

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU  
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

Teemu Hiltunen

PAKKAUSPROSESSIN KEHITTÄMINEN JA PAKKAUSTEN  
MITOITUSOHJELMAN SUUNNITTELU

Opinnäytetyö  
Toukokuu 2015



**OPINNÄYTETYÖ**  
**Toukokuu 2015**  
**Kone- ja tuotantotekniikan**  
**koulutusohjelma**

Karjalankatu 3  
80220 JOENSUU  
p. +358 50 260 6800

Tekijä(t)  
Teemu Hiltunen

Nimeke  
Pakkausprosessin kehittäminen ja pakkausten mitoitushjelman suunnittelu

Toimeksiantaja  
Exel Composites Oyj

Tiivistelmä

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää Exel Compositesin pakkausprosessin kehityskohteet ja suunnitella korjaavat toimenpiteet. Opinnäytetyö liittyy tulevaan ERP-toiminnanohjausjärjestelmän käyttöönottoon, jonka tarkoituksena on integroida mm. pakkausten mitoitus ja suunnittelu osaksi järjestelmää. Tavoitteena on, että tulevaisuudessa pakkausta ei tarvitse enää mitoittaa käsin, vaan sen mitoittaa ohjelma.

Aluksi aiheeseen tutustuttiin aihepiirin kirjallisuuden ja haastatteluiden avulla, joiden pohjalta tehtiin parannusehdotukset. Parannusehdotukset tehtiin pakkausten rakenteisiin, valmistukseen ja pakkausmateriaaleihin. Työssä vertailtiin suunniteltuja ja käytössä olevia pakkauksia. Lopuksi suunniteltiin Excel-pohjainen ohjelma, jolla pystytään mitoittamaan pakkauksia.

Lopputuloksena saatiin kolme vaihtoehtoista, koko tuotannon kattavaa pakkausrakennetta. Suunnittelussa huomioitiin valmistettavuus ja hinta. Pakkausten laskentaohjelmasta tuli toimiva kokonaisuus, joka nopeuttaa pakkausten mitoittamista tulevaisuudessa.

Kieli  
suomi

Sivuja 48  
Liitteet 1  
Liitesivumäärä 1

Asiasanat

Pakkaussuunnittelu, pakkausmateriaalit, pakkausten mitoitus



**THESIS**  
**May 2015**  
**Degree Programme in Mechanical and**  
**Production Engineering**

Karjalankatu 3  
FI-80200 JOENSUU  
FINLAND  
p. +358 50 260 6800

Author (s)  
Teemu Hiltunen

Title  
Packaging Process Development and Planning a Packaging Dimensioning Program

Commissioned by  
Exel Composites Oyj

The purpose of the thesis was to clarify the development areas in the packing processes at Exel Composites and design possible corrective measures. This thesis is a part of implementing a new ERP system in the company, which includes integration of package dimensioning and design. One of the aims is that in the future the packages no longer need to be designed by hand.

First the subject was approached through literature and interviews based on which suggestions for improvements were made. Suggestions for improvements were made on packaging structures, manufacturability and packing materials. This work compares the planned and existing packaging. Finally, an Excel-based program, which measures packages was designed.

As a Result of this thesis was three alternative packaging structures which cover the entire production were compiled. The design takes into account manufacturability and price. Packaging calculation program is a working complex, which will speed up package sizing in the future.

Language  
Finnish

Pages 48  
Appendices 1  
Pages of Appendices 1

Keywords

Packaging design, packaging materials, packaging dimensioning

# Sisältö

Tiivistelmä

Abstract

1	Johdanto.....	5
1.1	Yrityksen esittely.....	5
1.2	Opinnäytetyön kulku ja tavoitteet.....	5
2	Pakkaaminen ja pakkausten suunnittelu.....	7
2.1	Pakkaus.....	7
2.2	Pakkausmateriaalit.....	8
2.2.1	Muovit.....	8
2.2.2	Puu.....	10
2.3	Pakkaamisen apuvälineet.....	12
2.3.1	Pakkausvanteet.....	12
2.3.2	Naulaaminen.....	13
2.4	Pakkausten jakelu ja kuljetus.....	14
2.4.1	Kuormalavat.....	14
2.4.2	Kuljetuskontit.....	16
2.4.3	Kuljetusrasitukset.....	17
2.4.4	Moduulimitoitus.....	21
2.5	Pakkaussuunnittelu.....	21
3	Exel Composites Oyj:n pakkausprosessin lähtötietojen kartoitus.....	25
3.1	Pakkausprosessin nykytilanne Exelillä.....	25
3.2	Pakkausten jaottelu.....	26
4	Suunnittelu ja testaus.....	28
4.1	Parannusehdotukset.....	28
4.1.1	Pakkausmateriaalit.....	28
4.1.2	Pakkausten valmistus.....	30
4.1.3	Pakkaukset ja niiden rakenne.....	32
4.2	Pakkausten testaus.....	35
4.2.1	Tuenta päädyistä.....	36
4.2.2	Tuenta keskeltä.....	38
4.2.3	Testitulokset.....	39
5	Pakkausten mitoitusohjelma.....	41
5.1	Ohjelman toimintojen määrittäminen.....	41
5.2	Ohjelman toiminta pääpiirteittäin.....	41
6	Tulokset.....	45
7	Pohdinta.....	46
	Lähteet.....	48

Liite 1: Exel Composites Oyj:n kuljetuspakkausten jaottelu

## **1 Johdanto**

### **1.1 Yrityksen esittely**

Tämän opinnäytetyön toimeksiantaja on Exel Composites Oyj, joka suunnittelee, markkinoi ja valmistaa erilaisia komposiittiprofiileja. Exel Composites on alansa johtava teknologiayritys, joka on perustettu vuonna 1960. Exel Composites toimii seitsemässä eri maassa: mm. Englannissa, Saksassa ja Australiassa. Tehtaita Exelillä on Suomessa kaksi, joista toinen sijaitsee Mäntyharjulla ja toinen Joensuussa, minne myös tämä opinnäytetyö tehtiin. Exel Compositesin toimipisteet työllistävät Suomessa n. 200 henkilöä, joista 130 työskentelee Joensuun tehtaalla. (Exel Composites Oyj, 2009.)

### **1.2 Opinnäytetyön kulku ja tavoitteet**

Työn tavoitteena oli kehittää ja yhdenmukaistaa nykyisiä kuljetuspakkauksia ja pakkausmenetelmiä. Tarve opinnäytetyön tekemiselle lähti siitä, että suurinta osaa pakkaustavoista ei ole standardisoitu, vaan pakkaukset suunnitellaan ja lasketaan itse tapauskohtaisesti, mikä on hyvin työlästä. Pakkausmenetelmien standardisoinnilla pakkauksista saadaan tasalaatuisia sekä pakkausprosessia yksinkertaistettua ja tehostettua. Toiveena oli, että jatkossa pakkausten mitoittamisen apuna voidaan käyttää tietokoneavusteista ohjelmaa, joka mitoittaa pakkauksen ja laskee siihen tulevan tavaran määrän. Ohjelma toteutetaan Excel-pohjaisena osana tätä työtä.

Työn teoriaosuudessa tutustutaan pakkausmateriaaleihin, pakkaussuunnittelun vaiheisiin sekä pakkausten jakelun asettamiin seikkoihin, jotka on hyvä huomioida suunnittelussa. Tietoa työhön haettiin aihepiirin kirjallisuuden sekä haastatteluiden avulla. Käytännön osuudessa tutustutaan nykyiseen pakkausprosessiin ja sen ongelmakohtiin, minkä pohjalta tehdään

parannusehdotukset käytettyihin pakkausmateriaaleihin, pakkausten rakenteisiin ja niiden valmistukseen. Lopuksi parannusehdotusten pohjalle suunnitellaan ohjelma, jolla pystytään mitoittamaan pakkauksia.

## 2 Pakkaaminen ja pakkausten suunnittelu

### 2.1 Pakkaus

SFS:n EN 14182 -standardin mukaan pakkauksella tarkoitetaan tuotetta, joka on tarkoitettu tiettyjen tuotteiden säilytykseen ja suojaamiseen kuljetettaessa ja käsiteltäessä tuottajalta kuluttajalle tai käyttäjälle. Pakkaus voi koostua mistä tahansa materiaaleista. Sisällöltään pakkaus voi olla mitä tahansa raaka-aineista valmiisiin tuotteisiin. (SFS 2004, 15.) Tuotteesta riippumatta tehokas pakkaaminen on aina välttämättömyys, koska asiakas haluaa tuotteensa tietyn laatuksena ja määrällisenä. Jos tuote saapuu asiakkaalle vahingoittuneena, koska tuote on pakattu väärin, kärsivät tuotteen maine ja myyntiarvo. (Karjalainen 1982, 55.) Pakkauksen tärkeimmät perustehtävät ovat suojata, säilyttää, mahdollistaa jakelu, kertoa tuotteesta, sisältää tuote, lisätä käyttömukavuutta sekä myydä. Perustehtävät pakkaukselle määrittävät kuljetettavasta tuotteesta, kuljetustavasta ja välineestä, ympäristöstä, kuluttajasta sekä lainsäädännöistä ja viranomaisista. Pakkauksia on kolme eri tyyppiä, jotka ovat kuljetus-, ryhmä- ja kuluttajapakkaus. (Järvi-Kääriäinen & Leppänen-Turkula 2002, 15, 23.) Tutustutaan tarkemmin kuljetuspakkauksiin.

Kuljetuspakkaus on tärkeä osa logistista ketjua, koska hyvin suunniteltuna pakkaus helpottaa ja tehostaa jakelua, varastointia sekä käsittelyä. Kuljetuspakkauksen tärkein tehtävä on suojata tuotetta kuljetus- ja käsittelyvaurioilta. (Finnish – German competence network 2014.) Kuluttajapakkauksessa korostuvat markkinointiin ja myyntiin liittyvät visuaaliset ominaisuudet. Kuljetuspakkauksessa nämä ominaisuudet eivät ole niin isossa roolissa. Tyypillisesti kuljetuspakkauksia käytetään vientikuljetuksiin. (Järvi-Kääriäinen & Leppänen-Turkula 2002, 16, 20–21.)

## 2.2 Pakkausmateriaalit

Pakkausmateriaaleista valmistetaan tuotetta suojaava pakkaus. Käytettävän pakkausmateriaalin hinta ei saa olla kallis, koska se nostaa tuotteen kokonaiskustannuksia. Käytettyjä pakkausmateriaaleja ovat: kuitupohjaiset pakkausmateriaalit, muovit, puu, metallit ja lasi. Näistä materiaaleista tutustutaan tarkemmin muoveihin ja puuhun. (Opetushallitus 2010.)

### 2.2.1 Muovit

Muovit ovat keinotekoisia aineita, joiden raaka-aineena käytetään raaka-öljyä. Ne jaetaan kahteen ryhmään: kerta- ja kestopuoveihin. Kertamuovit ovat nimensä mukaisesti kertakäyttöistä, eli sulattaminen ja muovaaminen onnistuvat vain kerran, jonka vuoksi niiden käyttö pakkausteollisuudessa on vähäistä. Kemiallisen rakenteen ansiosta kestopuoveja pystyy sulattamaan ja uudelleen muovaamaan useita kertoja. Lähes kaikki pakkausmuovit valmistetaan kestopuoveista, joista n. 60 % on pakkausten päällysteinä käytettäviä joustavia kalvoja. (Karjalainen & Ramsland 1992, 76–78.)

Muovilaatuja on useita ja jokaisella on omat ominaisuutensa ja käyttökohteensa. Jokaisella muovilaadulla on omat alalajinsa eri tiheys- ja sitkeysominaisuuksineen. Tärkeimpiä pakkausmuoveja ovat: polyeteeni (PE), polypropeeni (PP), polyvinyylidikloridi (PVC) sekä polystyreeni (PS). (Karjalainen & Ramsland 1992, 76–78.) Näistä tutustutaan tarkemmin tämän työn kannalta tärkeään polyeteeniin.

Polyeteeni on eniten käytetty muovi pakkausteollisuudessa sen edullisuuden vuoksi. Siitä valmistetuista tuotteista yli 80 % on pakkauskalvoja, joita ovat

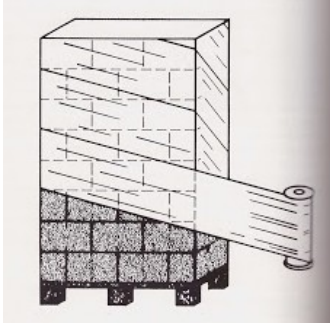


kutisteet ja kiristeet (Karjalainen & Ramsland 1992, 80). Modifioimalla polyeteeniä

saadaan sen lämmönkestoa ja UV-säteilyn kestävyyttä parannettua, joka on tärkeää etenkin pakkauskalvojen toimivuuden kannalta erilaisissa olosuhteissa (Muovimuotoilu 2014).

Kuljetuspakkausten kannalta kutiste- ja kiristekalvot ovat tärkeimpiä muoveista valmistettavia pakkaustuotteita. Kutistekalvon yleisin käyttökohde on tavaroiden yhteen sitominen lavalle eli vyöttäminen. Pakattaessa kutistekalvolla kone käärii pakkauksen löysään kääreeseen, jonka jälkeen pakkaus viedään lämpötunneliin, missä kalvo pehmenee ja alkaa kutistua. Kutistamalla kalvo saadaan tiivis, hyvin sitova ja pintaa myötäilevä pakkaus. (Karjalainen & Ramsland 1992, 92, 80.)

