

Jani Hosio

**NIVELAURAN TERÄN JOUSITUKSEN UUELLEEN
SUUNNITTELU**

**Opinnäytetyö
KESKI-POHJANMAAN AMMATTIKORKEAKOULU
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Syyskuu 2009**

TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ

Yksikkö Ylivieskan yksikkö	Aika 25.9.2009	Tekijä/tekijät Jani Hosio
Koulutusohjelma Kone- ja tuotantotekniikka		
Työn nimi Nivelauran terän jousituksen uudelleen suunnittelu		
Työn ohjaaja Tapio Malinen	Sivumäärä 32+11	
Työelämäohjaaja Janne Pisilä		
<p>Työn tavoitteena oli suunnitella uudelleen nivelauran terän jousitus. Kierrejousitus tuli korvata polyuretaanivaimennuksella. Vaimennuksesta ja sen kiinnityksestä tuli tehdä 3D-malli ja työpiirustukset. Terän vaimennus täytyi suunnitella siten, että se on yksinkertainen, halpa ja helposti vaihdettavissa.</p> <p>Aluksi selvitettiin ja laskettiin tarvittavat kierrejousen voimat. Tämän jälkeen olemassa olevien auramallien pohjalta aloitettiin polyuretaanivaimentimen suunnittelu yrityksen vaatimusten ja toiveiden mukaisesti.</p> <p>Työn tuloksena syntyivät vaimentimen ja sen kiinnityksen 3D-malli ja työpiirustukset. Työssä selvitettiin myös, mikä materiaali sopii parhaiten vaimentimeen.</p>		

Asiasanat

Jousi, vaimennus, tuotesuunnittelu

ABSTRACT

Unit Central Ostrobothnia University of Applied Sciences	Date 25.9.2009	Author Jani Hosio
Degree program Mechanical and Production Engineering		
Name of thesis Redesigning suspension to the blade of an articulated plough		
Instructor Tapio Malinen	Pages 32+11	
Supervisor Janne Pisilä		
<p>The goal of this thesis was to redesign suspension to a blade of an articulated plough. Coil spring had to be replaced with polyurethane damping. A 3D solid model and working drawings on the damping and its attachment had to be made. The damping of the blades had to be designed so that it is simple, cheap and easily replaceable.</p> <p>At first, necessary calculations were made to find out the strength and, for example, the spring constant of the coil spring. After that, based on existing plough models and the demands and hopes of the company, designing of a polyurethane damper was started.</p> <p>As a result of the work, a 3D model and working drawings on new dampers and attachments were made. It was also examined which material is the best for the damper.</p>		

Key words

Spring, damping, product design

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1 JOHDANTO	1
2 TYÖN LÄHTÖTILANNE	2
2.1 Lähtötilanne.....	2
2.2 Jouset.....	2
2.3 Polyuretaani	4
3 SYSTEMAATTINEN SUUNNITTELU	8
3.1 Lähtökohta.....	8
3.2 Tehtävän määrittely	8
3.3 Jousituksen vaatimuslista.....	8
3.4 Kokonaistoiminnon jako osatoimintoihin.....	10
3.5 Vaimennuksen morfologinen laatikko.....	10
4 SUUNNITTELUN ETENEMINEN.....	13
4.1 Mallinnus	13
4.2 Ensimmäinen vaimennin	13
4.3 Toinen vaimennin	14
4.3.1 Nivelkorvakon suunnittelu	16
4.3.2 Kiinnityslaippa	17
4.3.3 Terän alaosa.....	18
4.3.4 Sisäpäätty	18
4.4 Lopullinen vaimennin.....	19
4.4.1 Nivelkorvakko	21
4.4.2 Runkolevy ja runkolevy taakse	22
4.4.3 Kolmiotuki ja sisätuki.....	23
4.4.4 Terän alaosa.....	25
4.4.5 Tuki	25
4.5 Voimat	27
4.6 Materiaalit.....	30
5 ARVIOINTI JA POHDINTA	31
LÄHTEET	32
LIITTEET	

1 JOHDANTO

Työn aihe löytyi Vama-Product Oy:ltä Ylivieskan tehtaalta. Yritys on perustettu vuonna 1978 ja alusta saakka heillä tuotanto on keskittynyt maatalouskoneiden ja tienhoitokoneiden valmistukseen. Yrityksen toimipisteet löytyvät Ylivieskasta, jonne keskittyvät hitsaus, maalaus ja kokoonpano, ja Kalajoelta, jossa valmistetaan tarvittavat osat. Omia tuotteita yrityksellä ovat VAMA-takalanat, alueaurat, aurausviittojen pystytys- ja keräyskoneet sekä trukkipiikit ja etukuormainkauhat. Tämä opinnäytetyö liittyy nivelaurojen kehittämiseen. Työ rajattiin koskemaan nivelaوران terän jousituksen uudelleen suunnittelua.

Nivelaوران terän kierrejousitus tuli korvata polyuretaanivaimennuksella. Vaimennuksesta ja sen kiinnityksestä tuli tehdä 3D-malli ja työpiirustukset. Terän vaimennus pyrittiin suunnittelemaan siten, että se olisi yksinkertainen, edullinen ja helposti vaihdettavissa.

Yritys halusi jousituksen uudelleen suunnittelun, koska jousituksen osat ovat liian kalliita, jousituksen asennus vie paljon aikaa ja jousitus vie paljon tilaa. Polyuretaanin etuja kierrejouseen verrattuna olisivat edullisemmat kustannukset, se ei johda tärinää auran muihin osiin, olisi hiljaisempi käytössä ja veisi vähemmän tilaa.

Mallinnukseen käytössä oli Autodesk Inventor 3D-suunnittelu-ohjelmisto. Työn tuloksena syntyivät vaimentimen ja sen osien 3D-malli ja työpiirustukset. Valitsin myös parhaan materiaalin vaimentimeen.

Opinnäytetyön rakenteeksi valitsin toiminnallisen mallin. Mallissa tietoperusta voidaan liittää työhön siinä kohdassa, missä sitä sillä hetkellä tarvitaan. Toiminnallisessa työssä rakenteeseen kuuluvat seuraavat asiat: johdanto, katsaus ilmiöön tai ympäristön kuvaus, tuotteen tai toiminnan kuvaus, ja arviointi ja pohdinta.

Tästä opinnäytetyöstä on tehty kaksi versiota. Julkisesta versiosta on poistettu yrityksen haluama kuvamateriaali ja työpiirustukset.

2 TYÖN LÄHTÖTILANNE

2.1 Lähtötilanne

Yritys halusi, että suunnittelisin nivelauran terän jousituksen tilalle polyuretaanivaimentimen vaimentamaan terään kohdistuvia iskuja. Kuviossa 1 on esitetty nivelaura, joita Vama-Product Oy valmistaa lumen auraukseen. Kuviossa 2 on esitetty nivelauran terän jousitus, joka on toteutettu kierrejousella. Suurin osa jouses- ta jää rungon sisään, jonne se on kiinnitetty toisesta päästä. Kierrejousta on asen- nuksen yhteydessä puristettu noin kolmekymmentä milliä ja jousen puristettu pi- tuus on noin 270 mm. Yrityksestä saaman joustokäyrän mukaan jousen 30 mm:n puristukseen vaadittava voima on 1911 N ja jousen suurin sallittu joustomatka on 53,35 mm. Joustokäyrästä sain myös laskettua jousen jousivakioksi 63,7 N/mm. Yritys halusi jousituksen uudelleen suunnittelun, koska jousituksen osat ovat liian kalliita, jousituksen asennus vie paljon aikaa ja jousitus vie paljon tilaa. Polyure- taanin etuja kierrejouseen verrattuna olisivat edullisemmat kustannukset, ei johda tärinää auran muihin osiin, olisi hiljaisempi käytössä ja veisi vähemmän tilaa.



KUVIO 1. Nivelaura



KUVIO 2. Terän jousitus

2.2 Jouset

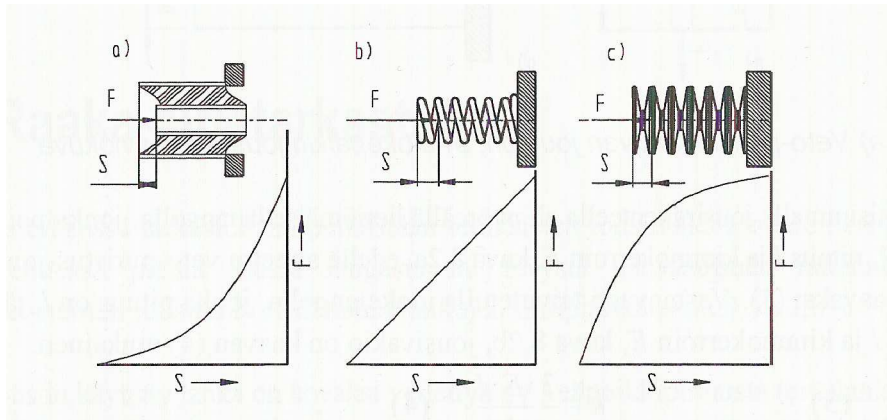
Konerakenteiden suunnittelussa rakenteiden käyttökelpoisuutta määräävä vaati- mus on monesti joustavuus. Joustavuus saattaa esiintyä piilevänä esimerkiksi te-

räsrakenteissa, joissa terästen joustoon pohjautuvat lujuusominaisuudet ovat niiden tärkeä sisäinen piirre. Jotta saadaan hyödynnettyä hauraiden rakenneosien parhaat erikoisominaisuudet, ne kannattaa tukea joustavilla liitososilla, kuten erilaisilla jousilla. Jousia voidaan käyttää toimintaan liittyvien elinten lisäksi energian varaajina, voiman ja momentin mittalaitteina ja värähtelyn aikaansaajina. (Blom, Lahtinen, Nuutio, Pekkola, Pyy, Rautiainen, Sampo, Seppänen & Suosara 2001, 195.)

