KAKSITOIMISEN LÄMPÖMUOVAUSYKSIKÖN PROTOTYYPIN MEKAANINEN SUUNNITTELU

MECHANICAL PROTOTYPE DESING OF TWO FUNCTION THERMOFORMING UNIT

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

Konetekniikan kandidaatintyö

2024

Tekijä: Elias Peltola

Tarkastaja: Associate Professor (Tenure Track), TkT Ville Leminen

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

LUTin energiajärjestelmien tiedekunta

Konetekniikka

Elias Peltola

Kaksitoimisen lämpömuovausyksikön prototyypin mekaaninen suunnittelu

Konetekniikan kandidaatintyö

2024

25 sivua, 9 kuvaa, 1 taulukko ja 4 liitettä

Tarkastaja: Associate Professor (Tenure Track), TkT Ville Leminen

Avainsanat: Nestemuovaus, mekaaninen muovaus, luonnonkuitu, kuitumateriaalit, kartongin muovaus, pakkaustekniikka

EU:n tavoitteena on vähentää muovin käyttöä pakkauksissa. Eräs tapa tähän on siirtyä käyttämään kuitupohjaisia materiaaleja muovien sijaan. Kuitupojaisten materiaalien muovauksessa on ilmennyt laatuongelmia, kun käytetään yleisimpiä eri muoveilla käytettäviä muovaustapoja. Tässä työssä suunnitellaan prototyyppi, johon on yhdistetty nestemuovausyksikkö sekä mäntätoiminen painin. Yhdistetyllä muovausprosessilla on tarkoitus vähentää muovauksessa syntyviä laatuvirheitä, kuten repeilyä.

Pelkkä prototyyppi ei kuitenkaan riitä vastaamaan tutkimuksen tavoitteisiin. Tutkimusta tulisi jatkaa valmistamalla prototyyppi sekä tutkia eri kuitumateriaalien muovautumista kaksitoimisella muovausmenetelmällä ja saavutetaanko prototyypillä tavoiteltu lopputulos.

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

ABS	Akryylibutadieenistyreeni
PC	Polykarbonaatti
PP	Polypropeeni
PS	Polystyreeni
PVC	Polyvinyylikloridi
EPDM	Eteenipropeenikumi

Sisällysluettelo

Tiivistelmä

Symboli- ja lyhenneluettelo

1 JOHDANTO 5

1.1 Työn tausta 5

1.2 Työn rajaus 5

2 MUOVAUSMENETELMÄT SEKÄ MATERIAALIT 7

2.1 Nykyiset yleisimmin käytetyt lämpömuovausprosessit 7

2.2 Nestemuovaus 8

2.3 Lämpömuovauksessa käytettävät muovimateriaalit 8

2.4 Lämpömuovauksessä käytettävät luonnonmateriaalit 8

3 TUTKIMUSMENETELMÄT 10

3.1 Tutkimuksen kehittyminen 10

3.2 Prosessin toimintaperiaatteiden luonnokset 10

3.3 Luonnokset 3D-ympäristössä 12

3.4 Viimeinen luonnos 14

4 TULOKSET JA POHDINTA 15

4.1 Materiaalivalinnat 15

4.2 Prototyypin toimintaperiaate 15

4.3 Toimintaperiaate sekä valmistuskuvat valmiina. 18

4.4 Jatkokehitys sekä -tutkimus 18

5 YHTEENVETO 19

LÄHTEET 20

Liitteet

Liite 1. Muottipakan kiinnityslevy

Liite 2. Painin

Liite 3. Kumimembraanin ohjauslevy

Liite 4. Kumimembraanin kiinnityslevy

1 Johdanto

Tämän tutkimuksen tavoitteena on suunnitella kaksitoiminen lämpömuovausyksikkö kuitupohjaisista materiaaleista valmistettavien pakkausten muovaukseen yhdistämällä kaksi yleistä kuitujen lämpömuovaustapaa yhdeksi prosessiksi. Alipainemuovaukseen yhdistetään mäntätoiminen hydroformaus eli nestemuovaus. Tavoitteena olisi saada toimiva prosessi, jossa muovaus tapahtuisi joustavasti ja vältettäisiin yleisimpiä valmistusvirheitä, joita perinteisistä kartongin muovaustavoista seuraa, kuten muovattavan materiaalin repeytyminen ja vajaa muovautuminen.