Pakkaaminen kiristekalvolla poikkeaa kutistemenelmästä siten, että kalvon käärimiseen ei tarvita lämpöä lainkaan. Tyypillisesti kääriminen kiristekalvolla tapahtuu käsin, kiertämällä kalvoa rullatelineellä pakkauksen ympäri spiraalimaisesti. Kuorman yläpuoli voidaan suojata erillisellä kalvoarkilla tai hupulla (kuva 1). Kiristekalvomenetelmään on saatavilla myös eritasoisia ja -hintaisia automaattisia ratkaisuja. Kiristekalvossa olevat jännitykset, jotka pienevät ajan myötä, pitävät kalvon kiinni pakkauksessa antaen näin tiiviin ja tukevan kääreen. Pakattaessa kiristekalvolla materiaalille on ominaista, että sen sisempi kerros tarttuu aiemmin käärittyn, helpottaen näin pakkaamista. Menetelmänä kiristekalvolla pakkaaminen on nopeaa, sekä materiaali- ja laitekustannuksiltaan edullista, minkä vuoksi sen suosio lisääntyy jatkuvasti teollisuudessa. Materiaalina se on hyvin venyvää sekä suojaa tuotetta kosteudelta ja lialta. (Karjalainen & Ramsland 1992, 189–190.)



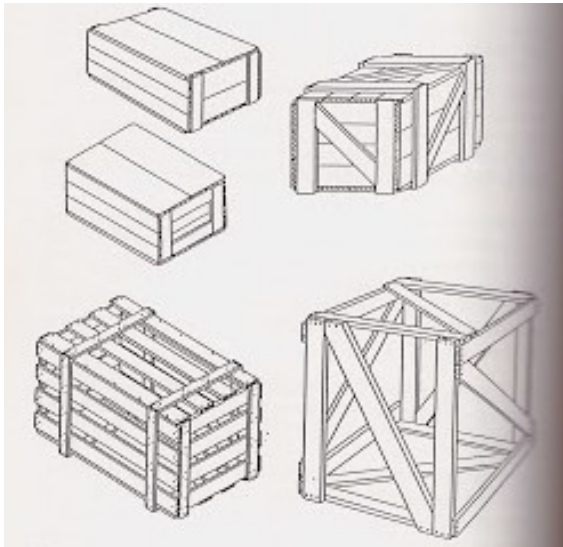
**Kuva 1. Pakkauksen kääriminen käsikiristekalvolla (Karjalainen & Ramsland 1992, 190).**

### **2.2.2 Puu**

Puuta käytetään pakkausmateriaalina lähinnä parempaa suojaa vaativien/raskaiden tuotteiden vientipakkauksiin. Monet yritykset valmistavat itse puiset kuljetuspakkaukset tuotteilleen. Pakkaustarkoituksiin Suomessa käytetään lähinnä mänty- ja kuusilautaa sekä vaneria. Materiaalina puu on kestävä ja suojaa tuotetta iskuilta sekä töytäisyltä. Puupakkaus helpottaa tuotteen käsiteltävyyttä ja sallii pinoamisen. Suositeltava kosteuspitoisuus puulle on 12–18 %. Suurempi pitoisuus tekee pakkauksesta painavamman, naulojen pito heikentyy ja puun vääntölujuus pienenee. Puupakkauksen rakenne, käytettyjen naulojen lukumäärä ja tyyppi vaikuttavat ratkaisevasti pakkauksen kuljetuskestävyyteen. (Karjalainen & Ramsland 1992, 109–110.)

Tärkeimmät puun pakkauskäyttökohteet ovat häkit, laatikot ja kuormalavat (kuva 2). Kuormalavoista kerrotaan lisää myöhemmin. Häkkejä (harva puulaatikko) käytetään vientitoimituksissa, kun kuljetettava tuote on painava tai vaativa. Suunniteltaessa häkkiä tulee sen rakenteeltaan olla tukeva ja helposti siirrettävissä koneellisesti. Häkin kehikon pitää ympäröidä tuote joka puolelta. Häkki on hyvä kuljetuspakkaus tapauksissa, jossa tuote ei ole kovin arka, mutta tarvitsee käsittely- ja pinoamiskestävyyttä. Valmistus- ja rahtikustannuksiltaan häkki on halvempi kuin puulaatikko, koska siihen on käytetty vähemmän raaka-aineita ja on näin kevyempi. (Järvi-Kääriäinen & Leppänen-Turkula 2002, 191–192.)

Puu- ja vanerilaatikoita käytetään esimerkiksi teollisuuden osakuljetuksissa. Ne antavat hyvän suojan herkille koneen osille ja laitteille. Puulaatikon seinät voidaan valmistaa vanerista ja kehyspuut laudasta, näin saadaan kevyempi rakenne kuin pelkästä laudasta valmistettu pakkaus. (Karjalainen & Ramsland 1992, 109–110.)



**Kuva 2. Erilaisia puulaatikoita ja -häkkeitä (Karjalainen & Ramsland 1992, 110).**

Perinteisen mäntyvanerin rinnalle kilpailijaksi on tullut OSB-lastulevy, joka on hinnaltaan edullisempaa. OSB on puristamalla ja liimaamalla valmistettu kolmikerroksinen levy, jonka puulastut on suunnattu ristikkäin. Lastujen ristiinliimaus vähentää levyn kosteuselämistä ja parantaa taivutuslujuutta. Suomessa levy on melko vähän käytetty, mutta etenkin Yhdysvalloissa OSB on jopa syrjäyttämässä perinteisen havuvanerin. Käyttökohteita OSB-lastulevyille ovat rakennusteollisuuden lattia-, seinä-, ja kattorakenteet sekä pakkausteollisuuden kuljetuspakkaukset. Koska laadultaan ja ominaisuuksiltaan OSB on lähes vastaava verrattuna perinteiseen mäntyvaneriin, voidaan sitä käyttää hyvin pitkälti samoissa kohteissa missä mäntyvaneriakin. (Genetrade 2014.)

## 2.3 Pakkaamisen apuvälineet

Pakkauksen oikeaoppinen suljenta on tärkeää sen kestävyuden kannalta. Sulkemistapaa pohtiessa on syytä huomioida pakkauksen rakenne, suljennan tarkoitus sekä materiaali- ja työvoimakustannukset. Pakkausten suljentaan on käsikäyttöisiä ja eritasoisia automatisoituja laitteita. Tyypillisimpiä suljenta- ja sidontatarvikkeita ovat: teipit, liitospaperit, narut, vanteet ja nitomanastat. (Järvi-Kääriäinen & Leppänen-Turkula 2002, 202.) Myös naulaamalla voidaan sulkea pakkauksia. Näistä tarkemmin tutustutaan pakkausvanteisiin ja naulaamiseen.

### 2.3.1 Pakkausvanteet

Lavakuormien sitomiseen käytetään muovi- ja teräsvanteita. Muovivanteet ovat edullisempia ja helpompia käsitellä kuin teräsvanteita. Työturvallisuuden kannalta muovivanteet ovat turvallisempia, koska niissä ei ole teräviä reunoja, eivätkä ne avattaessa lennä irti vaarallisesti. Muovivanne ei myöskään ruostu, sen vetolujuus on hyvä, jopa 7500 N, ja materiaali kierrätettävää. (Etra 2014.) Muovivanteita valmistetaan polypropeenista (PP), polyeteenitereftalaatista (PET) ja polyamidista (PA). Kevyitä lavakuormia voidaan vanteittaa PP-vanteella, joka on materiaalina kevyttä ja taipuisaa. Raskaammat lavakuormat sidotaan kestävämmillä PA- ja PET-vanteilla. Erityisesti PET-vanteet ovat syrjäyttämässä perinteisiä metallivanteita sen antaman hyvän vetolujuuden ja edullisuuden ansiosta. (Karjalainen & Ramsland 1992, 117.)

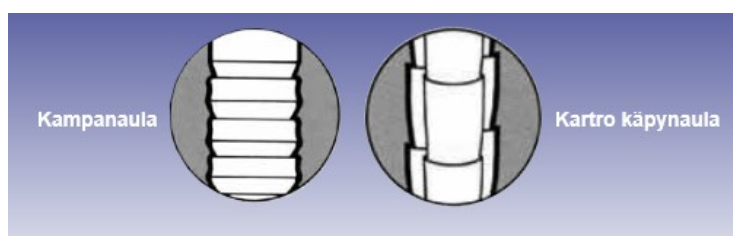
Materiaalina teräsvanteissa käytetään kirkasta ja oksidoitua terästä sekä mustaksi lakattua ja sinkkilakattua terästä. Teräsvanteilla sidotut pakkaukset ovat erittäin lujia. Tyypillisesti teräsvanteita käytetään puulaatikoiden sidontaan. (Järvi-Kääriäinen & Leppänen-Turkula 2002, 203.)

Vanteitukseen muovi- ja teräsvanteille löytyy käsikäyttöisiä ja täysautomaattisia koneita. Liitoskohta muovivanteeseen tehdään joko muovisoljella, saumaamalla tai metallilukolla. (Karjalainen & Ramsland 1992, 117.)

### 2.3.2 Naulaaminen

Lava- ja pakkausnaulaaminen tapahtuu teollisuudessa usein hyvin rajatulla alueella, jossa naulojen käyttömäärät ovat suuria. Paineilmanaulain on tällaisessa tilanteessa paras vaihtoehto, koska se on työkaluna nopea, luotettava ja pitkäikäinen. Pakkausnaulaamisessa käytetyimmät naulapyssytyypit ovat rulla- ja vinolipasnaulain. Rullalipasnaulaimen etuna on lippaan suurempi kapasiteetti, kun taas vinolipasnaulaimessa voidaan käyttää pidempiä nauloja. (Kartro 2009, 17–29.)

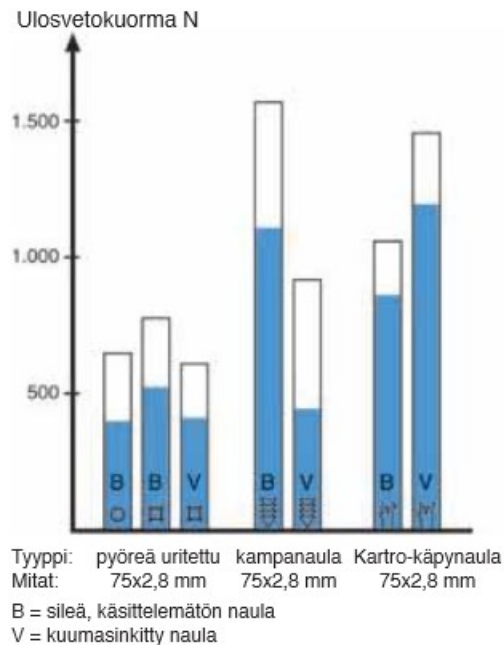
Käytetyimmät naulat pakkausten suljentaan ovat käpy- ja kampanaula (kuva 3). Käpynaulan kiilat pureutuvat puuhun antaen hyvän mekaanisen pidon ulos vedettäessä, joka on tärkeää pakkauksen kestävyuden kannalta. Pinnoittamalla käpynaula kuumasinkityksellä pystytään parantamaan entisestään ulosvetolujuutta. Kampanaula on ominaisuuksiltaan hyvin samankaltainen kuin käpynaula. Myös kampanaulan ulosvetolujuus on hyvä sen kampamaisen rakenteen ansiosta. (Kartro 2014, 1–3.)



Kuva 3. Kampa- ja käpynaulan rakenteet (Kartro 2014, 3).

Trätekin tekemässä naulojen ulosvetotestissä (kuvio 1) vertailtiin eri naulatyyppien lujuuksia, kun niitä kuormitettiin vetämällä. Koko pylväs (sininen

+ valkoinen) kertoo naulan keskiarvokuorman, minkä se kestää vedettäessä, ja sininen ominaisarvon. Pylväistä on havaittavissa, että pinnoitettu kampanaulla kestää vetoa huomattavasti vähemmän kuin pinnoittamaton. (Kartro 2014, 3.)



**Kuvio 1. Trätekin tekemä ulosvetotesti erityyppisille nautoille (Kartro 2014, 3).**

Naulaamisen lisäksi pakkauksia voidaan sulkea hakasilla ja ruuveilla. Myös näihin menetelmiin on saatavilla automaattisia paineilmatyökaluja. Naulaaminen on kuitenkin suljentamenetelmänä suosituin sen nopeuden ja naulan hyvän pitävyyden ansiosta. (Kartro 2014.)

## 2.4 Pakkausten jakelu ja kuljetus

### 2.4.1 Kuormalavat

Kuormalava toimii pohjana tuotteiden kokoamista, varastointia, käsittelyä ja kuljetusta varten. Kuormalavojen käyttö helpottaa ja nopeuttaa isojen

tavaramäärien käsittelyä, minkä vuoksi niitä käytetään jakelujärjestelmässä hyvin paljon. Kuormalavojen huonoja puolia ovat niiden paino ja tilavuus. Puinen standardilava painaa keskimäärin 25–30 kg riippuen puun kosteudesta. Lava lisää kuorman korkeutta n. 10 %. Kuormalavojen mitat on standardisoitu. Suomessa käytetään FIN- ja EUR-lavoja. (Karjalainen & Ramsland 1992, 202–207.)