Kumijousia käytetään eniten vaimentimina, koska kumiin sisäinen kitka vaimentaa värähtelyä hyvin nopeasti. Kumijousen joustokäyrän näkee kuvista 3 a.

Kierrejousen joustokäyrä on aika lailla lineaarinen, jonka vuoksi kierrejousi on suosittu usein sellaisissa paikoissa, joissa voiman ja siirtymän välille halutaan tarkka suhde. Kierrejousen joustokäyrän näkee kuvista 3 b.

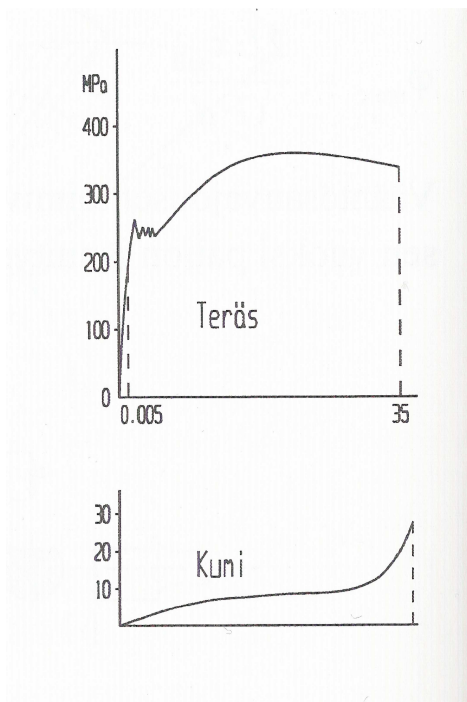
Lautasjousilla joustokäyrä ei ole lineaarinen, vaan niiden toiminta-alue on usein degressiivinen. Lautasjousia käytetään yleisesti silloin, kun voimat ovat suuria mutta siirtymä halutaan pitää pienenä. Lautasjousen joustokäyrän näkee kuvista 3 c. (Blom ym. 2001, 195.)



KUVIO 3. Erilaisten jousien joustokäyriä (Blom ym. 2001, 195.)

Kuviosta 4 voi tarkastella kumiin käyttökelpoisuutta joustotehtävässä jännitysvenympiirroksen avulla. Kuviosta näkee myös kumiin ja teräksen vastaavan kimmoisen muodonmuutosalueen venymän kuvaus ja kuviosta on helppo ymmärtää, miksi kumista rakennetaan erilaisia joustolaitteistoja. Tyypillinen kumiin käyttökohte koneenrakennuksessa on joustavien kytkinpuolikkaiden liitososa, jonka tehtävänä on vaimentaa iskuja. Keinokumi ja luonnonkumi sopivat kumpikin yhtä hyvin jousiraaka-aineeksi. Synteettiset kumit kestävät paremmin lämpöä, öljyä ja bensiiniä.

niä. Kumiä voidaan myös vulkanoida yhteen metallien kanssa luotettavaksi sidokseksi, joka lisää kumin käyttöä entisestään. Vulkanoinnalla kumi ja metalli yhteen voidaan saada esimerkiksi luotettava ruuveilla lukittava kiinnitys. Kumin jousaessa kimmo- ja liukukertoimet eivät pysy vakioina, vaan ne riippuvat jousen mallista ja kumin kovuudesta. Joustimena käytettyjen kumien käytännön kovuusalue on väliltä 40–70 Shore A. Shore A kovuudet vastaavat aika lailla kansainvälisiä IRHD-kovuusluokkia, eli 50 Shore A=IRHD 50. (Blom ym. 2001, 217–218.)



KUVIO 4. Kumin ja teräksen jännitysvenymäpiirroksset (Blom ym. 2001, 218.)

2.3 Polyuretaani

Polyuretaanien valmistaminen polyadditiomenetelmällä keksittiin Otto Bayerin johtamana vuonna 1937. Vuonna 1940 valmistettiin ensimmäiset polyuretaanikumit Saksassa ja myöhemmin onnistuttiin valmistamaan myös vaahtoja, pinnoitteita ja liimoja. (Finn-Valve Oy 2008.)

Polyuretaanit ovat yhteinen nimitys isolle polymeerien joukolle. Polyuretaanit pitävät sisällään hyvin erilaisia ainesosia, jonka vuoksi ne omaavat myös hyvin erilaisia ominaisuuksia. Polyuretaani voi olla muotokappaleina, kalvoina, pinnoitteina

tai kerroksina, tiivistä tai huokoista, pehmeää tai kovaa. Käyttökohteet ovat yleisimmin puolikova integraalisolumuovi auton sisustuksessa, pehmeäsolumuovi huonekaluissa ja patjoissa, rakennuksissa seinä- ja kattoelementtien eristäminen ja tekninen eristäminen. Vuonna 1995 valmistettiin maailmassa muoveja kaikkiaan noin 130 miljoonaa tonnia, josta polyuretaanit olivat noin 5 %. Vuoden 1995 jälkeen polyuretaanien käyttö ja tuotanto on kasvanut voimakkaasti. Vuonna 1997 polyuretaania käytettiin noin 6 100 000 tonnia ja vuonna 2002 käyttö oli lisääntynyt 8 387 000 tonniin. (Finn-Valve Oy 2008.)

Polyuretaanimuovit jaetaan neljään ryhmään, jotka ovat pehmeä PUR-solumuovi, kova PUR-solumuovi, PUR- integraalisolumuovit ja PUR-elastomeerit. Eri polyuretaanityyppien ominaisuudet vaihtelevat suuresti. (Häyhä 1985, 64.)

Polyuretaanielastomeerit ovat ominaisuuksiltaan kimmoisia ja kumimaisia muoveja. Polyuretaanielastomeereillä on hyvä kulutuksenkesto, suuri lujuus, hyvä kaasujen, öljyjen ja aromaattisen hiilivetyjen sietokyky, ja erinomainen hapen ja otsonin sietokyky. Yli 80 °C lämpötila ja kosteus yhdessä voivat lyhentää polyuretaanin käyttöikää huomattavasti. On kuitenkin olemassa polyuretaanilaatuja, jotka kestävät erinomaisesti kosteutta ja korkeaa lämpötilaa. Perinteiseen kumiin verrattuna polyuretaanit ovat ylivoimaisia, kun korkea lämpötila ja kosteus eivät ole ongelma. Lämpötilan laskiessa -20 - -40 °C:een polyuretaanin jäykkyys kasvaa ja kimmoisuus pienenee, mutta ne eivät haurastu matalissakaan lämpötiloissa. Poissonin luku polyuretaanielastomeereillä on 0,5, jonka vuoksi tilavuus säilyy muodonmuutoksessa vakiona. (Finn-Valve Oy 2008; Häyhä 1985, 71.)

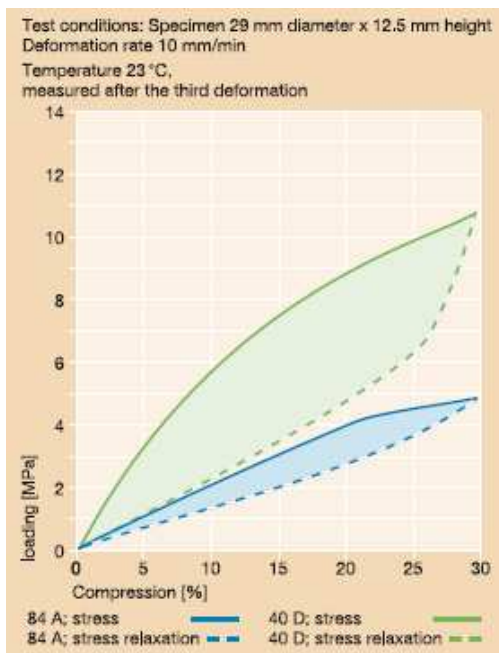
Polyuretaanielastomeerien ominaisuuksia ovat erinomainen öljyjen, voiteluainesten, eläin- ja kasvirasvojen sekä pihkan kestävyys. Eivät hapetu ilmassa eikä otsonilla ole vaikutusta. Erinomainen alifaattisia ja aromaattisia hiilivetyjä vastaan. Sillä on hyvä tai tyydyttävä kestävyys kloorattuja liuottimia vastaan, mutta yleensä eivät kestä eettereitä, estereitä eivätkä ketoneja. On testattava alkoholin ja hapettajien ollessa kyseessä. Heikko kestävyys väkeviä ja kohtalainen laimeita happoja vastaan. Kuumissa ja kosteissa olosuhteissa on kiinnitettävä paljon huomiota polyuretaanin laadun valintaan. (Finn-Valve Oy 2008.)

Jos kemiallista kestävyyttä ei ole materiaalille saatavilla, on suositeltavaa kokeilla tuote käyttöolosuhteissa ennen suurempien sarjojen valmistamista. Tämä siksi, koska kemiallisessa kestävyudessa esiintyy eri raaka-ainepohjaisilla polyuretaaneilla suuriakin eroavaisuuksia. (Finn-Valve Oy 2008.)

Puolivalmistetta pystytään työstämään ja jälkityöstämään stanssaamalla ja suurimmalla osalla lastuavilla työstömenetelmillä. Kuitenkin polyuretaanin suuri lujuus sekä joustavuus vaikeuttavat työstämistä. Kovempaa laatua on aina helpompi työstää kuin pehmeää. Yksi vaihtoehto pehmeän materiaalin työstämiseen on jäädyttämällä materiaalia ennen työstämistä, jolloin materiaali muuttuu jäykemmäksi ja työstäminen helpottuu. Tarvittaessa polyuretaanin pinnat voidaan viimeistellä hiomalla. Polyuretaania valmistetaan reaktiovaluprosessilla, joka on yksinkertainen toimenpide. Reaktiovaluprosessi mahdollistaa lisäksi metalliosien valamisen materiaaliin, kuten esimerkiksi mutterit, kierteet ja laakerit. (Vink Finland Oy 2009.)