EU:n tavoitteena on vähentää muovin käyttöä kuten pakkausmateriaaleja, sekä lisätä muovituotteiden uudelleenkäyttöä ja kierrätettävyyttä (Direktiivi (EU) 2019/904, 2019). Yksi tapa on vaihtaa pakkausmateriaalit ympäristöystävällisemmiksi biohajoaviin, uusiutuviin sekä kierrätettäviin materiaaleihin, kuten esimerkiksi selluloosasta valmistettuihin tuotteisiin. (Zhang et al. 2022).

1.1 Työn tausta

LUT yliopiston pakkaustekniikan laboratoriossa on käytössä lämpömuovausyksikkö, jonka muovausprosessi koostuu alamuotista sekä männällä toimivasta lämmitetystä ylämuotista. Alamuotissa on pieniä reikiä, joista alipaineella poistetaan ylimääräinen ilma. Tällöin muovattavan kappaleen ja muotin väliin ei jää mahdollisia ilmakuplia. Nykyinen prosessi ei sovellu hyvin kuitupohjaisten kartonkipakkausten muovaukseen, koska pahvin materiaaliominaisuudet (joustamattomuus sekä helppo repeytyminen), eivät mahdollista samoja muovaustekniikoita, joita muoveilla voidaan käyttää. (Afshariantorghabeh et al. 2023).

1.2 Työn rajaus

Työssä on tarkoituksena tehdä mekaaninen suunnittelu kaksitoimiselle lämpömuovausprosessille. Yhdistettävinä muovausprosesseina tulisi olla hydroformaus eli nestemuovaus sekä mekaaninen muovaus.

Tutkimuksen lopullinen prosessi, joka tässä kandidaatin tutkielmassa esitellään, ei kuitenkaan ole vielä täydellisesti optimoitu, sillä tuotekehitys on jatkuvaa. Lopullista mallia tai suunnitelmaa ei lähdetä kuitenkaan valmistamaan eikä testaamaan tässä työssä. Tämä tutkimus on täysin teoreettinen

ja pohjautuu 3D-mallien tarkasteluun kuitenkin siten, että prototyyppi on täysin toiminnallinen sekä valmistettavissa ja käyttää mahdollisimman paljon olemassa olevia osia sekä soveltuu olemassa olevaan muovausyksikköön.

2 Muovausmenetelmät sekä materiaalit

Tähän kappaleeseen on koostettu yhteenveto yleisimmistä käytössä olevista muovaustavoista ja pakkausmateriaaleista.

2.1 Nykyiset yleisimmin käytetyt lämpömuovausprosessit

Muovaustapoja on useampia, mutta alla esiteltynä ovat yleisimmin käytetyt muovien sekä kuitupohjaisten materiaalien lämpömuovausprosessit. Jokaisen prosessin ensimmäinen vaihe on muovattavan tuotteen lämmitys siten, että materiaali joustaa ja on muovattavissa. (Tanninen et al. 2014)