Valtion Rautatiet (VR) keksivät FIN-lavan vuonna 1950. Mitoiltaan kuormalava on 1200 mm x 1000 mm ja aluksi sitä käytettiin vain VR:n omissa kuljetuksissa. Vuonna 1980 Suomen kuljetustaloudellinen yhdistys (SKY) kehitti vaihtolavajärjestelmän, jota kutsutaan FIN-lavajärjestelmäksi. Vaihtokelpoisuus perustuu vapaaehtoiseen sopimukseen ja tarkoittaa sitä, että jokainen lavojen käyttäjä vaihtaa saamansa kuormatut standardimerkityt FIN-lavat tyhjiin vastaaviin. FIN-kuormalava ei ole vaihtokelpoinen EUR-lavan kanssa. Trukilla FIN-lavaa pystyy käsittelemään kaikilta puolilta, koska se on nelitielava. Oikeuden FIN-lavamerkkiin ja niiden korjaamiseen vaihtokelpoiseen kuntoon myöntää Suomen standardisoimisliitto. (Karjalainen & Ramsland 1992, 202–203.)

Euroopassa yleistä EUR-lavaa (kuva 4) käytetään Suomessa vientikuljetuksissa. Mitoiltaan lava on 1200 x 800 mm ja sen tunnistaa EUR-polttomerkestä. (Karjalainen & Ramsland 1992, 202–203.)



Kuva 4. Standardin mukainen EUR- ja FIN-lava (OR Group 2009).

## 2.4.2 Kuljetuskontit

Kontti on kuljetusyksikkö, joka soveltuu käytettäväksi kaikkiin kuljetusmuotoihin ja on tarkoitettu toistuvaan käyttöön. Se voidaan siirtää kuljetusyksiköstä toiseen sellaisenaan, joka nopeuttaa lastausta, koska kontin sisältämiä tuotteita ei tarvitse uudelleen kuormata. Konttien mitoitukset perustuvat amerikkalaiseen ISO-standardiin, jonka käytetyimmät konttiyksiköt ovat 20' ja 40' kontit. (Transport information service 2014.)

Kontteja on useita malleja, joista tärkeimmät ovat umpi- ja avokontti. (Ritvanen, R., Inkiläinen, A., Von Bell, A., Santala, J. 2011. 120.) Molemmat konttityypit ovat vesitiiviitä ja näin ollen soveltuvat merelle, maalle ja raiteille. Taulukosta 1 nähdään tärkeimpien standardi konttien päämitat. Umpikontti (Dry cargo container, DC) on suljettu kontti, jonka katto ja seinät ovat kiinteät. Ovet sijaitsevat kontin päissä, josta kuorma lastataan ja puretaan. Avokontin (Hard top container, HC) katto ja ovet ovat irrotettavia, joka helpottaa lastin käsittelyä, koska kuorma pystytään purkamaan ylhäältä nosturilla tai ajamalla trukki sisään. Katon pystyy kiinnittämään kontin sisäseinään, joka mahdollistaa korkeiden tuotteiden kuljetuksen. (Transport information service 2014.)



**Taulukko 1. Konttien ISO-standardin mukainen mitoitus (OY Marine Container Yard AB 2014).**

	10´DC	20´DC	40´DC	40´HC
Pituus	2970mm	6058mm	12192mm	12192mm
Leveys	2438mm	2438mm	2438mm	2438mm
Korkeus	2591mm	2591mm	2591mm	2895mm
Sisäpituus	2770mm	5890mm	12010mm	12010mm
Sisäleveys	2330mm	2330mm	2330mm	2330mm
Sisäkorkeus	2370mm	2370mm	2370mm	2690mm
Pinta-ala		13,7m <sup>2</sup>	28,1m <sup>2</sup>	28,1m <sup>2</sup>
Tilavuus	6,4m <sup>3</sup>	31,8m <sup>3</sup>	66,4m <sup>3</sup>	76m <sup>3</sup>
Kantavuus (uudet)	15,2m <sup>3</sup>	20000/28000kg	26000kg	26000kg
Paino	8000kg	2250kg	4000kg	4200kg
Eurolavat (120 x 80 mm)	1020kg	11kpl	23kpl	23kpl
Ovien aukeamisleveys	2320mm	2330mm	2330mm	2330mm
Ovien aukeamiskorkeus	2280mm	2280mm	2280mm	2580mm

### 2.4.3 Kuljetusrasitukset

Kuljetusrasitukset ovat voimia, jotka pyrkivät muuttamaan kuljetettavan tavaran muotoa. Ne syntyvät kuljetusvälineen liikkeiden seurauksena. (Karjalainen & Ramsland 1992, 212.) Perusvaatimuksia, joita voidaan asettaa kuljetettavalle tuotteelle, kuljetusmuodosta riippumatta ovat:

- Tuote täyttää pakkauksen kokonaan.
- Pakkauksen mitoitus ja materiaali valinta on toteutettu siten, että ne kestävät kuljetuksen aikaiset kosteuden- ja lämpötilanmuutokset.
- Iskunvaimennus on riittävä ja tuotekohtainen.
- Tavara on yksilöity tai on mahdollista yksilöidä trukilla käsiteltäväksi.
- Merkitään tarvittaessa kiinnitys- ja nostokohdat.

(Järvi-Kääriäinen & Leppänen-Turkula 2002, 24–25.)

Tavaran kuljetukseen käytettävät kuljetusmuodot ovat meri-, maantie-, rautatie ja lentokuljetukset. Jokaisella kuljetusmuodolla on sille ominaispiirteet ja rasiustyyppit. (Karjalainen & Ramsland 1992, 212.)

- Merikuljetukset
  - Pinoamiskorkeus 4–12 m
  - Lämpötilaerot voivat olla jopa 50 °C mentäessä maasta toiseen → muodostaa kosteutta pakkauksen sisälle → tuote kastuu
  - Sade- ja merivesi ulkoisena uhkana pakkaukselle
  - Poikittaiset heilahdukset → lastin huolellinen kiinnittäminen ja tukeminen
  - Käsittelytapa
    - Lolo-käsittely (lift on – lift off)
    - Roro-käsittely (roll on – roll off)
- Maantiekuljetukset
  - Pinoamiskorkeus terminaaleissa 1–3 m ja autoissa max. 2,5 m
  - Tavaran särkyminen ja häviäminen suurin uhka
  - Pakkauksen koneellinen käsiteltävyys (yksiköinti) vähentää riskejä
  - Teiden kunto → värinä, iskut → sidonnan löystyminen
- Rautatiekuljetukset
  - Pinoamiskorkeus terminaaleissa 1–2 m ja vaunuissa max. 2,8 m
  - Vaunujen laskumäki- ja vaihtotyökäsittely → tavarat altistuvat sysäyksille
- Lentokuljetukset
  - Pinoamiskorkeus max. 2 m, pakkauksia ei pinota päällekkäin.

(Karjalainen & Ramsland 1992, 213–220.)

Normaalit kuljetusrasitukset pakkauksilla ovat: mekaaniset, ilmastolliset ja biologiset rasitukset. Mekaaniset rasitukset jaetaan varastointi-, käsittely- ja kuljetusrasitukseen. Pakkauksia käsiteltäessä niihin kohdistuu useamman tyyppisiä rasituksia: (Järvi-Kääriäinen & Leppänen-Turkula 2002, 24–25.)

- Pakkauksia vedetään ja työnnetään
- Pakkauksiin kohdistuu vääntöä, etenkin nostettaessa pitkiä pakkauksia
- Iskut
- Lastin tuenta ja kiinnitys aiheuttavat puristusta.

(Järvi-Kääriäinen & Leppänen-Turkula 2002, 24–25.)

Kuljetusrasitukset kohdistuvat kuljetuksessa kuljetusvälineeseen ja tätä kautta ne vaikuttavat myös pakkaukseen. Kuljetusrasitukseen vaikuttavat matkan pituus, kuljetusajankohta sekä kuljetusvälineen ominaisuudet, kuten auton jousitus, junien vaihto ja merialue. Tyypillisimmät kuljetusrasitukset ovat isku, heilahdukset, tärinä ja vääntö. (Järvi-Kääriäinen & Leppänen-Turkula 2002, 24–25.)

Iskut tapahtuvat usein äkillisen putoamisen tai pysähtymisen vaikutuksesta. Kuormattaessa pakkaus saattaa tippua tai kaatua. Kuljetusvälineissä iskuja aiheuttavat rautateiden vaihteiden vaihdot, laivan heilahtelut sekä teiden kuopat ja kaarteet. (Järvi-Kääriäinen & Leppänen-Turkula 2002, 25–26.)

Tärinää aiheuttavat esimerkiksi autojen jousitus ja tiestön kunto. Korkea tärinä saattaa kiillottaa ja naarmuttaa pintoja sekä murentaa hiutalemaisista tuotteista. Lavakuormat voivat myös aueta ja hajota värähtelyn voimasta. (Järvi-Kääriäinen & Leppänen-Turkula 2002, 27.)

Puristusta on kahta tyyppiä: koko ajan vakiovoimalla puristavaa staattista puristusta ja vaihtelevaa dynaamista puristusta. Varastopinoaminen on

tyypillisin tilanne, joka aiheuttaa puristusta. Puristusvoimaan vaikuttavat pinon korkeus, paino ja varastointiaika. Pitkäaikainen jatkuva staattinen puristus heikentää pakkauksen lujuusominaisuuksia. Huolimattomasti pinotut lavat voivat aiheuttaa alemman lavan vähittäisen luhistumisen ja näin koko pinon kaatumisen. On tärkeää pinota lavat siten, että niiden painopisteet kohdistuvat tasaisesti alemman lavan kantaviin kohtiin. Suositeltavaa on, että pakkaus suunnitellaan 3-7 kertaa kestävämmäksi kuin laskettu tarvittava pinoamiskestävyys. (Järvi-Kääriäinen & Leppänen-Turkula 2002, 28.)

Lämpötila ja kosteus, mitkä vaikuttavat pakkauksen lujuus- ja iskunvaimennusominaisuuksiin, saattavat vaihdella hyvin paljon mentäessä maasta toiseen. Esimerkiksi kosteuden ollessa Suomessa talvella 5 % saattaa se tropiikissa olla 100 prosenttia. Muita tällaisia ilmastosta johtuvia rasituksia ovat: (Järvi-Kääriäinen & Leppänen-Turkula 2002, 24.)

- Kastuminen: korkea suhteellinen kosteus, suojaamaton rahti, vesisade, merivesi, kosteuden tiivistyminen ja ulkovarastointi
- Lämpötila: yön ja päivän lämpötilaero tai siirryttäessä lämpimiin maihin
- UV-säteily: haurastuttaa, haalistaa ja saa aikaan kemiallisia muutoksia joissain tuotteissa
- Ilman epäpuhtaudet ulkovarastoinnissa
- Korroosio: metalli syöpyy ja ruostuu.

(Järvi-Kääriäinen & Leppänen-Turkula 2002, 24–25.)

Biologiset rasitukset johtuvat tavaran omista ominaisuuksista tai pieneliöiden aiheuttamista haitoista. Etenkin lastitilan olosuhteiden ollessa otolliset huono ilmankierto, lämpö- ja kosteusolosuhteet sopivat, saattavat vahingot olla suuret ja koko lasti pilalla. Biologisia rasituksia ovat: (Järvi-Kääriäinen & Leppänen-Turkula 2002, 25.)

- homehtuminen, puu

- sinistyminen, puu
- tuohyönteiset, puu, elintarvikkeet.

(Järvi-Kääriäinen & Leppänen-Turkula 2002, 25.)

#### **2.4.4 Moduulimitoitus**

Moduulimitoituksella tehostetaan tilankäyttöä ja säästetään rahtikustannuksissa, jotka määräytyvät lavametreistä, kuutiometreistä tai kiloista. Moduuliajatus perustuu 600 mm x 400 mm lavapakkauksen pohjamittaaan, johon voidaan tehdä jatko-osia. Moduulimitoitettut pakkaukset sopivat kaikkiin standardinmukaisiin kuljetus- ja käsittelyvälineisiin sekä hyllyihin. Moduulimitoitetuista pakkauksista kootut kuormat tukevat toisiaan sekä niitä pystytään käsittelemään automaattisesti, mikä parantaa kustannustehokkuutta. (Ritvanen ym. 2011, 74.)

#### **2.5 Pakkaussuunnittelu**

Pakkaussuunnittelu käsittää pakkauksen visuaalisen rakenteen, vahvuuksien, mittojen ja pakkausmenetelmien suunnittelun (Karjalainen 1982, 83–61). Tarve pakkauskehitykseen voi lähteä hyvin erilaisista lähtökohdista: markkinointi (uusi tuote), tuotanto (uusi pakkauslinja/tuotantovolyymien muutos) tai logistiikka (kustannustehokkuus) (Järvi-Kääriäinen & Leppänen-Turkula 2002, 213–214).

Prosessina pakkaussuunnittelu jakautuu kolmeen osaan: tietojen keruu, suunnittelu ja ratkaisut (Karjalainen 1982, 89). Tietojen keruuvaihe on tärkeä, koska siinä selvitetään pakkauskokonaisuuteen vaikuttavat välilliset ja välittömät tekijät. Näiden tekijöiden kartoittaminen on syytä tehdä huolella, sillä yksittäiset tekijät voivat muuttaa pakkaussuunnittelun suuntaa tai osoittaa

kehitystarpeita. Tietoa kerätään seuraavista asioista. (Karjalainen & Ramsland 1992, 39.)