Polyuretaanin yleisimmät liitosmenetelmät ovat liimaus, pulttiliitokset ja hitsaus. Liimauksessa tartunta-aineena voi käyttää kontakti- ja kaksikomponenttiliimoja. Ennen liimausta on huolehdittava pintojen huolellinen puhdistus ja liimauksessa liimasaumojen viimeistely. Öljyn ja lian pääsy saumattavalle kohdalle tulee välttää, jotta saadaan kestävä sauma ja paras mahdollinen lopputulos. Polyuretaania on mahdollista puskurihitsata, mutta se on aika työlästä ja hitsaajan täytyy olla ammattitaitoinen. (Vink Finland Oy 2009.)

Kuviosta 5 näkee Vulkollan Shore 84A ja Shore 40D jännityksen aiheuttamat muodonmuutokset prosentteina. Shore 40D vastaa noin Shore 95A kovuutta.



KUVIO 5. Jännityksen aiheuttama muodonmuutos prosentteina (Bayer MaterialScience AG.)

3 SYSTEMAATTINEN SUUNNITTELU

3.1 Lähtökohta

Systemaattisessa suunnittelussa lähtökohtana on saavuttaa taloudellisuus, tehokkuus ja kilpailukykyiset tuotteet. Suunnittelu tarvitsee tehokasta hallintoa ja kykyä seurata valmistusprosessin eri vaiheita. Systemaattinen suunnittelu sisältää runsaasti suunnittelun luonnetta ja menettelytapoja selventävää materiaalia. Systemaattisessa suunnittelussa on neljä perusvaihetta: tuotekehitysprojektin valinta, tehtävän määrittely, kehittäminen ja viimeistely. Jaottelussa on tarkoituksena varmistaa kypsään ratkaisuun pääseminen. (Jokelainen 2008, koneensuunnittelun opetusmateriaalit.)

3.2 Tehtävän määrittely

Sain tehtäväksi suunnitella uudestaan nivelauran terän jousituksen. Terän kierrejousitus tuli korvata polyuretaavaimennuksella. Uretaanivaimennuksen täytyi vastata voimiltaan mahdollisimman hyvin kierrejousitusta. Terän vaimennus piti suunnitella siten, että se on yksinkertainen, halpa ja helposti vaihdettavissa. Vaimennuksesta ja sen kiinnityksestä tuli tehdä 3D-malli ja työpiirustukset.

3.3 Jousituksen vaatimuslista

Aluksi täytin vaatimuslistan vaimennuksesta taulukon 1 mukaisesti. Vaatimuslistaan lisäsin täsmällisen kuvauksen ja erittelyn vaatimuksista ja niiden tärkeydestä. Vaatimuslistan täytin yrityksen toiveiden mukaisesti. Tässä vaiheessa etsin tietoa polyuretaanista ja sen käyttömahdollisuuksista. Sain esimerkiksi selville, että polyuretaania käytetään kohteissa, joissa materiaailta vaaditaan joustavuutta, kulutuskestävyyttä sekä iskunvaimennuskykyä ja että polyuretaanien käytetyimmät liitosmenetelmät ovat liimaus, hitsaus sekä pulttiliitokset. Kävin läpi myös polyuretaanin eri vaimennusvaihtoehtoja millaisia on jo toteutettuna.

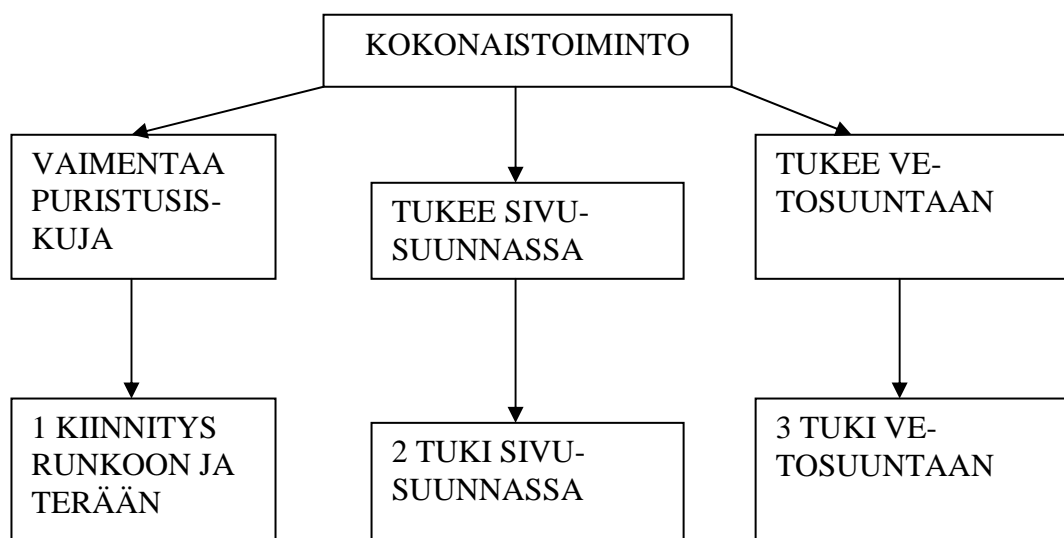
TAULUKKO 1. Jousituksen vaatimuslista

KV VV T	Vaatimus
	1. GEOMETRIA
KV	Uretaanivaimennuksen on mitoiltaan oltava sellainen, että se ei veisi paljon tilaa.
	2. VOIMAT
KV	Uretaanivaimennuksen voimien tulee olla mahdollisimman samat kierrejousituksen kanssa. Jousivakion tulisi olla noin 63,7 N/mm.
	3. AINE
KV	Vaimentimen raaka-aineena on polyuretaani, jonka tulee kestää noin -30 asteen lämpötilaa.
KV	Kiinnityksen raaka-aineena on teräs.
	4. TURVALLISUUS
KV	Vaimennuksen tulee olla turvallinen.
	5. VALMISTUS
T	Yksinkertainen rakenne.
	6. KUNNOSSAPITO
KV	Vaimennin tulee olla helposti vaihdettavissa.
	7. KUSTANNUKSET
VV	Vaimentimen valmistuskustannukset ovat halvemmat, kuin kierrejousella.
	KV=Kiinteä vaatimus VV=Vähimmäisvaatimus T=Toivomus

3.4 Kokonaistoiminnon jako osatoimintoihin

Jaoin kokonaistoiminnon osafunktioiksi, jotka näkyvät taulukossa 2. Terässä tulee olla vaimennin, joka vaimentaa puristusiskuja ja se tulee kiinnittää rungon ja terän välille. Tukea täytyy olla sivusuunnassa, ettei terä pääse taipumaan sivusuunnassa liikaa. Tukea täytyy olla myös vetosuunnassa, ettei terä anna liikaa periksi pakattaessa.

TAULUKKO 2. Kokonaistoiminnon jako osatoimintoihin



3.5 Vaimennuksen morfologinen laatikko

Eri vaihtoehdoista tein morfologisen laatikon havainnollisuuden parantamiseksi. Morfologinen laatikko näkyy taulukossa 3. Morfologiseen laatikkoon lisäsin omasta mielestäni parhaat vaihtoehdot osatoimintoihin. Vaimentimen kiinnitys runkoon voisi tapahtua pultilla ja lukkomutterilla tai hitsaamalla. Tuen sivusuunnassa voisi toteuttaa itse vaimentimella tai saranalla. Tuen vetosuunnassa voisi toteuttaa vaimentimella, vaijerilla tai mekaanisella ratkaisulla.

TAULUKKO 3. Vaimennuksen morfologinen laatikko

Periaate	1	2	3
Osatoiminto			
Kiinnitys runkoon ja terään	Pultti ja lukkomutteri	Hitsaus	
Tuki sivusuuntaan	Polyuretaani	Sarana	
Tuki vetosuuntaan	Polyuretaani	Vaijeri	Mekaaninen ratkaisu

Morfologisesta laatikosta valitsin kolme parasta vaihtoehtoa. Parhaiden vaihtoehtojen valitsemiseen käytin yhtenä apuna aiemmin tekstissä esiintynyttä vaatimuslistaa, jonka näkee taulukosta 1.

V1: Kiinnitys runkoon ja terään pultilla ja lukkomutterilla, tuki sivusuunnassa saranalla ja tuki vetosuuntaan polyuretaanilla.

V2: Kiinnitys runkoon ja terään pultilla ja lukkomutterilla, tuki sivusuunnassa saranalla ja tuki vetosuuntaan mekaanisella ratkaisulla.

V3: Kiinnitys runkoon ja terään pultilla ja lukkomutterilla, tuki sivusuunnassa saranalla ja tuki vetosuuntaan vaijerilla.

Parhaaksi vaihtoehdoksi osoittautui versio1. Versiossa 1 vaimennin on kiinnitetty runkoon ja terään pultilla ja lukkomutterilla. Valitsin pultin ja lukkomutterin siksi, koska vaimennin tulee olla helposti vaihdettavissa ja koska se on edullinen ratkaisu kiinnitykseen. Jos vaimennin olisi kiinnitetty hitsaamalla kiinni, niin se olisi työläs ja hankala vaihtaa uuteen. Hitsaus ei myöskään olisi ollut vaatimusluettelon mukainen. Sivusuunnan tukeen valitsin saranan, koska sarana tukee hyvin sivusuunnassa ja se samalla ohjaa terän jouston tasaisesti vaimentimeen. Tukeen vetosuuntaan valitsin itse polyuretaanin, joka on siihen riittävä polyuretaanin suuren vetolujuuden ja murtolujuuden vuoksi. Versio 2 ja 3 ovat kalliimpia toteuttaa,

kuin versio 1, koska niihin tulisi erillinen osa tukemaan vastakkaiseen suuntaan.
Taulukko 4 selventää parhaan vaihtoehdon valintaa.