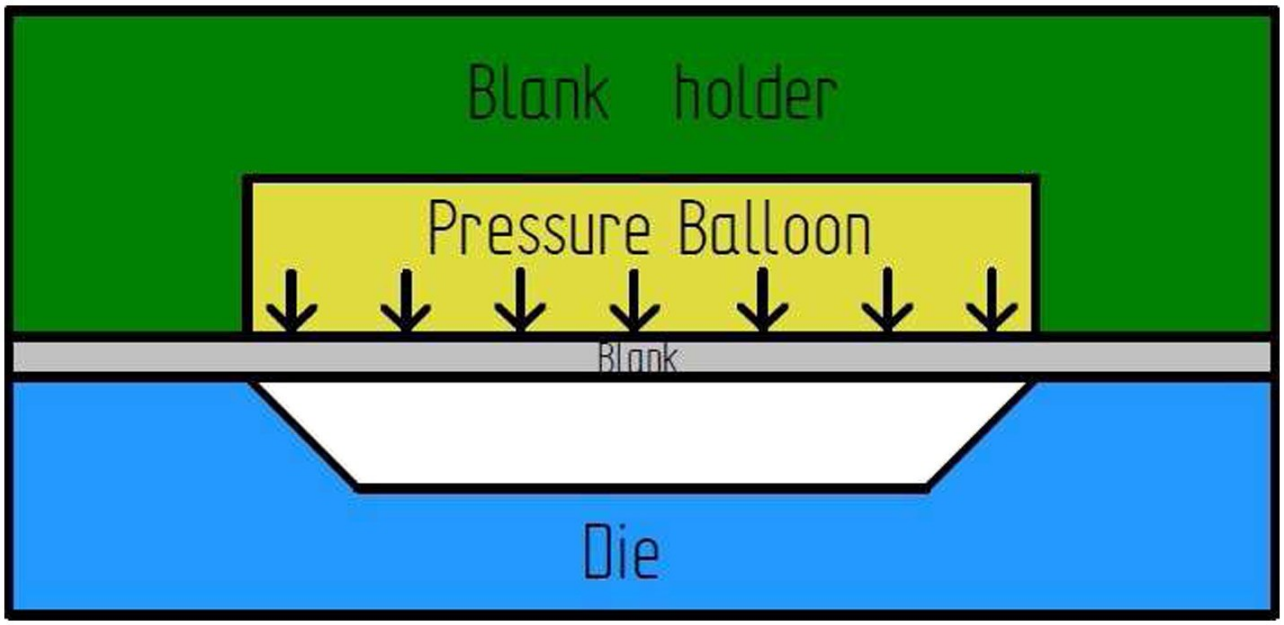
Tyhjiömuovauksessa luodaan muotin sekä muovattavan materiaalin välille alipaine, jolla imetään muovattava tuote muottia vasten, mikä muovaa tuotteen haluttuun muotoon. Tyhjiömuovaus on nopea sekä erittäin kustannustehokas tapa valmistaa pieniä sekä suuria määriä tuotteita, joilla ei ole erityisen tarkkoja vaatimuksia lopulliselle geometrialle. (Schwär & Kauffmann, 2024)

Painemuovauksessa luodaan alipaine muotin sekä muovattavan materiaalin väliin kuten tyhjiömuovauksessa, mutta painemuovauksessa tämän lisäksi muovattavan tuotteen päälle luodaan paine, jolloin paine-ero materiaalin molemmin puolin on huomattavasti suurempi kuin tyhjiömuovauksessa. Painemuovaus on kustannustehokas tapa tuottaa pieniä sekä suuriakin määriä tuotteita. Painemuovauksella päästään tarkempiin geometrisiin toleransseihin verrattuna tyhjiömuovaukseen. (*Guide to thermoforming 2024).*

Mekaanisessa muovauksessa hyödynnetään kahta muottia, uros- sekä naarasmuottia. Urosmuotti painaa muovattavan materiaalin naarasmuottia vasten. Mekaaninen muovaus sopii suurien tuotantomäärien valmistukseen, joilla on tarkat laatuvaatimukset. (Tanninen et al. 2014)

2.2 Nestemuovaus

Nestemuovausyksikkö koostuu yleisesti ottaen kolmesta osasta (kuva 1). Alamuotista, jota vasten lopullinen tuote saavuttaa muotonsa, painepallosta, jonka avulla muovattava materiaali painetaan alamuottia vasten, sekä aihion pitimestä, jonka tarkoituksena on vähentää ryppyyntymistä muovattavassa materiaalissa. (Linvill & Östlund, 2016)



Kuva 1. Nestemuovausyksikön periaatekuva (Linvill & Östlund, 2016)

2.3 Lämpömuovauksessa käytettävät muovimateriaalit

Yleisimmin kotitalouksissa sekä kuluttajalle suunnatuissa lämpömuovatuissa tuotteissa käytetään seuraavia muovilaatuja niiden hyvän muovattavuuden sekä lopputuotteen kestävyyden takia: Akryylibutadieenistyreeni (ABS), Polystyreeni (PS), Polyvinyylikloridi (PVC), Polypropeeni (PP) ja Polykarbonaatti (PC). (Guide to thermoforming 2024).