- Tuote:
  - Antaako tuote pakkaukselle lisää lujuutta tukemalla sitä vai onko pakkauksen kestettävä yksin kaikki mekaaniset rasitukset
  - Muuttuuko jokin tuotteessa oleva ominaisuus (mekaaninen, fysikaalinen jne.) pakattaessa
  - Onko tuotteen ominaisuus haitallinen pakkauksen toimivuuden kannalta, ja voidaanko sitä muuttaa ilman suuria kustannuksia? Mitkä ovat tuotteen mekaaniset, fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet
- Tuotanto:
  - Tuotannon volyymin ja vauhdin suuruus
  - Kerralla valmistettavan erän suuruus
  - Tuotteen hinta ilman pakkausta
  - Onko mahdollista vähentää tuotantovirran epätasaisuuksia
- Pakkaaminen:
  - Tilat, laitteet ja henkilökunta, jotka ovat käytettävissä
  - Tuotteen välivarastointi- ja siirtomahdollisuudet
  - Tuotteen määrä, joka halutaan pakkaukseen
  - Pakkaajien ja työnjohtajien tarpeet
- Pakkaustarvikkeet:
  - Pakkauksen tarkat mitat ja rakenne
  - Millä pakkausmateriaaleilla täytetään pakattavan tuotteen vaatimukset?
  - Lista kaikista pakkaukseen käytettävistä materiaaleista, tarvikkeista ja apuaineista
- Ostotoiminta:

- Pakkaustarvikkeiden mitat, hinnat, toimitusajat ja saatavuus
- Käytettävän pakkausmateriaalin laatu ja mahdolliset sen aiheuttamat haitat
- Materiaalin varastointivaatimukset
- Varastointi:
  - Tuotteen kiertonopeus varastossa sekä varastointitapa
  - Varasto-olosuhteiden soveltuvuus tuotteelle
  - Varaston hylly ja lattiamitat
- Jakelu:
  - Pakkausten kuljetukseen käytettävä kalusto
  - Jakelun aikana tapahtuvan välivarastoinnin olosuhteet
  - Rasitukset, jotka kohdistuvat tuotteeseen kuljetuksen-, käsittelyn-, ja varastoinnin aikana.
  - Jakelutien rasittavin osa
- Markkinointi:
  - Viennin erikoisvaatimukset
  - Merkinnät ja standardit, jotka ovat lakisääteisiä
- Ympäristö:
  - Kierrätettävyys
  - Pakkaus palautettava/poltettava.

(Karjalainen & Ramsland 1992, 40–43.)

Kerättyjä tietoja tarkastellaan ja pohditaan niiden asettamia vaatimuksia pakkauksen toimivuuden kannalta. Asettaako varastointi ja jakelu esimerkiksi mitoituksellisia tai rakenteellisia vaatimuksia pakkaukselle. (Karjalainen 1982, 83–90.) Saatujen tietojen pohjalta tehdään ratkaisumalli, eli suunnitelma, jossa tarkastellaan laaditun suunnitelman taloudellisuutta, pakkausketjun

toimivuutta/tehokkuutta, ergonomiaa sekä ylläpito-, ja koulutuskysymyksiä. (Karjalainen. 1982, 43.)

Pakkausmateriaalien valinnassa päädytään kustannuksiltaan edullisimpaan kokonaisuuteen. Halvin pakkausmateriaali ei ole aina taloudellisin, koska virhepakkauksia saattaa syntyä enemmän, jolloin taloudellisempaa on käyttää hieman kalliimpaa materiaalia. (Karjalainen & Ramsland 1992, 40–43.)

Pakkauksessa tyhjä tila on minimoitu sekä mitoituksessa noudatettu standardeja. Standardimitoitus helpottaa tuotteen käsiteltävyyttä, joka taas vähentää pakkausta rasittavia käsittelykertoja ja näin nopeuttaa jakelua. Myös käsittelymerkinnät auttavat jakeluketjua tuotteen oikeanlaisessa käsittelemisessä. Näillä toimenpiteillä saadaan jakelukustannuksia pienemmiksi. (Karjalainen & Ramsland 1992, 40–43.) Pakkaus on suunniteltu jakeluketjun rasittavimman vaiheen mukaan. Suunnittelussa on otettu huomioon myös asiakkaan toiveet ja pakkauksen avattavuus (Karjalainen & Ramsland 1992, 40–43).

Suunnitteluvaiheeseen kannattaa käyttää riittävästi aikaa, että mahdolliset kuljetuskokeet ja rasiustestit saadaan tehtyä sekä tuloksista saadut virheet korjattua. Myös kustannuslaskennan teko kuuluu suunnitteluvaiheeseen. Valmis pakkaus esitellään ja hyväksytetään projektissa mukana olevilla vastuuhenkilöillä. Dokumentoinnin osalta pakkaussuunnitelmasta pitäisi syntyä piirustukset pakkausmalleista, kustannuslaskenta, selostus pakkausmenetelmistä ja aikataulu. (Karjalainen & Ramsland 1992, 43–44.)



### **3 Exel Composites Oyj:n pakkausprosessin lähtötietojen kartoitus**

Suunnitteluohjeen mukaisesti työn käytännön osuus toteutetaan järjestyksessä: tietojen keruu, suunnittelu ja ratkaisut. Työn pohjatietona käytetään haastatteluiden perusteella tehtyä selvitystä, jonka pohjalta tutustuttiin aiheeseen, ryhmiteltiin nykyiset kuljetuspakkaukset ja selvitettiin ongelmakohdat. Työssä haastateltiin tuotannon, varastoinnin ja tuotekehityksen asiantuntijoita.

#### **3.1 Pakkausprosessin nykytilanne Exelillä**

Pakkausprosessi toimii Exel Compositesillä siten, että lavantekijä saa pakattavan tuotteen painon ja mitat, joiden pohjalta pakkaus mitoitetaan ja valmistetaan. Pituudeltaan pakkaus voi olla mitä vain 0,5 ja 13 metrin väliltä. Jos pakkaus on yli 5,1 metriä pitkä, ei käytetyn 22 x 100 mm laudan pituusmitta riitä, jolloin joudutaan tekemään lautojen päittäisliitoksia. Päittäisliitokset ovat yksi pitkien pakkausten heikoista kohdista. (Varis 2014.)

Pakkausten valmistukseen käytetään pääasiassa 730 mm leveitä valmiita kertalavoja, jotka toimivat pakkauksen pohjana, ja joita yhdistelemällä saadaan halutun mittainen pakkaus. Rakenteeltaan kertalavat ovat pääosin samanlaisia kuin standardilavat ja ne liitetään toisiinsa naulaamalla 22 x 100 mm:n laudalla. Jos pakkauksen haluttu leveys on muu kuin 730 mm, ei kertalavoja pystytä käyttämään, jolloin pakkaus tehdään kokonaan itse laudasta ja lavapalikoista. Kun kertalavat on yhdistetty toisiinsa, naulataan lavan sivuihin pystylaudat helpottamaan tuotteiden asettamista lavalle. Lopuksi, jos tarvetta, lavantekijä vuoraa pakkauksen sisäosan aaltopahvilla, joka suojaa tuotetta naarmuuntumiselta. (Hälinen 2014.)

Käytetyt kertalavat ovat pituudeltaan 3030, 1860, 1520, 1420, 1150 ja 1020 mm. Jokainen kertalava on mitoitettu jollekin tuotteelle, jolla on suuri menekki ja jonka pakkauksen pohjaksi ne käyvät sellaisenaan. Tällaisia tuotteita ovat esimerkiksi yritys X:lle menevät putket. Tilaamalla lavat valmiina tällaisille tuotteille säästetään kustannuksissa, koska lavojen valmistaminen itse olisi todella työlästä niiden suuren menekin vuoksi. (Varis 2014.)

Valmis pakkaus pohja siirretään sivuun odottamaan täyttöä. Tuotteet pakataan pakkaukseen suoraan linjastolta. Kun pakkaus on täytetty, tuodaan se takaisin pakkaamoon, jossa se suljetaan naulaamalla, kelmutetaan kiristekalvolla ja lopuksi vedetään metallivanteet pakkauksen ympäri. Tämän jälkeen pakkaus siirretään trukilla varastoon lastausta varten. (Hälinen 2014.)

Pakkaukset lastataan suoraan konttiin tai auton lavalle, josta ne kuljetetaan kuorma-autolla suoraan määränpäähän tai satamaan merikuljetusta varten. Pakkauksen mitoituksessa ei huomioida kuljetustapaa. (Hälinen 2014.)

### **3.2 Pakkausten jaottelu**

Haastatteluiden pohjalta tehdystä pakkausten jaottelusta ilmeni selvästi neljä pääryhmää (liite 1), jotka voidaan jakaa alaryhmiin. Työssä keskitytään ensimmäiseen ryhmään eli pakkauksiin, jotka mitoitetaan ja valmistetaan itse.

Rakenteeltaan ensimmäisen ryhmän kaikki pakkaukset ovat pääosin hyvin samanlaisia, joissa pakkauksen pohjana käytetään lavarakenteita. Poikkeuksena ovat pitkät ja painavat yli 10-metriset profiilit, joiden pakkauksen pohjarakenteena käytetään 50 x 100 mm lankkua. Käyttämällä kakkosnelosia pakkauksen pohjana saadaan lisäjäykkyyttä. (Hälinen 2014.)

Arvokkaat ja herkät profiilit, jotka on valmistettu hiilikuidusta, verhotaan kauttaaltaan joko vanerilla tai laudalla antamaan lisäsuojaa iskuja vastaan. Lasikuitutuotteille suojaksi riittää puuhäkki ja kiristekalvo. (Hälinen 2014.)

## **4 Suunnittelu ja testaus**

### **4.1 Parannusehdotukset**

Haastatteluiden ja lähdemateriaalien pohjalta tehtiin parannusehdotukset Exel Composites Oyj:n pakkausprosessiin. Tarkastelun kohteeksi otettiin pakkausmateriaalit, pakkausmenetelmät ja pakkausten rakenteet. Lopputuloksena saatiin kolme pakkausrakennetta joiden valmistettavuus on otettu huomioon suunnittelussa. Suunnittelussa tutustuttiin myös käytössä oleviin pakkausmateriaaleihin ja listattiin mahdolliset korvaavat vaihtoehtoiset materiaalit.

#### **4.1.1 Pakkausmateriaalit**

Pakkauksiin ja pakkausmenetelmiin liittyvistä mahdollisista parannuskohteista lähdettiin liikkeelle käytetyistä pakkausmateriaaleista. Haastatteluiden pohjalta tutustuttiin kaikkiin käytettyihin pakkaustarvikkeisiin, niiden käyttökohteisiin ja hintoihin. Käytössä olevat pakkausmateriaalit ja niiden korvaavat vaihtoehdot taulukoitiin (taulukko 2). Suurimmaksi osaksi käytetyt materiaalit olivat hyviä ja käytännöllisiä, mutta myös joitain mahdollisia parannuskohteita löytyi.

**Taulukko 2. Käytössä olevat pakkausmateriaalit ja korvaavat vaihtoehdot**

Pakkausmateriaali	Käyttökohde	Korvaava vaihtoehto
Palikka 80 x 80 x 100 mm	Pakkauksen valmistus	
Lauta 22 x 100 mm	Pakkauksen valmistus	
Lankku 50 x 100 mm	Pakkauksen valmistus	
Kertakäyttölavat, useita mittoja	Pakkausten valmistus	
Havuvaneri	Suojaa iskuilta, pölyltä, kosteudelta	OSB-lastulevy
Kiristekalvo, valkoinen	Suojaa UV-säteilyltä, pölyltä ja kosteudelta	
Kiristekalvo, kirkas	Suojaa pölyltä ja kosteudelta	
Metallivanne	Pakkauksen sulkeminen	Muovivanne
Aaltopahvi (rulla)	Pehmuste	
Pakkausteippi, ruskea	Suljenta	Pakkausteippi Exelin logolla
Kokoontaitettava pahvilaatikko	Pakkaus pienille/kevyille tuotteille	Pahvilaatikko Exelin logolla
Stryrox pala	Välipehmuste	
Vaneriliuskat	Välipirkka	
Kampanaula	Suljenta	
Niitti	Suljenta	
Ruuvi	Suljenta	

Mäntyvanerille korvaavana materiaalina voisi olla OSB-lastulevy, jonka käyttö pakkauksissa on yleistä etenkin Amerikassa sen edullisemman hinnan vuoksi. Jäykkyyks- ja kosteudenkesto-ominaisuuksiltaan lastulevy on lähes vastaavaa kuin mäntyvaneri, mutta hinnaltaan halvempaa. (Genetrade 2014.)

Metallivanteet, jotka taitetaan pakettien ali, katkeavat joskus tarttuessaan kiinni betonilattiaan, kun pakkauksia siirretään raahaamalla. Katketessaan metallivanne saattaa sinkoutua vaarallisesti (Koskinen 2014). Metallivanteelle vaihtoehtoisena materiaalina voisi olla PET-muovivanne. Hinnaltaan muovivanne on edullisempi, jonka lisäksi sitä on helpompi ja turvallisempi

käsitellä. Muovivanteen reunat eivät ole teräviä ja katketessaan se ei sinkoudu samalla voimalla. Ongelmana muovivanteen käytössä tulee sen katkeamisherkkyys, kun pakkausta raahataan lattiaa pitkin ja vanne jää kiinni lattiassa oleviin epätasaisuuksiin. Voidaan olettaa, että muovivanne katkeaa herkemmin kuin vastaava metallinen. Muovivanteen käyttöönotto vaatii materiaalin huolellista testausta käytössä. Vaikka hinnaltaan muovivanne on halvempi, saattavat kokonaiskustannukset nousta suuremmiksi virhepakkausten määrän kasvaessa.