TAULUKKO 4. Parhaan vaihtoehdon valinta

Ratkaisu- vaihtoehdot	Tehtävän asetusta vastaava	Toteutus- kelpoisuus hyvä	Täyttää kiinteät vaa- timukset	Kustannukset sallituissa rajoissa	Huomautuk- set, perustelut	Päätökset
V1	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Halvimmat kustannukset	Kehitetään eteenpäin
V2	Kyllä	Kyllä	Kyllä	?	Kustannukset ei halvimmat	Karsitaan
V3	Kyllä	Kyllä	Kyllä	?	Kustannukset ei halvimmat	Karsitaan

4 SUUNNITTELUN ETENEMINEN

4.1 Mallinnus

Suunnittelussa käytin apuna Autodesk Inventor 3D-suunnitteluohjelmaa. Ohjelmaan päädyimme siksi, koska yrityksessä oli käytössä kyseinen ohjelma. Ohjelman sain yrityksestä, joka täytyi asentaa koneelle kolme kertaa ohjelman 30 päivän käyttöoikeuden vuoksi. Itse en aikaisemmin ollut käyttänyt Autodesk Inventor-ohjelmaa, joten aluksi harjoittelin ohjelman eri toimintoja. Pääsin kuitenkin aika nopeasti ohjelmaan sisälle, koska sen käyttö oli hyvin samanlaista, kuin koulussa käyttämäni SolidWorks. Tarvittaessa sain myös apua ohjelman käytöstä Vama Product Oy:ltä ja lainaamastani Autodesk Inventor- kirjasta.

4.2 Ensimmäinen vaimennin

Yrityksestä sain kaikki tarvittavat mallit nivelaurasta, joiden avulla aloin suunnitella auraan sopivaa vaimenninta. Aluksi mittasin ja laskin minkä kokoiseen tilaan vaimennin tulisi asentaa. Tämän jälkeen aloin miettiä vaimennuksen kiinnitystä ja vaimentimen muotoa. Olin yhteydessä useaan polyuretaanin valmistajaan, joilta sain hyvin tietoa polyuretaanista ja sen käytöstä. Etsin polyuretaanista tietoa myös internetistä ja kirjoista (Polyuretaanit ja niiden käyttötekniikka, Polymeeriteknologian perusteet, Muovit ja kumit). Päätin kiinnittää vaimennuksen teräksestä valmistetuilla kiinnityslaipoilla, jotka on kiinnitetty polyuretaaniin liimaamalla. Valitsin liimauksen siksi, koska sillä saadaan riittävä liitoslujuus polyuretaanin ja teräksen välille. Laipan kiinnityksen runkoon ja terään päätin tehdä neljällä pultilla ja lukkomutterilla laippaa kohden, jotta saadaan tarpeeksi tasainen ja tukeva kiinnitys. Karkealla mitoitusperiaatteella sain laskettua pultin kooksi M10 ja lujuusluokaksi 8.8. Kuviossa 6 on esitetty ensimmäinen vaimennin ja kuviossa 7 on auran vasen siipi. Valitsin vaimentimen muodoksi tällaisen, koska pyrin suunnittelemaan mahdollisimman edullista ja samalla toimivaa muotoa. Suorat pinnat kappaleessa ovat edullisemmat valmistaa, kuin kaarevat.



KUVIO 6. Vaimennin



KUVIO 7. Auran vasen siipi

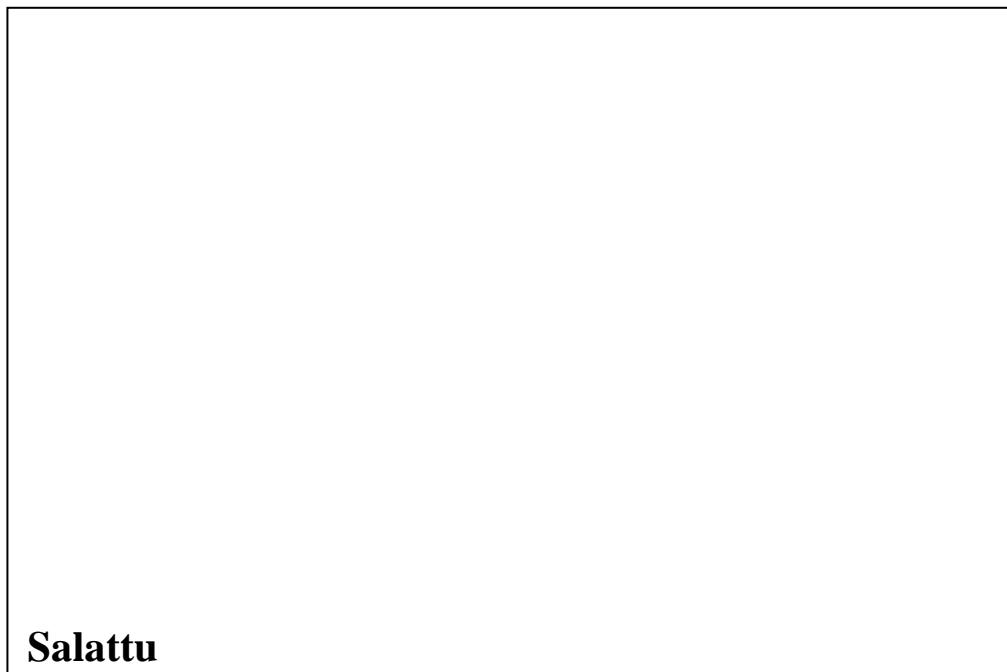
4.3 Toinen vaimennin

Kuviossa 8 näkyy toinen vaimennin ja kuviossa 9 on vaimentimen sisään valettavat rautaosat. En ollut täysin tyytyväinen ensimmäiseen vaimentimeen ja sen kiinnitykseen, koska kiinnityslaipat olivat isoja ja paljon tilaa vieviä. Päätin muuttaa niitä siten, että vaimentimen sisään valetaan teräksinen reikälevy, holkit 4kpl ja

lukkomutterit M10 4kpl. Täten vaimennin ei veisi niin paljoa tilaa, kuin ensimmäinen versio ja vaimennin sopisi paremmin kokonaisuuteen. Vaimennin kiinnitettäisiin pulteilla yläpäästä nivelauran runkoon ja alapäästä kiinnityslaippaan. Pulteilla tapahtuva kiinnitys olisi luotettava ja riittävä.

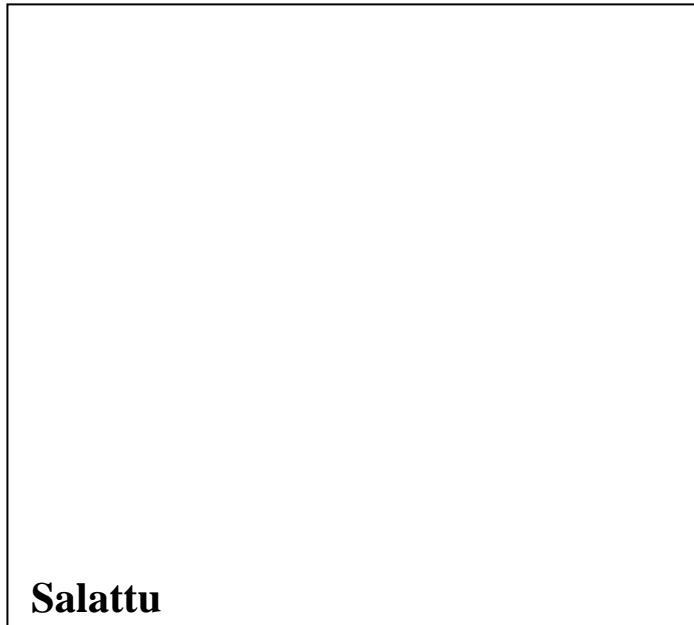


KUVIO 8. Polyuretaanivaimennin



KUVIO 9. Vaimentimen rautaosat

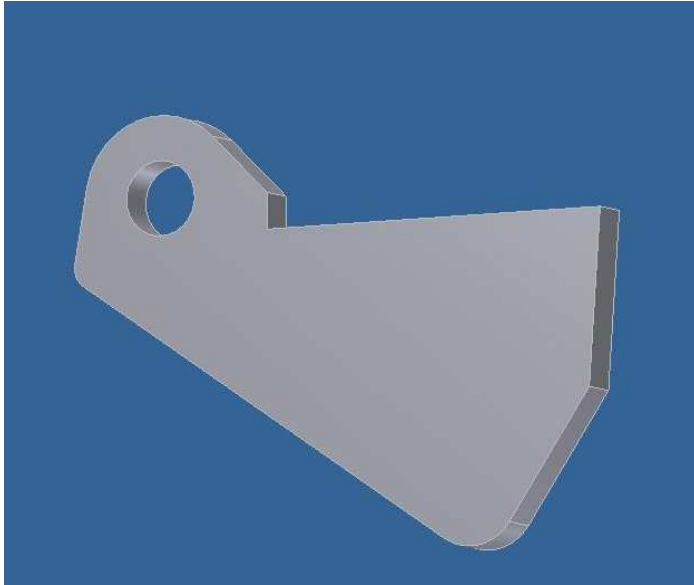
Kuviossa 10 näkyy puolet nivelaurasta. Auran puolikkaassa on kolme polyuretaanivaimenninta kiinnityksineen. Suunnittelin ja mallinsin vaimentimet juuri samoille paikoille, kuin missä kierrejousetkin olivat. Vaimennin on kiinnitetty neljällä M10 pultilla kummastakin päästä.