2.4 Lämpömuovauksessä käytettävät luonnonmateriaalit

Verrattuna muovituotteisiin on kartonki- sekä sellupohjaisia materiaaleja lämpömuovatessa tähdättävä yksinkertaisempiin muotoihin kun taas yleisimmät muovit voi muovata vapaammin monimutkaisiinkin geometrioihin. Suuriin syvyyseroihin on kartonki- ja sellupohjaisilla materiaaleilla oltava mahdollisimman hyvä venymä, sekä materiaalin ja muotin välisen

kitkakertoimen tulisi olla mahdollisimman matala. (Vishtal et al. 2013). Myös muovattavan materiaalin sisältämä kosteus ennen muotin poistoa vaikuttaa muovauksen laatuun. Mitä enemmän kosteutta saadaan poistetuksi materiaalista sen parempi on tuotteen laatu. (Didone & Tosello 2019). Myös kuitujen alkuperällä sekä kuitujen pituuksilla on muovattavuuteen vaikuttavia ominaisuuksia. Kovista puulajeista valmistetut lyhyet kuidut heikentävät muovauksen laatua verrattuna muista puulajeista valmistettuihin kuituihin. (Östlund et al. 2011).

3 Tutkimusmenetelmät

Tässä kappaleessa on esitelty suunnittelun ja luonnostelun vaiheet sekä saadut lopputulokset.

3.1 Tutkimuksen kehittyminen

Työ noudattaa yleisen tuotesuunnittelun kaavaa. Ensimmäisenä luodaan hypoteesi valmiin tuotteen toiminnasta eli mitä tuotteen pitäisi pystyä tekemään. Hypoteesin pohjalta luodaan vaatimuslista, jonka mukaan aloitetaan luonnosten tekeminen. Luonnoksista valittiin muutama jatkokehitykseen, eri ideoista luotiin sitten 3D-malleja. 3D-mallien avulla voidaan havainnollistaa mahdolliset ongelmakohdat sekä hienosäätää tuotteen eri ominaisuuksia.

Taulukko 1. Vaatimuslista (V=vaatimus, T=toivomus).

Vaatimuslista	
Kaksitoiminen, painin + nestemuovaus	**V**
Olemassa olevia työkaluja käytetään	**T**
Muovausyksikkö mahdollista palauttaa takaisin alkuperäiseksi	**V**
Ei repeilyä muovattavassa tuotteessa	**V**

Vaatimuksien taustana on muovauskoneen muun käytön mahdollistaminen, uuden muovausprosessin testaus sekä parannettu valmistusprosessi perinteisiin muovausprosesseihin verrattuna.