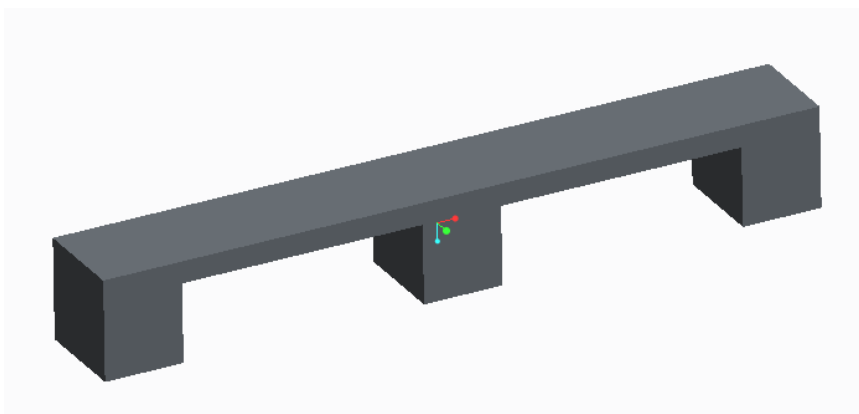
Pakkausten ulkonäkö on hyvin vaatimaton, eivätkä ne tuo esiin millään tavalla yritysimagoa (Koskinen 2014). Käytössä olevat pahvilaatikot ja teipit voitaisiin korvata vastaavilla, joihin on painettu yrityksen logo. Logo toisi esiin paremmin yritystä ja pakkaukset näyttäisivät siistimmiltä, mikä kannustaisi myös käsittelemään niitä huolellisemmin.

#### **4.1.2 Pakkausten valmistus**

Pakkausten valmistamisessa käytetään paljon apuna 730 mm leveitä kertalavoja, jotka nopeuttavat pakkausten valmistamista. Kertalavojen varsinainen käyttökohde ovat tuotteet, joilla on suuri menekki. Jokainen kertalava on mitoitettu jollekin tuotteelle ja lavojen välinen mittavaihtelu on hyvin pieni. Kertalavojen käyttö sellaisenaan on järkevää, mutta niiden hyödyntäminen pakkauksissa, jotka valmistetaan kyseisiä kertalavoja yhdistelemällä, ei ole kannattavaa, koska lavoja ei ole mitoitettu siihen käyttötarkoitukseen. Kertalavoista valmistetut pakkaukset ovat materiaalikustannuksiltaan kalliita. Koska kertalavat tilataan valmiina, joudutaan alihankkijalle maksamaan materiaalista ja työstä aiheutuvien kustannusten lisäksi kate. Tämän lisäksi lavat joudutaan liittämään toisiinsa pitkillä lautajuoksuilla, joista aiheutuu lisää materiaalikustannuksia.

Ratkaisu ongelmaan voisi olla, että kertalavat korvattaisiin elementeillä (kuva 5), jotka tilattaisiin valmiina. Kuljetuksessa elementit vievät vähemmän tilaa kuin

kertalavat, mikä mahdollistaa suurempien määrien tilaamisen kerralla. Elementtien saatavuus olisi parempi, eivätkä ne loppuisi kesken niin nopeasti kuin kertalavat. Myös pakkausten valmistaminen olisi edullisempaa, koska elementtejä ei tarvitse liittää toisiinsa samalla tavalla kuin kertalavoja. Elementtejä olisi kahta leveyttä, kapeammalle tuotteelle 350 mm ja leveämmälle 730 mm. Kuvasta 5 poiketen 350 mm leveä elementti valmistetaan kahdesta lavapalikasta. Kyseisillä leveyksillä ISO-kontti 2,4 m x 2,4 m x 12 m saadaan täytettyä tiiviisti leveys suunnassa. Tilankäytön kannalta pakkausten leveysmitan vakiinnuttaminen kahteen leveyteen on järkevää, koska moduulimitoituksen periaatteen mukaisesti päällekkäin pinottaessa saman dimensioniset pakkaukset tukevat toisiaan, ja tilankäyttö niin varastoinnissa kuin myös kuljetuksessa tehostuu.



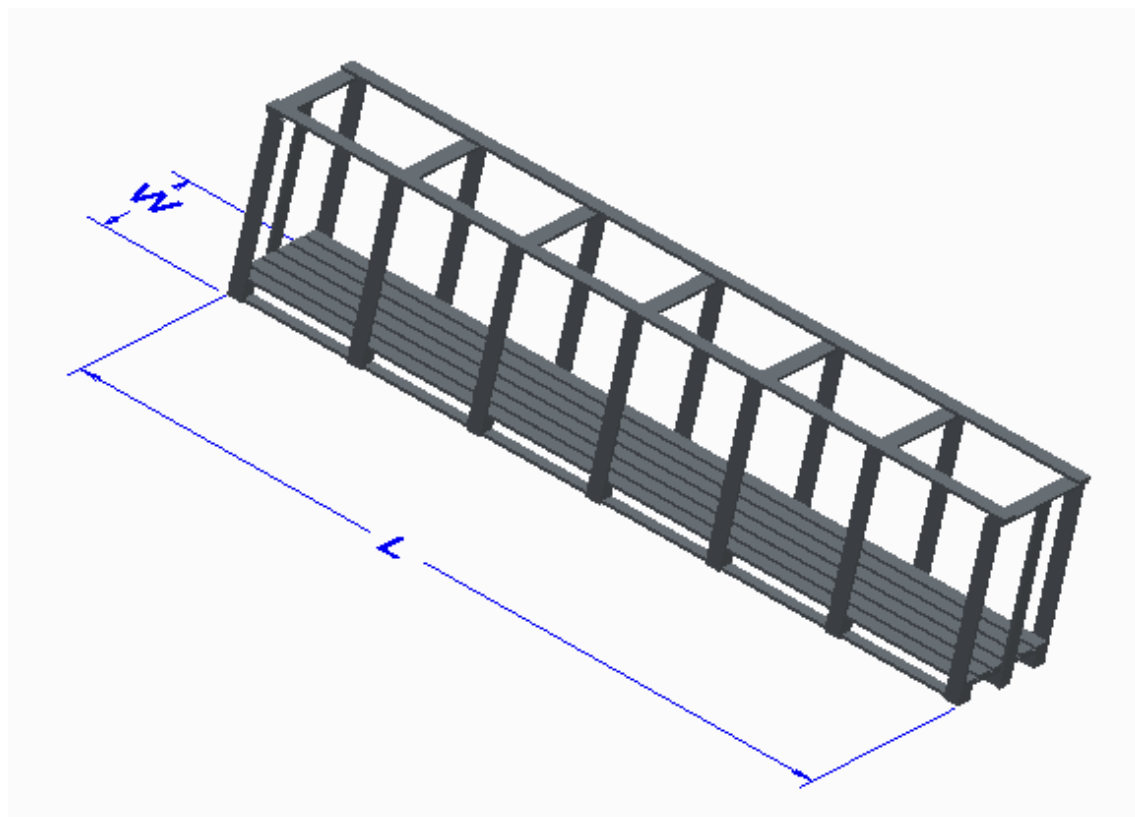
**Kuva 5. Elementti 730 mm leveä**

Pakkausten valmistuksen nopeuttamiseksi valmistetaan yksinkertainen jigi-systeemi, joka helpottaa elementtien paikoittamista ja asettamista. Rakenteeltaan jigi on vähintään 7 metriä pitkä suora putkipalkki, johon on teipattu mittateippi. Elementit asetetaan palkkia vasten, josta lavantekijä näkee suoraan niiden paikan ja jota vasten ne asettuvat suoraan linjaan. Jigin käyttö nopeuttaa lavojen valmistusta, kun ylimääräinen mittailu ja palikoiden asettelu jää pois.

#### **4.1.3 Pakkaukset ja niiden rakenne**

Nykyisten pakkausten korvaavaksi vaihtoehdoksi suunniteltiin kolme eri jäykkyyksistä pakkausta, jotka kattavat koko Exel Compositesin tuotannon. Sopiva pakkaus pakattavalle tuotteelle valitaan tuotteen pituuden perusteella. Materiaalikustannuksiltaan kaikki suunnitellut pakkaukset ovat edullisempia kuin vastaavat pakkaukset, joiden valmistamiseen on käytetty kertalavoja. Jos pakattava tuote on herkkä vaurioitumaan, voidaan kaikki pakkaukset verhota ympäriinsä vanerilla tai laudalla. Pakkausten esimerkkikuvia voidaan käyttää pakkausten valmistuskuvina (kuvat 6, 7 ja 8).

Pakkaus 1 (kuva 6) on tarkoitettu kevyille tuotteille, jotka ovat 0–5,1 metriä pitkiä. Hinnaltaan pakkaus 1 on halpa ja rakenteeltaan kevyt. Lyhyt pakkaus saa painaa jopa 1000 kg ja olla rakenteeltaan kevyt, koska trukilla nostettaessa ilmaan pakkaus käytännössä lepää trukinpiikkien päällä, eikä pääse taipumaan, jolloin pakkaukseen kohdistuvat rasitukset eivät ole niin suuria. Kuvan W-mitta on pakkauksen leveys ja L-mitta pakkauksen pituus.

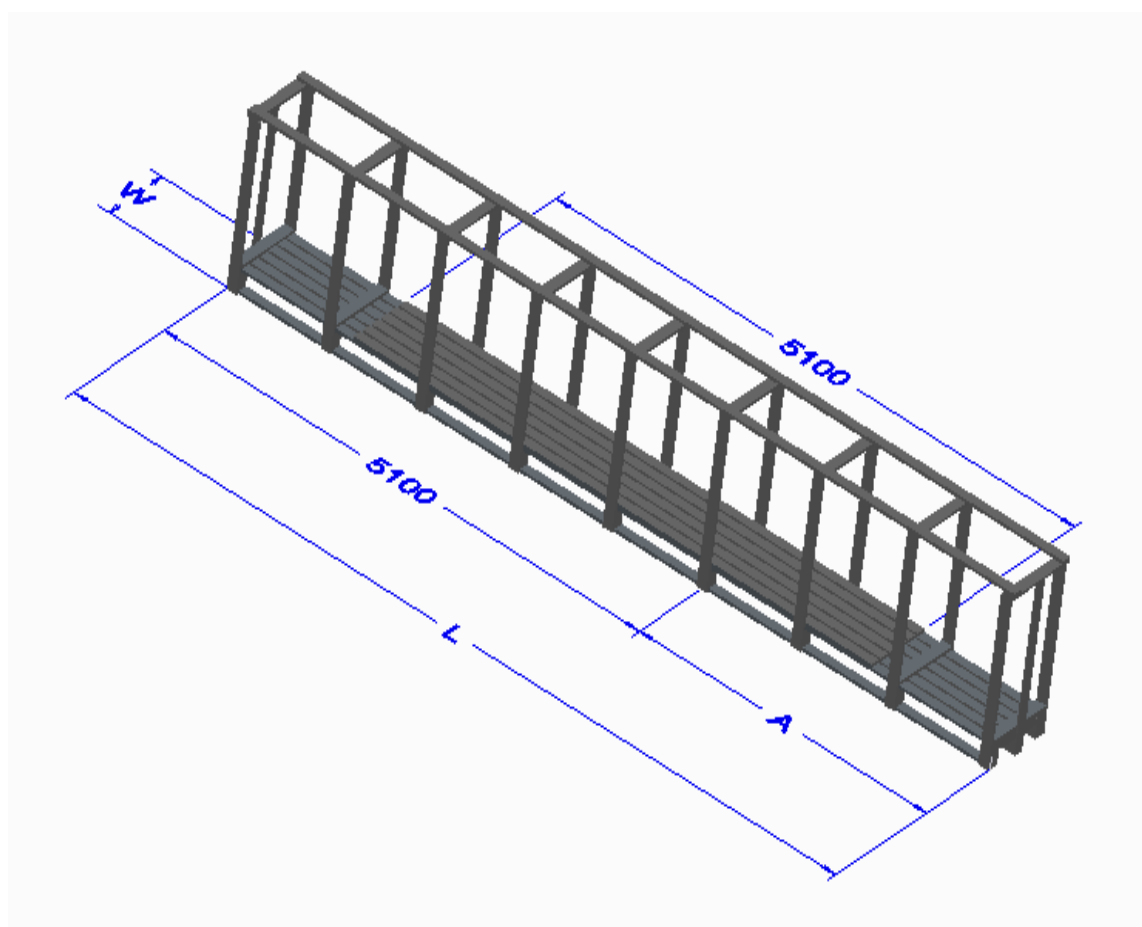


**Kuva. 6. Pakkaus 1:n rakenne, pituusmitta L ja leveysmitta W**

Pakkaus 2 (kuva 7) on rakenteeltaan jäykempi kuin pakkaus 1. Pituudeltaan pakkaus 2:een pakattavat tuotteet ovat 5,1–8 metrisiä keskipitkiä tuotteita, mikä