KUVIO 10. Puolet aurasta

4.3.1 Nivelkorvakon suunnittelu

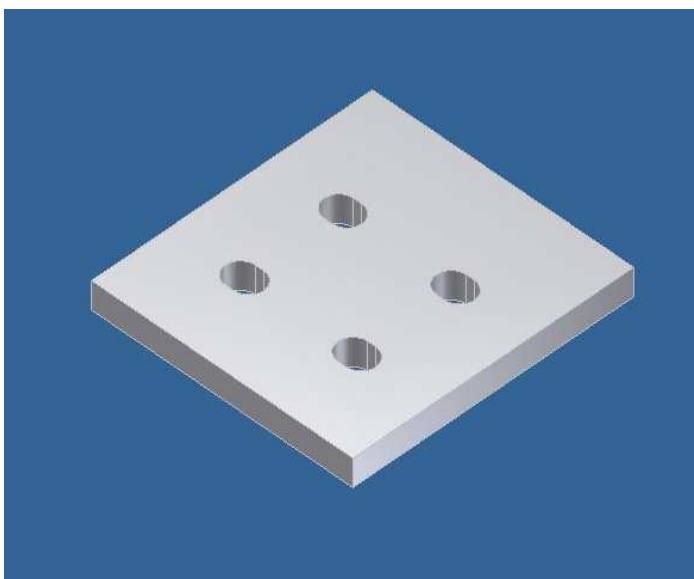
Kuviossa 11 näkyy nivelkorvakko, joita tarvitaan kaksi kappaletta yhtä vaimenninta kohden. Korvakot yhdessä saranaholkin ja tapin kanssa toimivat saranana ja ohjaavat terään kohdistuvat puristusiskut tasaisesti polyuretaanivaimentimelle. Sarana myös tukee terää sivusuunnassa. Korvakot ovat valmistettu teräksestä ja ne on hitsattu kiinni teränkiinnikkeeseen.



KUVIO 11. Nivelkorvakko

4.3.2 Kiinnityslaippa

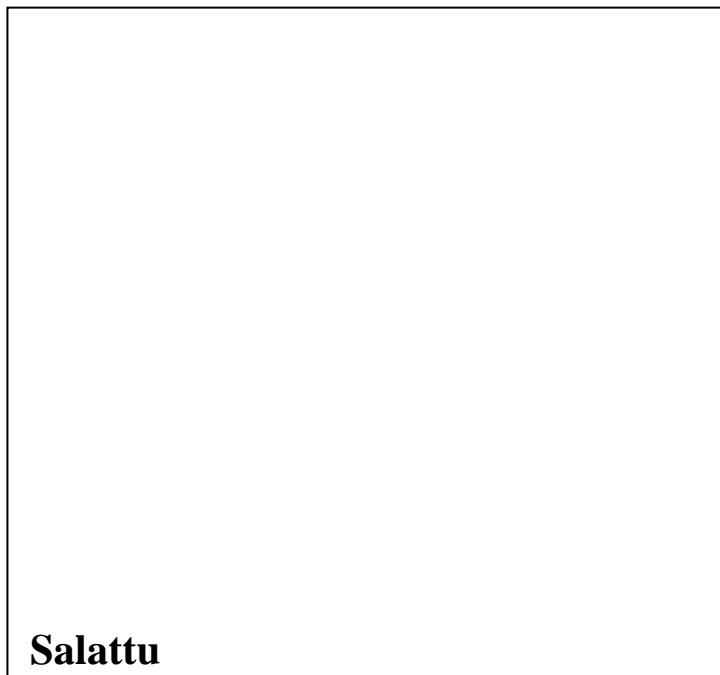
Kuviossa 12 on kiinnityslaippa, johon uretaanivaimentimen alapää kiinnitetään neljällä M10 pultilla. Laipan vapaareikien halkaisijat ovat 10.5x15 mm. Mallinsin reiät sivusuunnassa hieman isommiksi, jotta vaimentimen asennuksessa pultit osuisivat helpommin lukkomuttereihin. Kiinnityslaippa on valmistettu teräksestä ja se on hitsattu nivelkorvakkoihin kiinni.



KUVIO 12. Kiinnityslaippa

4.3.3 Terän alaosa

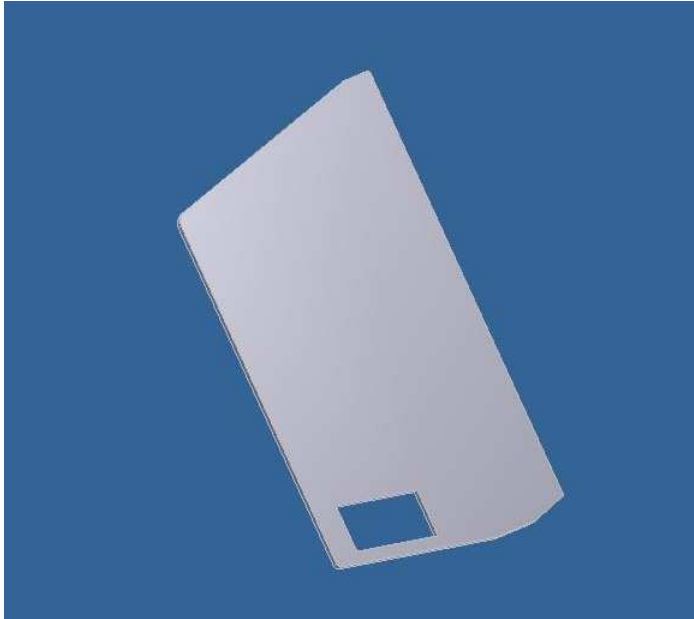
Kuviossa 13 näkyy terän alaosa koottuna. Terän alaosaan kuuluvat nivelkorvakot (3), kiinnityslaipat (2), polyuretaanivaimentimet (1) ja teränkiinnike (4). Nivelkorvakot on kiinnitetty hitsaamalla teränkiinnikkeeseen ja kiinnityslaippa on kiinnitetty hitsaamalla kahteen nivelkorvakkoon. Polyuretaanivaimennin on kiinnitetty neljällä pultilla ja lukkomutterilla alapäästä kiinnityslaippaan.



KUVIO 13. Terän alaosa

4.3.4 Sisäpäätty

Kuviossa 14 näkyy sisäpäätty, johon päätin mallintaa aukon, jotta polyuretaanivaimentimen kiinnityspultit saa tarvittaessa irrotettua. Sisäpäädyn materiaali on st 52 ja se on kiinnitetty auran runkoon hitsaamalla.



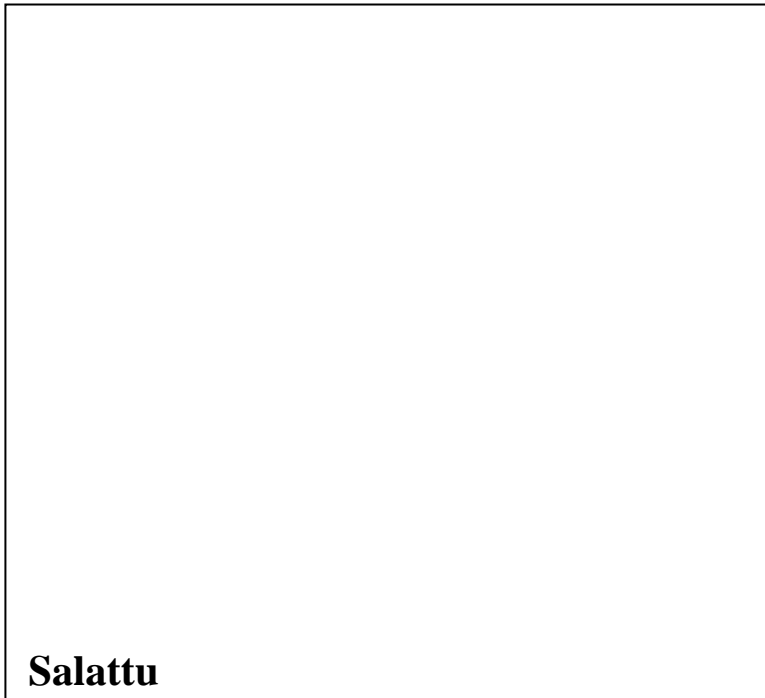
KUVIO 14. Sisäpäätty

4.4 Lopullinen vaimennin

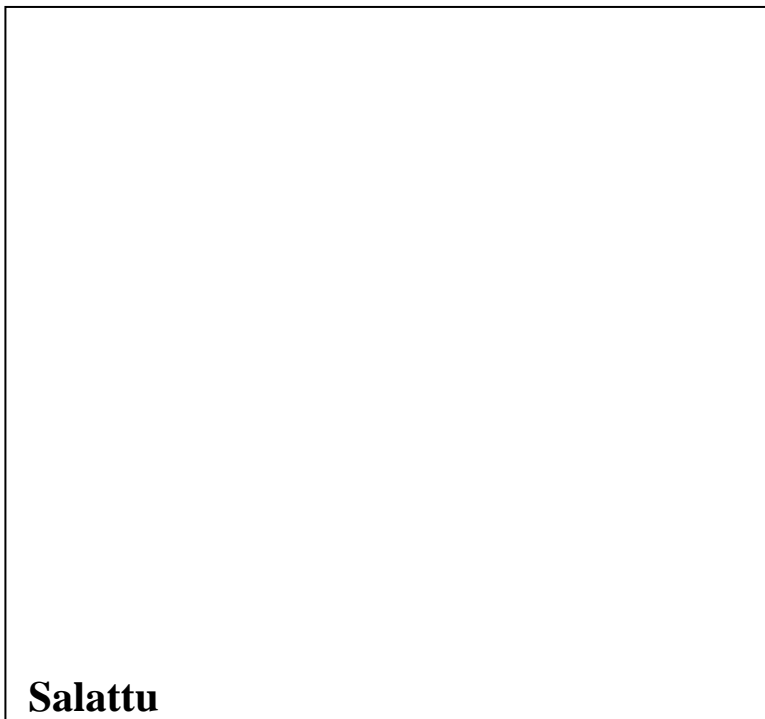
Päätimme suunnitella vielä kolmannen vaimentimen, koska emme olleet täysin tyytyväisiä toiseenkaan vaimentimeen. Toisessa vaimentimessa vaimentimen kiinnitys yläpäästä pulteilla oli hieman hankalassa paikassa ja pultteja oli liikaa. Vaimennin ei ollut myöskään tarpeeksi yksinkertainen.

