 mukaisesti kertoa turvakertoimella 1,3
 $(239,8 \text{ kg} + 64,8 \text{ kg}) \cdot 1,3 = 400 \text{ kg}$

Saman standardin mukaisesti betoniputkien massa tulee kertoa turvakertoimella 1,2
 $247,6 \text{ kg} \cdot 1,2 = 297,1 \text{ kg}$

Betoniputkien ja betonin yhteismassa puomin kehitysversiossa on $400 \text{ kg} + 297,1 \text{ kg} = \underline{697,1 \text{ kg}}$

LIITE 2/1. 2. kehitysversion toiseen niveleen vaikuttavat voimat sekä 2. sylinteriltä vaadittava voima

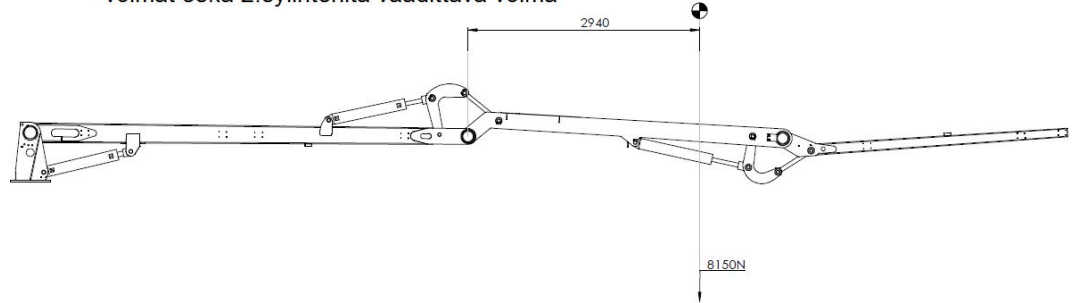
2.kehitysversion toiseen niveleen vaikuttavat voimat sekä 2.sylinteriltä vaadittava voima



Puomin kahden viimeisen elementin, betoniputkien sekä betonin massa kerrottuna turvakertoimilla:
 $440\text{kg} + (330\text{kg} \cdot 1,2) = 836\text{ kg}$
 $836\text{kg} \cdot 9,81\text{m/s}^2 = 8201\text{N}$

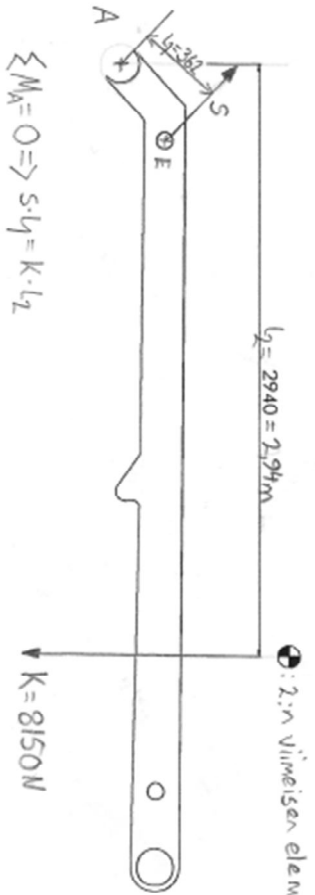
LIITE 3/1. 3. kehitysversion toiseen niveleen vaikuttavat voimat sekä 2. sylinteriltä vaadittava voima

3.kehitysversion toiseen niveleen vaikuttavat voimat sekä 2.sylinteriltä vaadittava voima

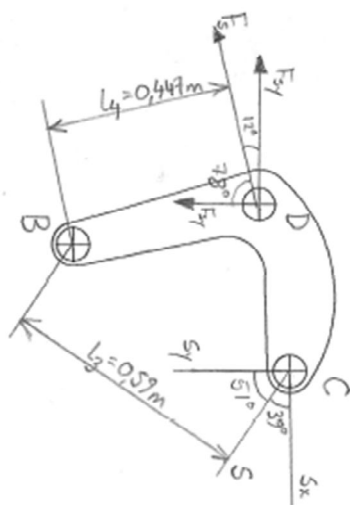


Puomin kahden viimeisen elementin, betoniputkien sekä betonin massa kerrottuna turvakertoimilla:
 $440\text{kg} + (325,7\text{kg} \cdot 1,2) = 831\text{kg}$
 $831\text{kg} \cdot 9,81\text{m/s}^2 = 8150\text{N}$
Painopiste on kahden viimeisen elementin painopiste