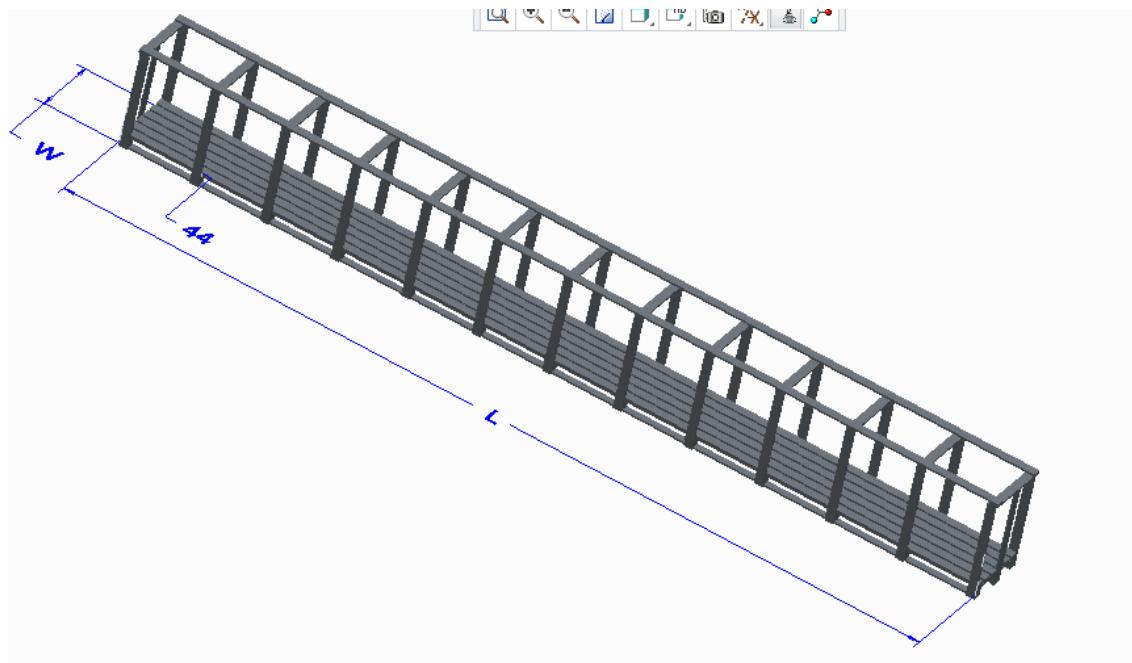
tarkoittaa sitä, että käytetyn sahatavaran pituus ei riitä, jolloin joudutaan tekemään lautojen päittäisliitoksia. Pakkauksen keskiosa, johon lautojen päittäisliitokset tulevat, vahvistetaan 5,1 metrisellä tuplalaudoituksella. Liitokset jäävät päällyslautojen alle piiloon, jolloin niiden vaikutus pakkauksen taipumaan ei ole niin suuri. Pakkauksen päihin lisätään tarvittava määrä poikittaisia lautoja, joilla pakkauksen pohja saadaan samaan tasoon. Pakkauksen A-mitta on jatkoslaudan pituus, kun pakkauksen kokonaispituudesta vähennetään käytössä olevan laudan maksimipituus 5100 mm.



**Kuva 7. Pakkaus 2:n rakenne, pituusmitta L, leveysmitta W ja jatkoslaudan mitta A**

Pakkaus 3 (kuva 8) on suunnitelluista pakkauksista painavin ja kustannuksiltaan kallein, mutta rakenteeltaan jäykin. Pakkaus 3 on tarkoitettu painaville ja pitkille yli 8 metrisille tuotteille. Rakenteeltaan pakkaus 3 eroaa muista pakkauksista pituuden lisäksi kansilaudoituksestaan, joka naulataan kaksinkerroin koko matkalle pituussuunnassa. Tuplalaudoitus antaa pitkälle ja painavalle pakkauk-

selle lisäjäykkyyttä. Pakkausrakenteiden ja valmistuksen yhdenmukaistamiseksi tarkoitus on, että pakkaus 3 korvaisi käytössä olevan pakkauksen, joka valmistetaan kakkosnelosista. Pakkaus 3:n etu verrattuna kakkosnelosista valmistettavaan pakkaukseen on sen parempi käsiteltävyys. Kakkosnelosista valmistettua pakkausta ei pystytä nostamaan trukilla sivusta ilmaan.



Kuva 8. Pakkaus 3:n rakenne, kun kannessa tuplalaudoitus (44 mm), pituusmitta L ja leveysmitta W

## 4.2 Pakkausten testaus

Pakkausten testauksessa käytettiin apuna Creo:n FEM-ohjelmistoa. Ohjelmiston avulla vertailtiin käytössä ja suunnitelmissa olevien pakkausten jäykkyyksiä niiden taipumien avulla. Vertailun mahdollistamiseksi aiemmin suunnitellut ja nykyisin käytössä olevat pakkaukset mallinnettiin yhtä pitkiksi. Tarkastelun kohteena on 5 erilaista pakkausta, joita kuormitetaan kahdessa eri tilanteessa. Pakkaukset mallinnettiin solidina ja tuennat toteutettiin siten, että niillä pyrittiin kuvaamaan oikeaa tilannetta.

Naulaliitoksia mallinnuksessa ei huomioitu, koska liitoksia yhdessä pakkauksessa voi olla useita satoja. Liitosten lisääminen olisi tehnyt

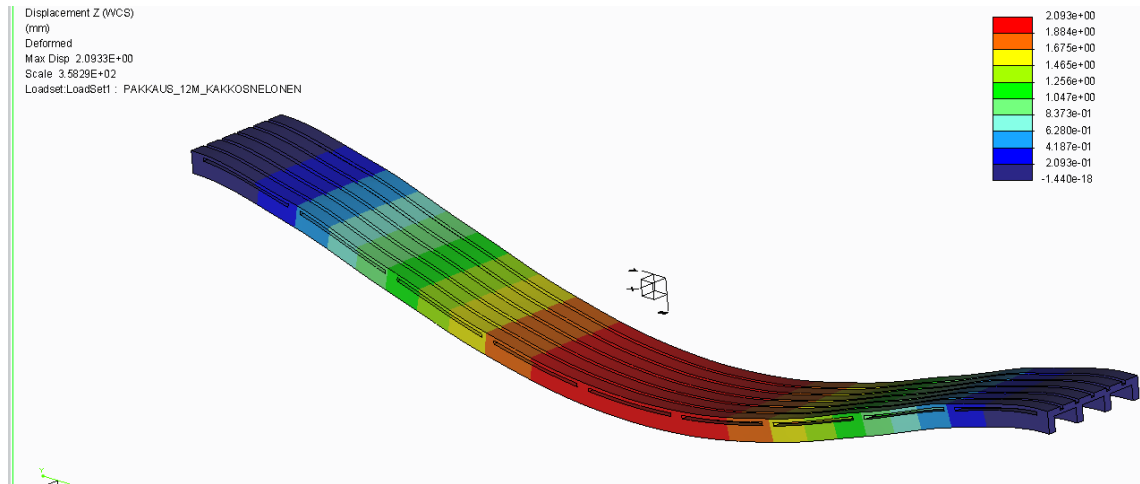
laskennasta liian raskaan. Laskennassa ei myöskään pystytty huomioimaan pakattavista tuotteista aiheutuvaa epätasaista kuormitusta, jonka suuruuteen vaikuttavat tuotteen jäykkyys, paino ja kitka. Kuormittavana voimana on pakkauksen oma massa, joka jakautuu tasaisesti pakkauksen pohjaan. Laskennassa keskitytään pakkauksen pohjan kuormittamiseen, koska pakkauksen yläosa on kaikissa pakkauksissa rakenteeltaan samanlainen ja näin ollen sen vaikutus jäykkyyteen on sama kaikissa pakkausrakenteissa.

Lujuuslaskentaa varten selvitettiin pakkausmateriaalina käytettävän puun materiaalitiedot. Tätä varten otettiin yhteyttä sahatavaran lujuuslajitteluyhdistykseen (SLLY), josta kerrottiin, että pakkauksissa käytettävä sahatavara todennäköisesti täyttää C16-lujuusluokan vaatimukset. Käytetyn lujuusluokitellun puun materiaalitiedot löytyvät SFS-EN 338 standardin taulukosta. (Makkonen 2015.)

#### **4.2.1 Tuenta päädyistä**

Tuenta päädyistä kuvaa tilannetta, jossa pakkaus nostetaan trukilla ilmaan toisesta päädyistä, jolloin pakkauksen toinen pää makaa lattiaa vasten. Tämä on tyypillinen tapa, jolla pakkauksia käsitellään Exel Compositesilla. Creolla mallinnettuna tilanne on todellista pahempi, koska nostettaessa päädyistä pakkaus nojaa enemmän lattiaan, josta se saa lisätukea. Näin pakkaukseen kohdistuvat rasitukset eivät ole niin suuria ja näin ollen pakkaus myös taipuu vähemmän.

Alla esimerkki (kuva 9) kyseisestä tilanteesta, kun pakkaus on valmistettu kakkosnelosista. Rakennetta käytetään tällä hetkellä pitkien ja painavien tuotteiden pakkauksena. Kuvan pakkaus on 7,5 metriä pitkä ja rakenteeltaan todella jäykkä, jossa ei ole heikkoja kohtia, mikä nähdään kuvasta pakkauksen tasaisena taipumana. Suurimmat rasitukset tulevat pakkauksen keskiosaan.



**Kuva 9. Päästä tuetun kakkosnelosista valmistetun pakkauksen taipuma, joka on esitetty korostetusti**

Kyseinen rasiustilanne toteutettiin kaikille pakkauksille. Saadut tulokset koottiin taulukkoon 3, jossa on myös huomioitu pakkauksen hinta, joka on laskettu siihen menevän sahatavaran ja naulojen menekin mukaan. Hinnassa ei ole huomioitu työstä ja materiaalihävikistä syntyviä kustannuksia. Pakkausrakenteiden jäykkyyden vertailun helpottamiseksi kaikki taulukon pakkaukset mallinnettiin 7,5 metriä pitkeksi.

**Taulukko 3. 7,5 metriä pitkien pakkausten taipuma päädyistä tuettaessa**

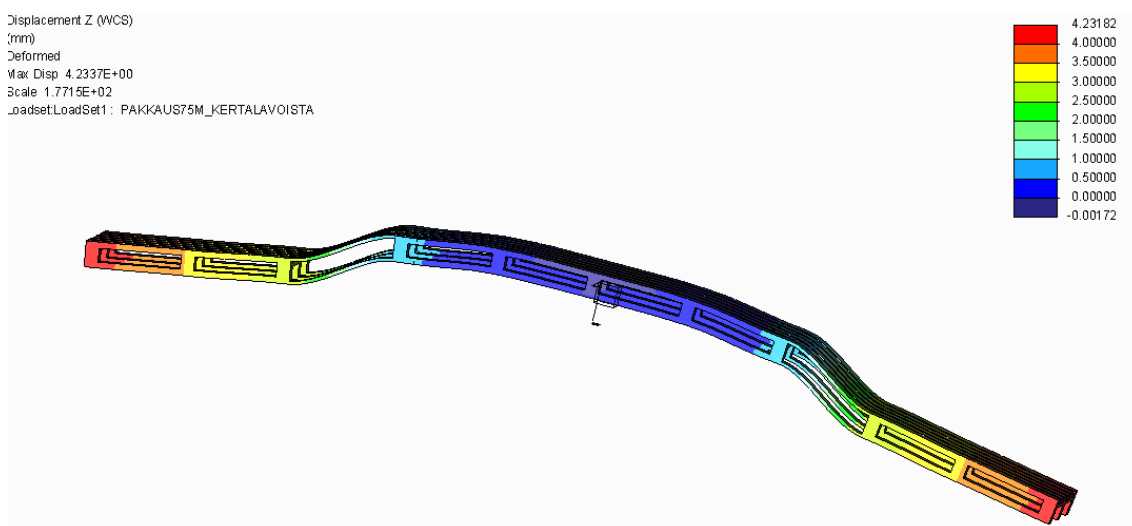
Pakkaustyyppi	Taipuma (mm)	Hinta/pakkaus (€)
Pakkaus kakkosnelosista	2,10	X
Pakkaus 3	2,74	X
Pakkaus kertalavoista	3,00	X
Pakkaus 2	5,93	X
Pakkaus 1	7,49	X

Taulukosta 3 nähdään, että jäykimmät pakkaukset ovat myös materiaalikustannuksiltaan kalleimpia. Tulosten perusteella pakkaus 1 on jäykkyydeltään selvästi heikoin ja kakkosnelosista valmistettava pakkaus jäykin.

## 4.2.2 Tuenta keskeltä

Tuenta keskeltä kuvaa tilannetta, jossa pakkaus nostetaan trukilla sivusta ilmaan. Tämä on yleisin tapa käsitellä pakkauksia.

Kuvassa 10 on esimerkki kyseisestä tilanteesta, kun pakkaus on valmistettu kertalavoista. Pakkaus on 7,5 metriä pitkä ja valmistuksessa on käytetty 1 x 3030 mm ja 2 x 1520 mm kertalavoja, mitkä on yhdistetty toisiinsa 22 x 100 mm laudoilla. Kertalavojen yhteenlaskettu pituus on 6190 mm, jolloin lavojen väliin jää 2 x 715 mm rako. Erityisesti lavojen väliin jäävien rakojen vaikutus pakkauksen kokonaistaipumaan on merkittävä. Suurimmat rasitukset kohdistuvat pakkauksen päihin.