Kuviossa 15 näkyy uretaanikumi, joka valmistetaan muotissa valamalla. Kuviossa 16 on lopullinen vaimennin kasattuna. Viimeisessä vaimentimessa terän liike vetosuuntaan on estetty mekaanisesti. Kämpälän-muotoiset teräslevyt ottavat tukea runkolevystä ja täten estävät terää liikkumasta vetosuuntaan. Teräslevyt on kiinnitetty uretaanikumiin liimaamalla. Liimauksessa tartunta-aineena voi käyttää kontakti- ja kaksikomponenttiliimoja. Metalliosien tartuntapintojen täytyy olla hiekkapuhalletut ja pinnoista rasvat poistettu. Liimaamisen valitsin, koska sillä saadaan riittävä liitoslujuus ja se on helppo toteuttaa. Vaimentimeen kuuluu uretaanikumi, vastakkaistuet ja laippa.

Vaimennin kiinnitetään runkoon yhdellä pultilla. Karkealla mitoitusperiaatteella sain laskettua pultin kooksi M20 ja lujuusluokaksi 8.8.

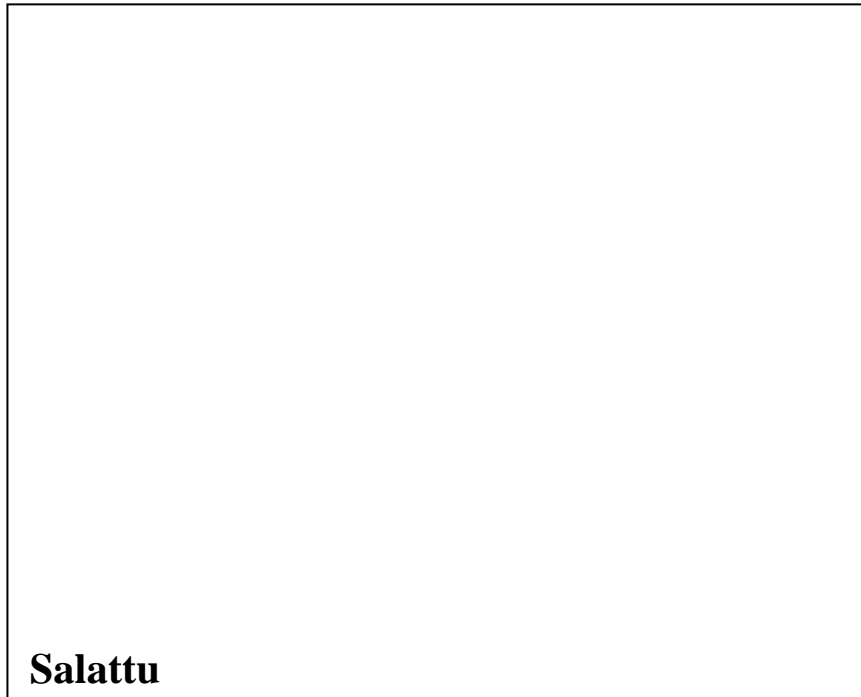


KUVIO 15. Uretaanikumi



KUVIO 16. Vaimennin

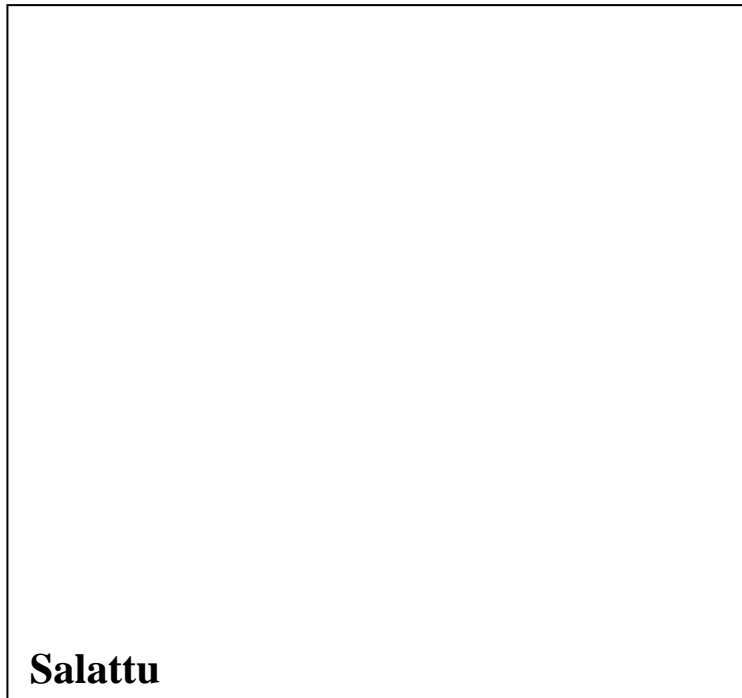
Kuviossa 17 näkyy vaimentimet kiinnitettynä auran vasempaan siipeen. Vaimennin kiinnitetään nivelkorvakkoihin yhdellä M20 8.8 pultilla ja lukkomutterilla. Vaimentimet on helppo asentaa auraan yhden pultin ansiosta. Suunnittelin ja mallinsin vaimentimet juuri samoille paikoille, kuin missä kierrejousetkin sijaitsivat.



KUVIO 17. Vasen siipi

4.4.1 Nivelkorvakko

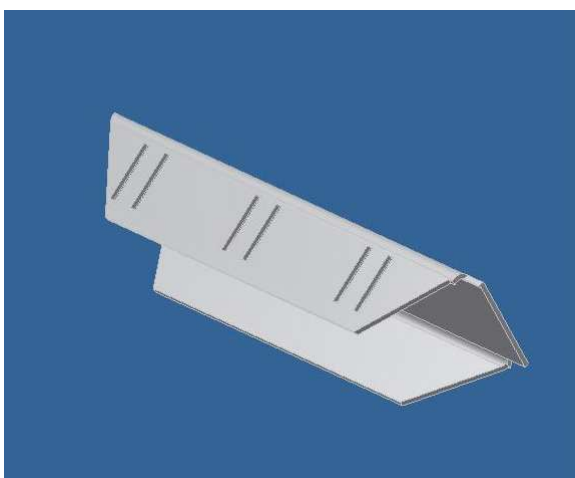
Kuviossa 18 näkyy nivelkorvakko, joita tarvitaan kaksi kappaletta yhtä vaimenninta kohden. Korvakot yhdessä saranaholkin ja tapin kanssa toimivat saranana ja ohjaavat terään kohdistuvat puristusiskut tasaisesti polyuretaanivaimentimelle. Alkuperäiseen korvakkoon muutin vaimentimen kiinnitysreiän paikkaa, jotta vaimennuspituutta saatiin lisää. Korvakko on valmistettu teräksestä ja se on hitsattu kiinni teränkiinnikkeeseen. Rakenne on symmetrinen vaimentimen molemmilla puolilla. Vaimennin kiinnitetään korvakoiden väliin yhdellä M20 8.8 pultilla.



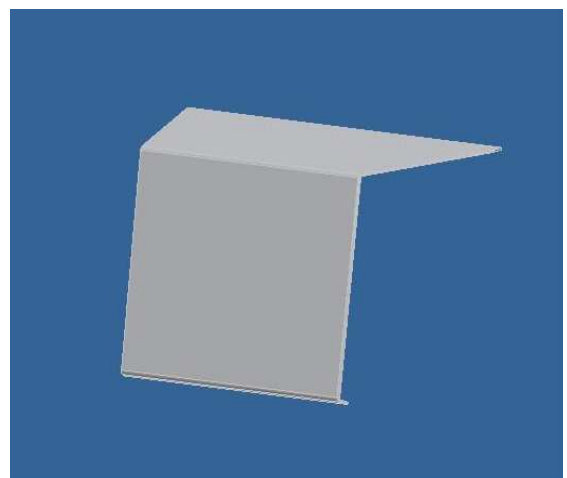
KUVIO 18. Nivelkorvakko

4.4.2 Runkolevy ja runkolevy taakse

Kuviossa 19 näkyy runkolevy. Runkolevyyn mallinsin aukot, jotta vastakkaistuet pääsevät liikkumaan vapaasti sen sisällä. Runkolevyä täytyi myös jatkaa, että saadaan riittävä tuki siihen kohdistuvan voiman seurauksena. Kuviossa 20 näkyy runkolevy taakse, jota muutin myös että se sopisi parhaiten nykyiseen kokoonpanoon. Runkolevy taakse kiinnitetään hitsaamalla.