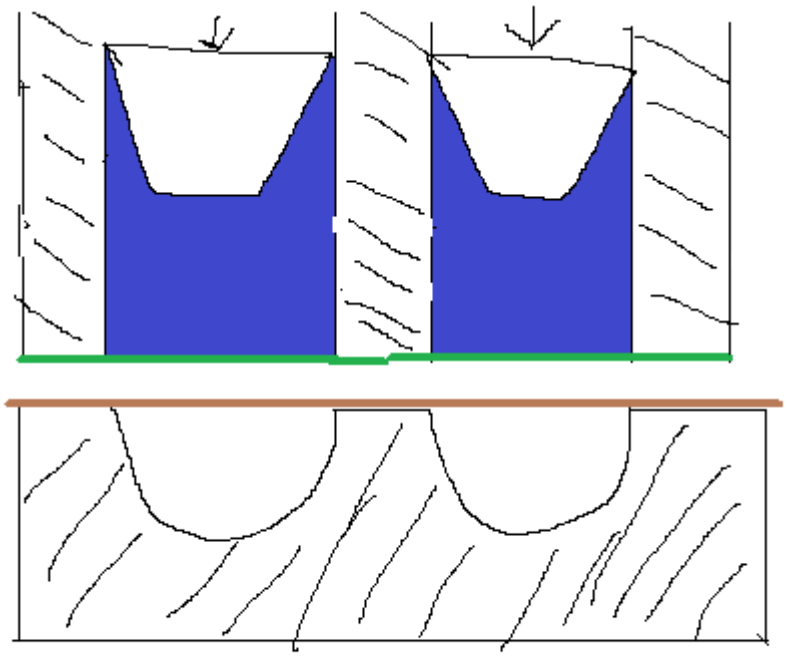
3.2 Prosessin toimintaperiaatteiden luonnokset

Ensimmäisissä luonnoksissa selvitettiin erilaisia päätoimintaperiaatteita, niiden hyviä sekä huonoja puolia. Nestemuovaukseen tarvittava neste olisi suljettu täysin muottien ympärille (kuva 2). Kun muotti painetaan männällä alas niin nesteellä täytetty kumimembraani painuu alamuottia vasten. Etuina tällä prosessille oli se, että nykyisen muovauskoneen lisäksi ei tarvitsisi investoida lisälaitteisiin, ja että neste olisi suljetussa tilassa eikä kiertäisi muissa prosesseissa.

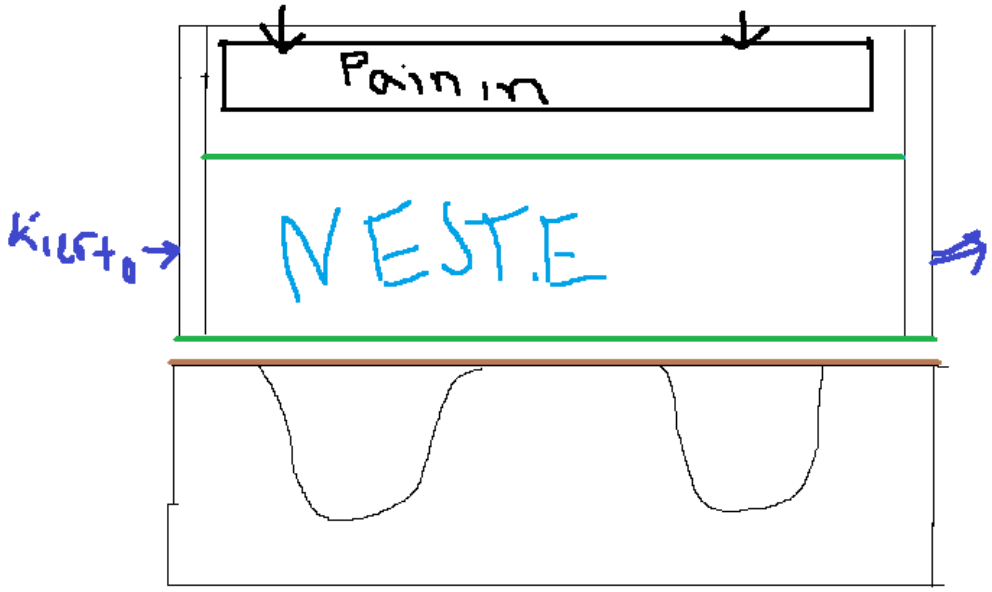
Toisessa luonnoksessa nestemuovaukseen tarvittava paine luotaisiin ulkopuolisella nestekierrolla, eli pumpattaisiin toiselta puolelta nestettä sisään, jolloin membraani painaisi muovattavan kappaleen alamuottia vasten (kuva 3.). Etuina tällä prosessilla olisi nopeus muuttaa nestemuovauksen

nestemäärää sekä nesteen painetta, mikä silloin olisi vaikuttanut muovauksessa käytettyihin parametreihin.