**Kuva 10. Keskeltä tuetun kertalavoista valmistetun pakkauksen taipuma, joka on esitetty korostetusti**

Taulukosta 4 nähdään, että pakkaus 2 on vertailun jäykin. Tulos selittyy sillä, että pakkaus 2 on vahvistettu vain keskeltä, johon myös suurin taivutusmomentti kohdistuu. Keskeltä nostettaessa lautatavaran määrällä pakkauksen päissä jäykkyyden kannalta ei ole niin suurta merkitystä.

**Taulukko 4. 7,5 m pakkausten taipuma keskeltä tuettaessa**

Pakkaustyyppi	Taipuma (mm)	Taipuma tod. (mm)	Hinta/pakkaus (€)
Pakkaus 2	3,67	30	X
Pakkaus kakkosnelosista	3,83		X
Pakkaus 3	3,89		X
Pakkaus kertalavoista	4,23	35	X
Pakkaus 1	7,43		X

Tulosten luotettavuutta tukemaan valmistettiin kaksi testin pakkausta käytännössä, joiden taipumat mitattiin, kun ne nostettiin trukilla keskeltä ilmaan. Tuloksista (taulukko 4) nähdään, että todellisuudessa taipumat ovat moninkertaiset. Pakkausten taipumien välinen suhdeluku pysyy kuitenkin samana, mikä tukee sitä, että tulokset ovat keskenään vertailukelpoisia.

#### 4.2.3 Testitulokset

FEM-ohjelmistolla lasketut taipumat eivät vastanneet todellista tilannetta. Epävarmuutta tuloksiin toi haastava laskenta, jonka vuoksi kaikkia taipumaan vaikuttavia tekijöitä ei pystytty huomioimaan. Erityisesti pakattavan tuotteen painolla ja jäykkyydellä on suuri merkitys pakkauksen taipumaan. Tulokset ovat kuitenkin keskenään vertailukelpoisia, joista saa hyvän kuvan pakkauksen rakenteen ja hinnan vaikutuksesta sen jäykkyyteen. Pakkauksia pitää testata lisää käytännössä, jolloin pystytään näkemään pakattavan tuotteen ja naulaliitosten vaikutukset taipumiin. Käytännön testauksen kautta pakkauksille saadaan määritettyä myös maksimipaino/pakkaus, jonka rakenne kestää.

Tulosten pohjalta voidaan todeta, että pakkaus 1 ei sovellu pitkien tuotteiden pakkaukseksi. Lyhyiden ja kevyiden tuotteiden pakkauksena pakkaus 1 voisi toimia. Vaikka jäykkyydeltään pakkaus 1 häviää selvästi kertalavoista valmistettavalle pakkaukselle, on se hinnaltaan huomattavasti edullisempi, jonka takia sen käyttöönottoa kannattaa harkita.

Pakkaus 2:n tulokset oli lupaavia. Keskeltä nostettaessa pakkaus 2 oli vertailun jäykin. Päädyistä nostettaessa pakkaus 2 ja 1 olivat selvästi heikoimmat. Tuennan toteutus ei kuitenkaan vastannut todellista tilannetta, mikä osaltaan saattaa suurentaa pakkausten välisiä jäykkyydellisiä eroja. Pakkaus 2 oli tarkoitettu keskipitkille 5,1–8 m pitkille tuotteille, johon se myös tulosten pohjalta näyttäisi soveltuvan. Kuten pakkaus 1 on myös pakkaus 2 hinnaltaan selvästi edullisempi, kuin vastaava kertalavoista valmistettava pakkaus.

Pakkaus 3 oli tarkoitettu pitkien ja painavien tuotteiden pakkaukseksi, joka korvaisi käytössä olevat kertalavoista ja kakkosnelosista valmistettavat pakkaukset. Vertailussa pakkaus 3 oli rakenteeltaan jäykempi ja hinnaltaan edullisempi kuin kertalavoista valmistettu pakkaus. Tulosten perusteella kertalavoista valmistetut pakkaukset voidaan korvata pakkaus 3:lla. Kakkosnelosista valmistettu pakkaus oli selvästi vertailun jäykin pakkaus ja hinnaltaan lähes samoissa pakkaus 3:n kanssa. Tästä voidaan päätellä, että jatkossakin on järkevintä pakata kaikkein vaativimmat tuotteet kakkosnelosista valmistettuun pakkaukseen.

Huomioitavaa oli myös, että kertalavoista valmistettu pakkaus oli kustannuksiltaan selvästi kallein. Jäykkyydeltään pakkaus oli kuitenkin vain keskiverto, joka selittyy lavojen väliin jäävillä raoilla, joilla on jäykkyyteen selvästi heikentävä vaikutus.

## 5 Pakkausten mitoitusohjelma

### 5.1 Ohjelman toimintojen määrittäminen

Ohjelma laskee pakkauksen ulkomitat, painon, siihen tulevien profiilien määrän, pakkauksen hinnan, lautatavaran menekin sekä pakkausten lukumäärän. Ohjelman lähtötiedoiksi tarvitaan profiilin muoto, ulkomitat, metripaino sekä tilauksen suuruus. Ohjelma yksilöi ja hinnoittelee lautatavaran ja muun materiaalimenekin pakkauskohtaisesti ja luo niistä osaluettelon. Hinnassa ohjelma ei huomioi työstä koituvia kuluja ja pakkauksen suljentaan käytettäviä kelmuja ja vanteita. Ohjelma ilmoittaa tarvittavat mitat, joiden perusteella pakkaus pystytään valmistamaan. Ohjelmasta löytyy myös valmistus- ja suljentaohjeet jokaiselle pakkaustyypille.

### 5.2 Ohjelman toiminta pääpiirteittäin

Pakkausten mitoitusohjelma on toteutettu aiempien suunnitelmien pohjalle. Rakenteeltaan ohjelma koostuu välilehdistä (kuva 11). Laskuri-välilehteen käyttäjä kirjaa lähtötiedot. Pakkauksen mitat-välilehdestä löytyy pakkauksen valmistuksen kannalta kaikki tarvittavat tiedot. Aputaulukot-välilehdessä on laskennan kannalta tärkeitä mitta- ja hintataulukkoita. Pakkaus-välilehdistä löytyvät pakkausten rakennekuvat ja osaluettelot. Pakkausten valmistusohjeet-välilehdestä löytyvät yksityiskohtaiset ohjeet pakkausten valmistamiseen.

Laskuri	Pakkauksen mitat	Aputaulukot	Pakkaus 1	Pakkaus 2	Pakkaus 3	Pakkausten valmistusohjeet
---------	------------------	-------------	-----------	-----------	-----------	----------------------------

**Kuva 11. Pakkausten mitoitusohjelman rakenne**

Laskenta perustuu taulukkoon 5, joka antaa pakkaukselle raja-arvot. Taulukko löytyy aputaulukot-välilehden alta. Pakattavan profiilin pituuden perusteella ohjelma valitsee taulukosta pakkauksen maksimikorkeuden ja siihen sallitun



maksimimassan. Jos profiilien yhteenlaskettu paino tai korkeus ylittää pakkaukselle sallitut raja-arvot, jakaa ohjelma tilauksen useampaan pakkaukseen. Maksimikorkeuden pystyy määrittämään myös käyttäjä itse. Taulukko on säädettävissä.

**Taulukko 5. Pakkauksen raja-arvot**

<b>Pakkausten jaottelu ryhmiin massan ja korkeuden perusteella:</b>				
<b>Raja-arvo</b>	<b>Max korkeus [mm]</b>	<b>Tuotteen max pituus l [mm]</b>	<b>Max massa [kg]</b>	
<b>1</b>	1150	4000	700	
<b>2</b>	1150	6000	900	
<b>3</b>	1150	8000	1500	
<b>4</b>	1150	15000	2000	

Tarkastellaan ohjelman toimintaa esimerkin (kuva 12) kautta, jossa ohjelma mitoittaa pakkauksen 7000 mm pitkille putkille, joiden halkaisija on 174 mm. Keltaisella pohjalla oleviin soluihin ohjelman käyttäjä täyttää pyydetyt tiedot, joita ovat tuotteen mitat, metripaino ja tilauksen suuruus. Ohjelmassa on kolme eri toimintoa, joiden avulla pakkaus ja siihen tulevan tavaran määrä voidaan mitoittaa:

1. Pakkauksen leveyden mukaan: leveyden muuttuessa korkeus muuttuu samassa suhteessa.
2. Pakkauksen leveyden ja korkeuden mukaan: käyttäjä määrittää pakkauksen leveyden ja korkeuden.
3. Pakkauksen leveyden ja sallitun maksimipainon mukaan: ohjelma jakaa pakattavat tuotteet pakkaukseen sallitun maksimipainon perusteella.

<b>Lähtötiedot</b>		<b>Profiilin tiedot</b>		<b>Mitoitus pinta-alan mukaan</b>		<b>Mitoitus massan mukaan</b>	
Tuotteen pituus [mm]	7000	Pyöreä poikkileikkaus		Pyöreä poikkileikkaus		Pyöreä poikkileikkaus	
Tuotteen metripaino [kg/m]	6,5	Ulkohalkaisija [mm]	174	Tuotetta/pakkaus [kpl]	20	Tuotetta/pakkaus [kpl]	0
Tilauksen suuruus [kpl]	72	Täyttyvyyskerroin	0,734533	Profiilien paino/pakkaus [kg]	910	Profiilien paino pakkauksessa [kg]	0
Pakkauksen leveys (sisä) [mm] <b>Säädetty tarvittaessa</b>	730	Täyttyminen	OK	Pakkauksia [kpl]	3,60	Pakkauksia [kpl]	0,00
Pakkauksen korkeus (ulko) [mm]	0			Pakkauksen korkeus [mm]	1126	Korkeus [mm]	0
<b>Pakkauksen lisäsuojaus</b>				OK			
<input checked="" type="checkbox"/> Pakkaus verhotaan vanerilla	TOSI	<b>Suorakaide poikkileikkaus **</b>		<b>Suorakaide poikkileikkaus **</b>		<b>Suorakaide poikkileikkaus **</b>	
<input type="checkbox"/> Pakkaus verhotaan laudalla	EPÄTOSI	Leveys [mm]	0	Tuotetta/pakkaus [kpl]	#JAKO/0!	Tuotetta/pakkaus [kpl]	0
<b>Pakkauksen raja-arvot</b>		Korkeus [mm]	0	Profiilien paino/pakkaus [kg]	0	Profiilien paino pakkauksessa [kg]	0
Pakkauksen maks sallittu massa [kg]	1500	Täyttyminen	OK	Pakkauksia [kpl]	#JAKO/0!	Pakkauksia [kpl]	0,00
Pakkauksen maks sallittu korkeus [mm]	1150			Pakkauksen korkeus [mm]	#JAKO/0!	Korkeus [mm]	0
				OK			

**Kuva 12. Pakkausten mitoitusohjelman yleisnäkymä**

Esimerkissä pakkaus mitoitetaan pakkauksen leveysmitan perusteella ja verhotaan vanerilla. Putken halkaisijan perusteella ohjelma hakee

täyttyvyyskertoimen, jolla saadaan laskettua profiilien määrä pakkauksessa. Ohjelma tarkistaa täyttykö pakkaus tehokkaasti ja ilmoittaa "OK", jos tyhjää tilaa jää pakkaukseen vähän.

Profiilin muodolla on suuri merkitys siihen, kuinka monta profiilia pakkaukseen saadaan mahtumaan ja kuinka korkea pakkauksesta tulee. Tätä varten profiilit jaettiin kahteen ryhmään: poikkileikkaukseltaan pyöreisiin ja suorakaiteen muotoisiin profiileihin. Laskennallisesti suorakaiteen muotoisten profiilien lukumäärän määrittäminen pakkauksessa oli helpompaa. Kyseisten profiilien määrä pakkauksessa saadaan, kun tiedetään profiilin leveys ja korkeus. Suorakaiteen muotoisiksi profiileiksi voidaan ajatella esimerkiksi I-, C- ja U-profiilit sekä tilanteet, joissa kerrosten väliin asetetaan puurimat. Putkien ja pyöreiden tankojen määrän laskeminen pakkauksessa oli haasteellisempaa, koska pakattaessa ne asettuvat limittäin toisiinsa nähden. Tätä varten luotiin täyttyvyyskerroin, joka ilmaisee, kuinka monta prosenttia pakkauksen poikkipinta-alasta on täytetty profiililla. Täyttyvyyskertoimen avulla laskettu profiilien määrä ei ole absoluuttisen tarkka, mutta kuitenkin riittävän tarkka.

Pakkauksen mitat-välilehdessä on taulukko 6, jossa on kootusti pakkauksen tärkeimmät mitat ja tiedot valmistuksen kannalta. Valmistuskuvien ja ohjelman antamien mittojen pohjalta pakkaus pystytään valmistamaan tuotannossa. Tuotteen pituuden perusteella pakkausrakenteeksi valikoitui pakkaus 2.

Taulukko 6. Pakkauksen mitat

<b>Pakkauksen päämitat</b>	
Pakkausrakenne	2
Pohjan pituus (sisämitta) [mm]	7020
Korkeus (ulkomitta) [mm]	1126
Leveys (sisämitta) [mm]	730
<b>Muuta</b>	
Kokonaispaino (pakkaus + profiilit) [kg]	1155
Pakkauksen hinta [€]	X
Tuotetta/pakkaus	20
Tarvittava määrä pakkauksia [kpl]	3,60
Lavaelementtejä [kpl]	9
Pakkauksen lisäsuojaus lauta/vaneri	Vaneri

Ohjelmaa testattiin myös käytännössä. Erityisesti laskennan tarkkuus profiilien kappalemäärän suhteen pakkauksessa kiinnosti. Testaus toteutettiin pakkauksilla, joiden ulkomitat ja profiilien määrä pakkauksessa tiedettiin. Saadut tulokset olivat lähellä todellista tilannetta.