2. Niveleen vaikuttavat voimat
puomin ollessa suorana



2:n viimeisen elementin painopiste



$$\sum M_A = 0 \Rightarrow S \cdot l_2 = K \cdot l_2$$

$$\Rightarrow S = \frac{K \cdot l_2}{l_1} = \frac{8150 \text{ N} \cdot 2.94 \text{ m}}{0.362 \text{ m}} = 66190 \text{ N}$$

$$\approx 66,2 \text{ kN}$$

$$S_x = 66,2 \text{ kN} \cdot \cos 39^\circ = 51,4 \text{ kN}$$

$$S_y = 66,2 \text{ kN} \cdot \sin 39^\circ = 41,7 \text{ kN}$$

$$\sum M_B = 0 \Rightarrow S \cdot l_3 = F_s \cdot l_4$$

$$\Rightarrow F_s = \frac{66,2 \text{ kN} \cdot 0,59 \text{ m}}{0,447 \text{ m}} = 87,4 \text{ kN}$$

$$F_{sx} = 87,4 \text{ kN} \cdot \cos 12^\circ = 85,5 \text{ kN}$$

$$F_{sy} = 87,4 \text{ kN} \cdot \sin 12^\circ = 18,2 \text{ kN}$$

$$\sum F_x = 0 \Rightarrow F_{sx} + S_x + B_x = 0$$

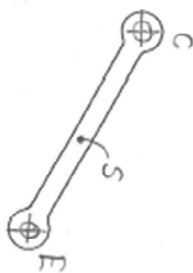
$$\Rightarrow B_x = 85,5 \text{ kN} - 51,4 \text{ kN} = 34,1 \text{ kN}$$

$$\sum F_y = 0 \Rightarrow F_{sy} + S_y - B_y = 0$$

$$\Rightarrow B_y = 18,2 \text{ kN} + 41,7 \text{ kN} = 59,9 \text{ kN}$$

$$B = \sqrt{B_x^2 + B_y^2} = \sqrt{(34,1^2 + 59,9^2)}$$

$$B = 68,9 \text{ kN}$$



LIITE 4. Kallistusmomentin ja kallistusta vastustavan momentin laskuesimerkki

Kallistusmomentin ja kallistusta vastustavan momentin

laskuesimerkki:

Laskuesimerkin tilanteesta on piirros liitteessä 5.

Laitekokonaisuus:

Saraka LSB-7B -betoninkuljetusjärjestelmä ja Saraka City M17 -betoninpumppausjärjestelmä.

Laitteet on asennettu Mercedes-Benz Axor 2636 6x4 kuorma-auton alustalle.

Laitekokonaisuuden massa 15 700 kg (Etu-akseli 4 900 kg ja taka-akseli 10 800 kg)

Suoraksi ajetun M17 -puomin painopiste sijaitsee 4 400 mm:n etäisyydellä pohjalevyn keskipisteestä (liite 5).

Puomin massa (teräsrakenteet, ilman betoninsyöttöputkia) 818,5 kg

Massa kerrotaan standardin DIN 24 117 määrittämällä turvakertoimella 1,2.

$$\Rightarrow 818,5 \text{ kg} \times 1,2 = 982,2 \text{ kg}$$

Betoniputkien ja niissä olevan betonin yhteismassa (laskut liitteessä 1.): 697,1 kg

Puomin kokonaismassa m_1 : $982,2 \text{ kg} + 697,1 \text{ kg} = 1 679,3 \text{ kg}$

Puomin painopisteen etäisyys laitteen tukipisteiden epäsuotuisimpaan kallistusreunaan:

$$l_1 = 4 400 \text{ mm} - 544 \text{ mm} = 3 856 \text{ mm}$$

$$\text{Kallistusmomentti } M_1 = m_1 \times l_1 \Rightarrow 1 679,3 \text{ kg} \times 3 856 \text{ mm} = 6 475 380,8 \text{ Nmm}$$

6 475,4 Nm

Laitteen kallistumista vastustava momentti:

Laitekokonaisuuden massa (m_2) x laitekokonaisuuden painopisteen etäisyys (l_2) epäsuotuisimmasta kallistusreunasta:

$$\text{Kallistumista vastustava momentti } M_2 = m_2 \times l_2 \Rightarrow 15 700 \text{ kg} \times 1 457 \text{ mm} =$$

22 874 900 Nmm
22 875 Nm

Kallistusta vastustava momentti (M_2) on noin 3,5 kertaa suurempi, kuin kallistusmomentti (M_1), joten laitekokonaisuus ei kaadu ajettaessa puomia epäsuotuisimpaan asentoon. Eli laite on vakaa ja puomia voi ajaa koko liikealueella.

LIITE 5. Kallistusreunapiirros