Näistä luonnoksista jatkokehitykseen valittiin ensimmäinen luonnos (kuva 2) eli suljettu nestemuovausyksikkö sekä painin. Ulkopuolinen nestekierto olisi muuttanut nykyistä muovausyksikköä liikaa.



Kuva 2. Luonnos suljetuista nestemuovausyksiköistä



Kuva 3. Luonnos: Avoimessa nestekierrossa oleva nestemuovausyksikkö

3.3 Luonnokset 3D-ympäristössä

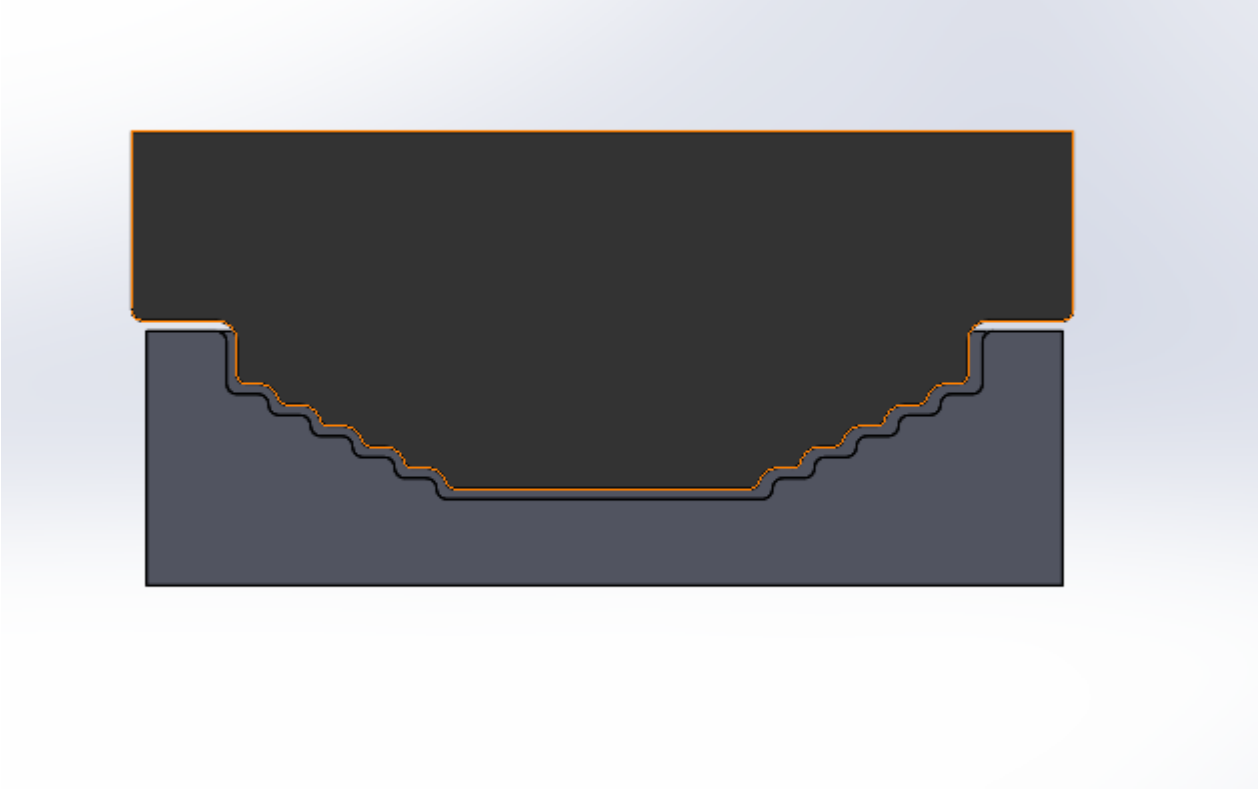
3D-mallinnuksessa käytettiin Solidworks-ohjelmaa ja 2D-valmistuskuvien valmistuksessa käytettiin CADMATIC Mechanic-ohjelmistoa.