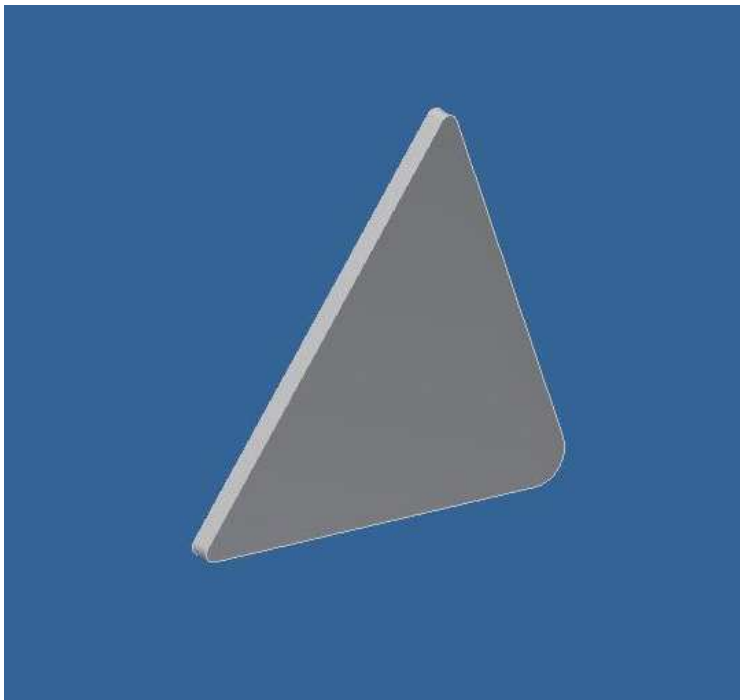
KUVIO 19. Runkolevy



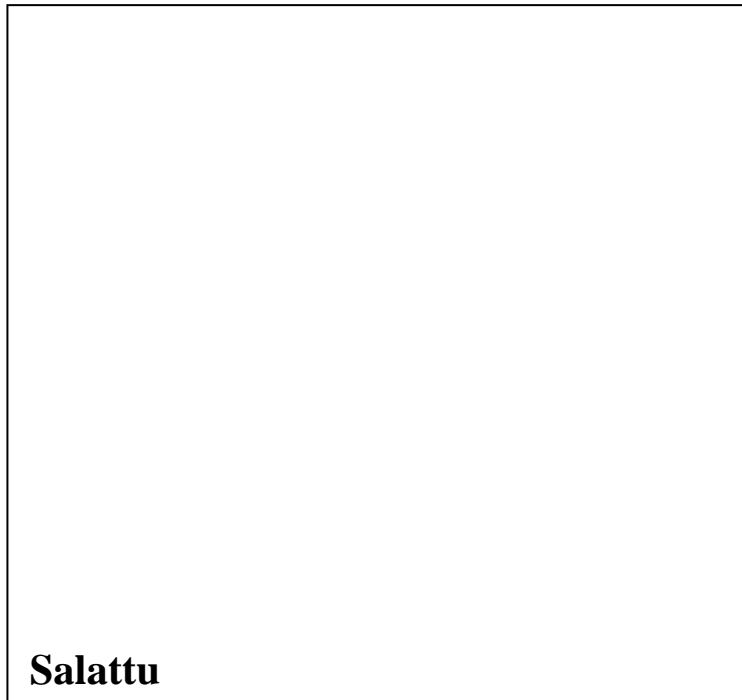
KUVIO 20. Runkolevy taakse

4.4.3 Kolmiotuki ja sisätuki

Kuviossa 21 näkyy kolmiotuki, joita nivelaaran puolikkaaseen tarvitaan kaksi kappaletta. Kolmiotuki on valmistettu teräksestä ja sen tehtävänä on estää runkolevyn antamasta periksi terään kohdistuvien iskujen seurauksesta. Tuet sijoitetaan juuri vaimentimien kohdalle runkolevyyn kiinni, jonka näkee hyvin kuviosta 22. Kuviossa 22 näkyy vaimentimet (1), kolmiotuet (2), runkolevy (3) ja nivelkorvakot (4). Kolmiotuet kiinnitetään runkolevyyn hitsaamalla.

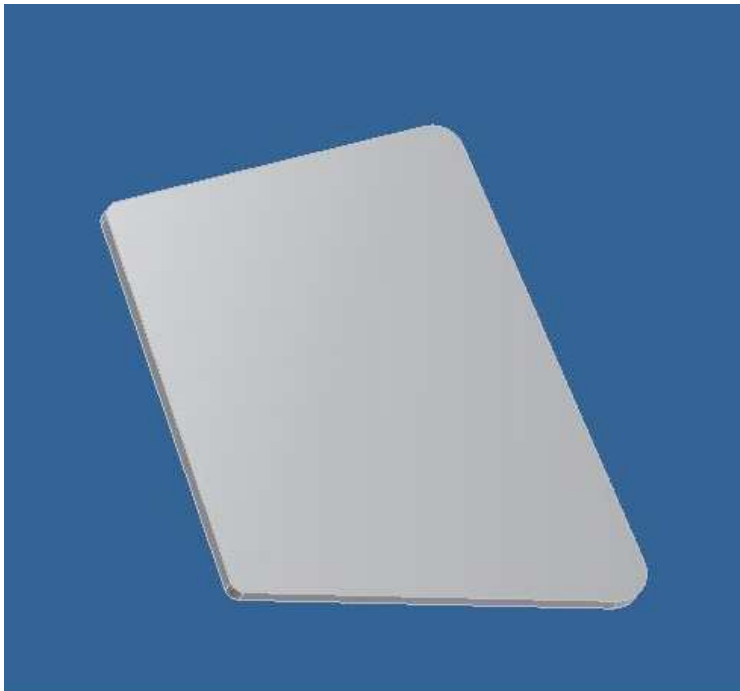


KUVIO 21. Kolmiotuki



KUVIO 22. Tuet

Kuviossa 23 näkyy sisätuki, jota auran puolikkaaseen tulee yksi kappale. Alkuperäisen sisätuen muotoa muutin siten, että se tukee sylinterinkorvakan lisäksi myös runkolevyä. Sisätuki kiinnitetään hitsaamalla runkolevyyn kiinni.



KUVIO 23. Sisätuki

4.4.4 Terän alaosa

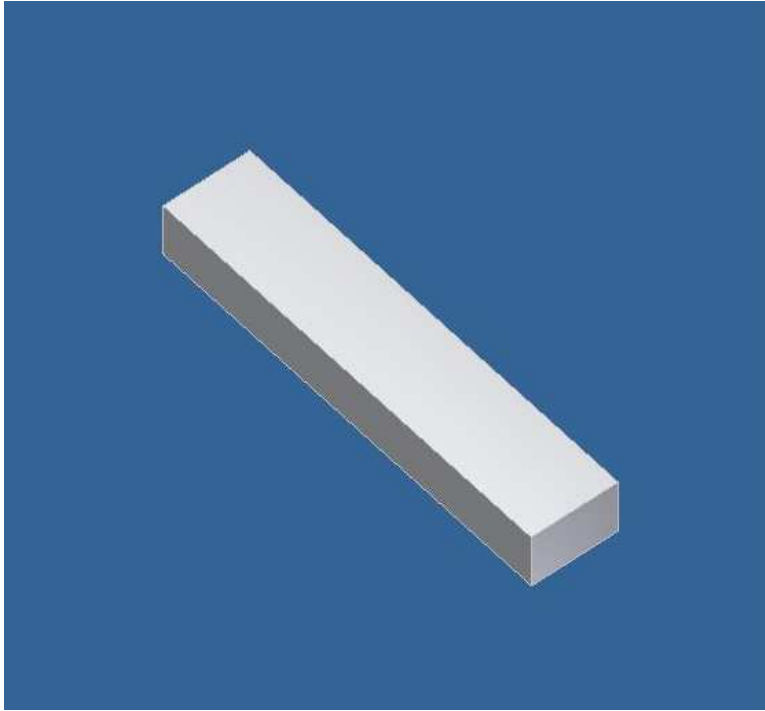
Kuviossa 24 näkyy terän alaosa koottuna. Terän alaosaan kuuluvat nivelkorvakot, uretaanivaimentimet ja teränkiinnike. Nivelkorvakot on hitsattu teränkiinnikkeeseen kiinni. Vaimentimet kiinnitetään M20 8.8 pulteilla ja lukkomuttereilla nivelkorvakoihin.



KUVIO 24. Terän alaosa

4.4.5 Tuki

Kuviossa 25 näkyy mallintamani tuki, jonka tehtävänä on estää vaimenninta luis-
tamasta paikoiltaan vaimentimeen kohdistuvien iskujen seurauksena. Tuki (1) nä-
kyy kiinnitettynä auran kuviossa 26. Tuki kiinnitetään hitsaamalla runkolevyyn (2)
kiinni.



KUVIO 25. Tuki



KUVIO 26. Tuki kiinnitettynä

4.5 Voimat

Aluksi laskin nivelaurassa olevan kierrejousen jousivakion. Yrityksestä sain materiaalia, jossa oli jousen aiheuttama jousto tietyillä kuormittavilla voimilla. Yritys oli saanut materiaalin jousenvalmistajalta. Kierrejousen joustokäyrän mukaan 1911 N:n voiman kohdistuessa kierrejouseen se antaa periksi 30 mm. Näiden tietojen perusteella saadaan laskettua kierrejousen jousivakio, kun jouseen kohdistuva voima jaetaan jousen pituuden muutoksella.

k = jousivakio, N/mm F = kuormittava voima, N

S = voiman aiheuttama jousto, mm

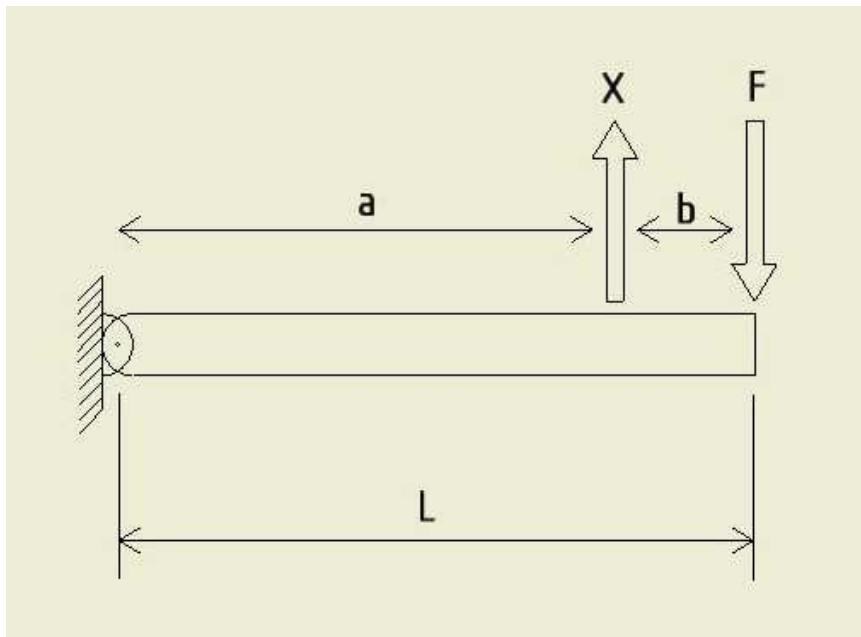
$$k = \frac{F}{S}$$

$$k = \frac{1911N}{30mm}$$

$$k = 63,7N / mm$$

Kierrejousen jousivakioksi sain laskettua 63,7 N/mm.