## 6 Tulokset

Selvityksen perusteella pakkausprosessin suurin kehityskohde olivat pakkaukset, jotka valmistettiin kertalavoja yhdistelemällä. Menetelmänä pakkausten valmistus oli nopeaa, mutta materiaalikustannuksiltaan kallista. Kertalavoja ei myöskään ollut suunniteltu kyseiseen käyttötarkoitukseen, vaan jokainen kertalava oli mitoitettu jollekin tuotteelle, jonka pakkauksen pohjana se toimi. Ongelmaksi koettiin myös pakkausten työläs mitoittaminen, mikä tähän asti on tehty käsin.

Lopputuloksena saatiin kolme eri jäykkyyksistä pakkausta, jotka on suunniteltu siten, että ne kattavat koko tuotannon. Suunnittelussa pyrittiin huomioimaan pakkausten helppo valmistettavuus ja edullisuus, joissa myös onnistuttiin. Nykyisten ja suunniteltujen pakkausten jäykkyyksiä vertailtiin Creo:n FEM-ohjelmistolla. Tulokset olivat lupaavia ja suunniteltujen pakkausten käyttöönottoa kannattaa harkita. Pakkausten käyttöönotto kokonaisuudessaan vaatii kuitenkin enemmän käytännön testausta. Erityisesti pakkaus 3:n soveltuvuus pitkien ja painavien tuotteiden pakkauksena kannattaa selvittää. Todennäköistä on, että kakkosnelosista valmistettavat pakkaukset soveltuvat paremmin kyseiseen käyttötarkoitukseen.

Laskentaohjelma toteutettiin suunnitelmien pohjalle. Ohjelma laskee pakkauksen mitat, tavaran määrän, hinnan ja painon. Ohjelmasta löytyy myös pakkausten valmistusohjeet ja osaluettelot. Valmistuskuvien ja ohjelman ilmoittamien mittojen perusteella lavantekijä pystyy valmistamaan pakkauksen tuotannossa. On todennäköistä, että ohjelman suunnitteluvaiheessa ei pystytty huomioimaan kaikkia mitoittamiseen vaikuttavia seikkoja ja erikoistapauksia. Ohjelma vaatiikin hienosäätöä, joka pystytään tekemään ainoastaan käytännön testauksessa ilmenevien ongelmien kautta. Pakkausten raja-arvot painon suhteen on ainakin syytä selvittää ja päivittää mitoitusohjelmaan.

## 7 Pohdinta

Opinnäytetyön toimeksiantaja oli Exel Composites Oyj. Työn tarkoituksena oli selvittää nykyisen pakkausprosessin kehityskohteet, joiden pohjalta tehtiin parannusehdotukset käytettyihin pakkausmateriaaleihin, pakkauksiin ja valmistusmenetelmiin. Parannusehdotusten pohjalle suunniteltiin pakkausten mitoitusohjelma. Työn teoriaperustana käytettiin aihepiirin kirjallisuutta ja haastatteluja.

Haasteellisin osuus työssä oli pakkausten lujuusopillinen tarkastelu, johon saatiin kuitenkin riittävästi apua opinnäytetyön ohjaajalta. Laskennoissa ei pystytty huomioimaan kaikkia pakkauksen taipumaan vaikuttavia tekijöitä, jonka vuoksi saadut tulokset eivät vastanneet todellista tilannetta. Tulokset ovat kuitenkin vertailukelpoisia keskenään ja niistä nähdään rakenteiden erot jäykkyydessä. Työn alussa tavoitteena oli, että ohjelma laskee pakattavasta tavarasta pakkaukseen kohdistuvan kuormituksen, jota kautta pystytään määrittämään pakkauksen taipuma. Tätä ominaisuutta ei kuitenkaan pystytty liittämään osaksi ohjelmaa laskennan haastavuuden vuoksi.

Pakkauksen taipuman liittäminen osaksi ohjelmaa voisi olla hyvä jatkotutkimuksen aihe. Laskennassa huomioitaisiin naulaliitokset, pakattavan tavarän jäykkyys ja pakkauksen rakenne. Taipuman liittäminen osaksi ohjelmaa olisi hyvä lisä, koska siitä nähtäisiin pakattavan tavarän vaikutus pakkauksen kokonaistaipumaan, jonka pohjalta pakkauksen jäykkyyttä voitaisiin säätää tarpeen mukaan. Näin pakkauksen jäykkyys saataisiin säädettyä aina optimaaliseksi, mikä vähentäisi virhepakkausten määrää ja tehostaisi tuotantoa.

Olin Exel Composites Oyj:llä töissä viime kesänä, mikä osaltaan auttoi opinnäytetyön aiheeseen perehtymistä. Oppimisen kannalta työ oli haastava ja mielenkiintoinen. Aihe oli minulle hyvä, koska opinnäytetyö piti sisällään paljon suunnittelua, joka tuki hyvin mekaniikkasuunnittelun opintojani. Exel

Compositesillä pääsin tekemään paljon yhteistyötä useiden eri tahojen kanssa, joka on olennainen osa insinöörin työnkuvaa. Työtä tehdessäni opin paljon uutta suunnittelusta sekä opin käyttämään Excel-ohjelmaa.

Suunnitellut pakkaukset, pakkausmenetelmät ja pakkausten mitoitusohjelma on tarkoitus ottaa käyttöön tulevaisuudessa. Opinnäytetyössä tehtyjen parannusehdotusten käyttöönotto tehostaa yrityksen pakkausprosessia ja tuo säästöjä materiaalikustannuksiin. Tulevaisuutta ajatellen pakkausten laskentaohjelma on hyvä apuväline, joka nopeuttaa pakkausten mitoittamista. Kokonaisuudessaan työn lopputulos oli onnistunut ja sille asetetut tavoitteet saavutettiin.

## Lähteet

Etra Oy. 2012. PET-vanteet. <http://tuotteet.etra.fi/fi/g2225632/pet-vanteet>.  
15.12.2014.

Exel Composites Oyj. 2009. Yritys. <http://www.exelcomposites.com/en-us/english/home.aspx>. 19.3.2015.

Finnish – German Comptence network. Kuljetuspakkaus. 2014.  
<http://hui01.bh.spt.fi/samk/vl.nsf/0/ABF97D4CC799A1A7C225736E004BB3D0>. 23.11.2014.

Hälinen, A. Varastopäällikkö. Exel Composites Oyj. Haastattelu 21.1.2015.

Järvi-Kääriäinen, T. & Leppänen-Turkula, A. 2002. Pakkaaminen – perustiedot pakkauksista ja pakkaamisesta.

Karjalainen, L., Ramsland, T. 1992. Pakkaus – pakkausalan perusoppikirja. Helsinki: Pakkausteknologiaryhmä r.y.

Karjalainen, L. 1982. Pakkaus. Rauma: OY Länsi-Suomi.

Koskinen, J. Tehtaanjohtaja. Exel Composites Oyj. Haastattelu 10.12.2014.

Makkonen, O. Toiminnanjohtaja. Sahatavaran lujuuslajitteluyhdistys ry. Sahatavaran lujuusluokittelu. Yksityinen sähköposti. Vastaanottaja: Teemu Hiltunen. Lähetetty 23.1.2015.

Muovimuotoilu. 2014. Valtamuovit.  
<http://www.muovimuotoilu.fi/content/view/32/63/>. 23.11.2014.

Opetushallitus. 2010. Elintarvikkeiden pakkaaminen – pakkausmateriaalit.  
<http://www04.edu.fi/elintarvikkeidenpakkaaminen/materiaali.shtml>.  
23.10.2014.

OR group. 2009. FIN-lava ja EUR-lava.  
[http://www.orgroup.fi/gallery/main.php?g2\\_itemId=2141](http://www.orgroup.fi/gallery/main.php?g2_itemId=2141). 22.11.2014.

Oy Genetrade Wood Products Ab. 2014. Genetraden OSB-levyt. <http://www.genetrade.net/?k=15946>. 16.12.2014.

Oy Kartro AB. 2009. Puukiinnitys 2009. <http://www.kartro.fi/pdf/paslode-duo-fast-spit-puukiinnitys2009.pdf>. 29.10.2014.

Oy Kartro AB. 2014. Naulaopas. <http://www.kartro.fi/pdf/s08-naulaopas.pdf>.  
29.10.2014.

Oy Marine Container Yard AB. 2014. Konttien standardimitat.  
<http://www.mcy.fi/konttien-mitat/> 20.11.2014.

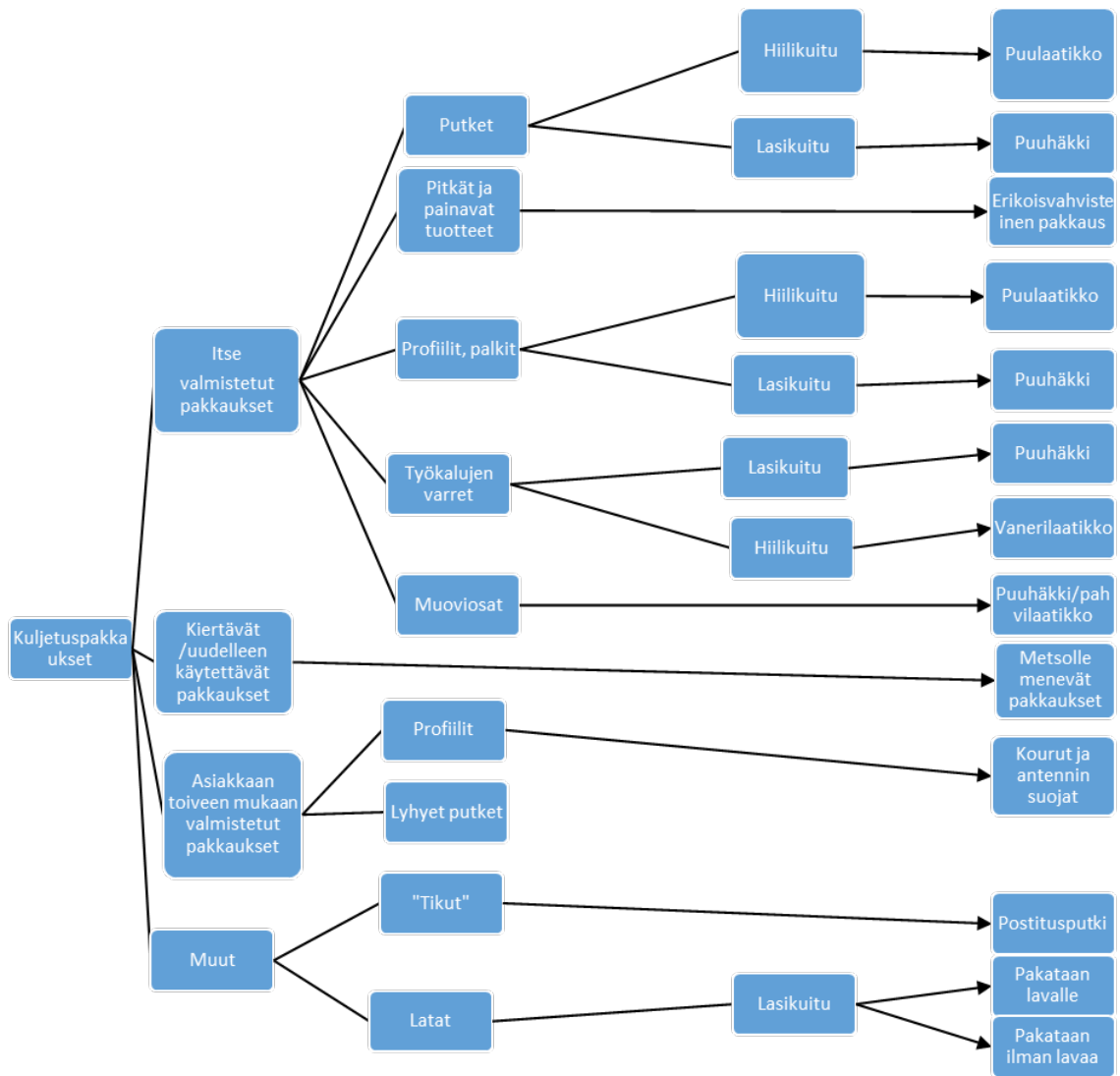
Ritvanen, R., Inkiläinen, A., Von Bell, A., Santala, J. 2011. Logistiikan ja toimitusketjun hallinnan perusteet. Saarijärvi. Saarijärven Offset OY.

Suomen standardisoimisliitto SFS RY. Pakkaukset. Terminologia. Perustermit ja määritelmät. <http://sales.sfs.fi/sfs/servlets/ProductServlet?action=productInfo&productID=155352>. 8.12.2014.

Transport information service. 2014. Containers. [http://www.tis-gdv.de/tis\\_e/containe/inhalt1.htm](http://www.tis-gdv.de/tis_e/containe/inhalt1.htm) 20.11.2014.

Varis, P. Tuotantotyöntekijä. Exel Composites Oyj. Haastattelu. 15.12.2014.





Exel Composites Oyj:n kuljetuspakkausten jaottelu