Suunnittelin vaimentimen hieman eri kohtaan, kuin missä kierrejousi sijaitsi. Vaimennin tuli 22,5 mm lähemmäksi saranapistettä, kuin mitä kierrejousi oli. Laskin kierrejousen sallitun maksimivoiman vaimentimen kohdalle. Kierrejousen sallittu maksimivoima oli 5310 N, jolla sen joustomatka oli noin 53 mm. Kuviossa 27 näkyy voimien ja saranapisteen sijainti.



KUVIO 27. Voimien sijainti

$$a = 77.5 \text{ mm} \quad b = 22.5 \text{ mm} \quad L = 100 \text{ mm}$$

F = Kierrejousen sallittu maksimivoima on 5310 N

X = Vaimentimen sallittu maksimivoima on?

$$X * a - F * L = 0$$

$$\Rightarrow X * 0,0775m - 5,31KN * 0,1m = 0$$

$$\Rightarrow X = \frac{5,31KN * 0,1m}{0,0775m}$$

$$\Rightarrow X \approx 6,85KN$$

Vaimentimen sallituksi maksimivoimaksi sain laskettua 6,85 KN.

Seuraavaksi laskin vaimentimeen kohdistuva maksimivoiman suhteessa polyuretaanin päädyn pinta-alaan N/mm^2 . Tämän laskin siksi, koska polyuretaanin valmistajat ilmoittavat materiaalien jännitykset N/mm^2 . Vaimentimeen kohdistuva maksimivoima on 6850 N ja polyuretaanin päädyn pinta-ala on $85\text{ mm} * 40\text{ mm}$.

$$\sigma = \frac{6850N}{85mm * 40mm}$$

$$\sigma \approx 2,01N / mm^2$$

Jännitykseksi sain laskettua $2,01\text{ N/mm}^2$. Tämän jännityksen perusteella saan valittua oikean kovuuden polyuretaanille.

Seuraavaksi laskin vaimentimen kiinnitysruuvien koon ja lujuuden yksiruuviliitoksen karkealla mitoitusperiaatteella. Ensimmäiseksi valitsin taulukosta 5 voimasarakkeesta voiman, joka on lähin suurempi kuin yksiruuviliitoksen kuormitusvoima. Yksiruuviliitoksen kuormitusvoima on noin 5600 N ja lähin suurempi voima taulukosta on 6300 N. Tämän jälkeen siirryin 4 riviä alaspäin, koska kuormitus on lepäävä tai väsyttävä leikkausvoima ja taivutusmomentti. Seuraavaksi siirryin kaksi riviä alaspäin, koska kiristys tapahtuu karkeasti säädettävällä ruuvikiristimellä. Ruuvikoon valitsin taulukosta samalta riviltä, kuin viimeksi valittu voima. Ruuvikooksi valitsin 20, jonka lujuus on 8.8.

F [N]	12.9	10.9	8.8	F [N]	12.9	10.9	8.8
250				16000	6	8	8
400				25000	8	10	10
630				40000	10	12	14
1000				63000	12	14	16
1600	3	3	3	100000	16	16	20
2500	3	3	4	160000	20	20	24
4000	4	4	5	250000	24	27	30
6300	4	5	5	400000	30	36	
10000	5	6	8	630000	36		

Taulukko 5. Ruuviliitoksen voimat ja lujuudet (Blom ym. 2001, 91.)

4.6 Materiaalit

Kaikkien metalliosien materiaaliksi valitsin rakenneterästä St 52, koska sitä materiaalia oli käytetty aurassa aikaisemminkin ja se oli todettu hyväksi. St 52:n myötölujuus on 355 N/mm² ja murtolujuus on 510–680 N/mm².

Uretaanikumin materiaaliksi löysin kahta erilaista vaihtoehtoa Vulkollan ja Diepothan, jotka sopivat hyvin ratkaisuun. Vaatimuksina materiaalille oli muun muassa, että se kestää hyvin pakkasta, on joustava myös alhaisissa lämpötiloissa ja vaimentaa hyvin iskuja. Molempia materiaaleja käytetään vaimentimina samantyyppisissä ratkaisuissa. Materiaaleista sain kohtalaisen hyvin tietoa niiden valmistajilta, mutta heillä oli aika vähän tietoa materiaalin eri kovuuksista, miten ne puristuvat eri voimilla tai paineilla. Löysin kuitenkin osalta valmistajilta myös puristuksen aiheuttaman muodonmuutoksen prosentteina, jonka perusteella sain valittua parhaan kovuuden materiaalille. Paras vaihtoehto vaimentimen materiaaliksi olisi Diepothan 70 Shore A (Liite 1). Valitsin materiaalin, koska se kestää hyvin mekaanista rasitusta ja se sopii erinomaisesti käyttötarkoituksiin, jossa vaaditaan joustavuutta ja suurta elastisuutta. Käyttölämpötila materiaalilla ulottuu -30 °C:een asti.

5 ARVIOINTI JA POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella uudelleen nivelauran terän jousitus. Kierrejousitus tuli korvata polyuretaanivaimennuksella. Vaimennuksesta ja sen kiinnityksestä tuli tehdä 3D-malli ja työpiirustukset. Terän vaimennus täytyi suunnitella siten, että se on yksinkertainen, halpa ja helposti vaihdettavissa.

Työ onnistui hyvin ja sille laaditut tavoitteet saavutettiin. Vaimennin on yksinkertainen ja nopeampi asentaa, kuin kierrejousi vain yhden kiinnityspultin ansiosta. Polyuretaanivaimentimen kustannukset ovat mielestämme halvemmat, kuin kierrejousen. Joustokäyrä ei ole polyuretaanilla lineaarinen, kuin kierrejousella ja uretaanikummin joustaessa kimmo- ja liukukertoimet eivät pysy vakioina, vaan ne riippuvat vaimentimen mallista ja kovuudesta. Työn tuloksena syntyivät vaimentimen ja sen osien 3D-mallit ja työpiirustukset. Selvitin myös mikä materiaali sopii parhaiten vaimentimeen. Parhaaksi materiaaliksi osoittautui Diepothan 70 Shore A.

Projekti oli mielestäni tarpeeksi haastava ja mielenkiintoinen. Motivaation kanssa ei ollut ongelmia. Aikataulussa pysyin juuri niin, kuin olin suunnitellutkin vaikka lopussa tuli aika paljon takapakkia, kun vaimennin täytyi suunnitella erilaiseksi.

Lopuksi kiitän Vama-Product Oy:tä opinnäytetyön aiheesta ja hyvin sujuneesta yhteistyöstä. Haluan myös kiittää ohjaajanani toiminutta Tapio Malista asiantuntevasta ohjauksesta.

LÄHTEET

Kirja

Antti Häyhä. 1984. Polyuretaanit ja niiden käyttökoneet. Offset-Korppinen Oy

Seppo Blom, Pekka Lahtinen, Erkki Nuutio, Kari Pekkola, Seppo Pyy, Hannu Rautiainen, Arto Sampo, Pekka Seppänen, Eero Suosari. 2001. Koneenelimet ja mekanismit. 5.painos. Helsinki:Edita

Sähköinen julkaisu

Finn-Valve Oy. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.finn-valve.com/>. Luettu 12.8.2009

Bayer MaterialScience AG . Www-dokumentti. Saatavissa: [http://www.bayer-baysystems.com/BMS/BMS_Resource_Center.nsf/id/WebsiteIndependent_Vulkan_Damit_ist_ihnen_der_Erfolg_sicher/\\$file/en_BMS00027852.pdf](http://www.bayer-baysystems.com/BMS/BMS_Resource_Center.nsf/id/WebsiteIndependent_Vulkan_Damit_ist_ihnen_der_Erfolg_sicher/$file/en_BMS00027852.pdf) . Luettu 12.8.2009

Vama-Product Oy. Www-dokumentti. Saatavissa: http://www.vamaproduct.com/fi/index.php?option=com_content&view=article&id=54&Itemid=57. Luettu 12.8.2009

Vink Finland Oy. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.vink.fi/TUOTTEET/Tuotteet/PUR.aspx> . Luettu 12.8.2009

Julkaisemattomat lähteet

Jokelainen Seppo. Koneensuunnittelu. Opetusmateriaali. Keski-Pohjanmaan AMK, Ylivieskan yksikkö

Daten data								
Eigenschaft property	Prüfvorschrift test specification DIN	Maßeinheit units	74 60 00	74 65 00	74 70 00	74 75 00	74 80 00	74 90 00
Shore Härte A shore hardness A	53 505	-	60	65	70	75	80	90
Dichte density	53 479	g/ cm ³	1,25					
Spannung bei 100% Dehnung stress at 100% strain	53 504	N/ mm ²	1,7	2	3,1	4	4,5	6,6
Spannung bei 300% Dehnung stress at 300% strain		N/ mm ²	2,2	2,9	4,7	6,8	7,2	11
Bruchspannung elongation at break		N/ mm ²	36	45	52	58	61	60
Bruchdehnung elongation at break		%	1.000	1.000	800	750	700	705
Weiterreißwiderstand (Graves) taer propogation resistance	53 515	KN/ m	30	39	54	55	56	60
Stoßelastizität rebound resilience	53 512	%	51	46	42	40	38	34
Abriebverlust abrasion loss	53 516	mm ²	46	38	43	45	59	53
max. Temperaturbeständigkeit max. temperature resistance	-	°C	-30 +80					
Druckverformungsrest compression set	53 517	%	17 50	15 33	15 36	19 38	21 46	22 46