Kun prosessin päätoimintaperiaate oli päätetty, aloitettiin luonnosteleminen 3D-ympäristössä. Laadittiin kaksi erilaista ylämuottigeometriaa tarkempaa tarkastelua varten.

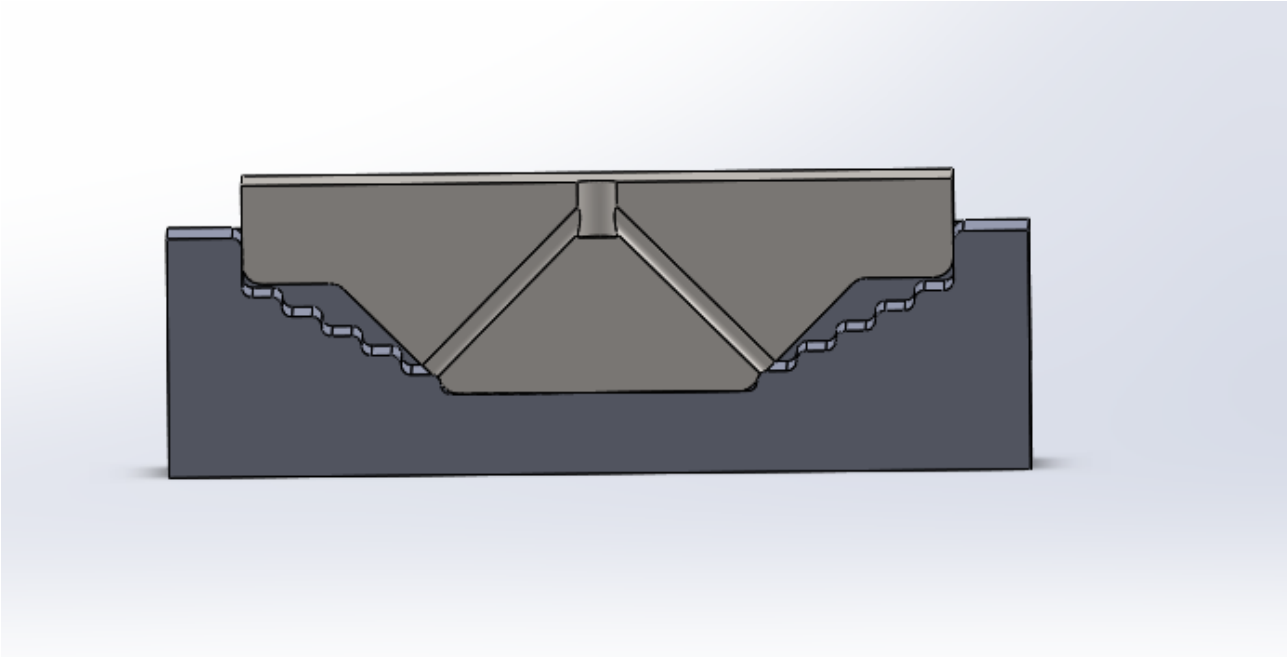
1. Ylämuotti on porrastettu vastaamaan alamuotin porrastuksia siten, että viimeiset muovaukset tapahtuisivat nestemuovauksen avulla (kuva 4.). Hyötynä tästä olisi, että ylämuottia ei tarvitsisi koneistaa uudelleen, vaan voitaisiin hyödyntää jo olemassa olevia muotteja pienin muutoksin.

2. Ylämuotti olisi kosketuksissa vain alamuotin syvimmän kohdan kanssa, kaikki muu muovaus tapahtuisi nestemuovauksen kautta. Muottiin on myös tehty reikiä, jotta neste pääsee ylämuotin sekä kumimembraanin väliin muovauksen kannalta tehokkaasti (kuva 5.).

Jatkokehitykseen valittiin mallinnus 2 (kuva 5), sillä se hyödyntäisi eniten nestemuovausta kuten vaatimuslistalla oli määritetty (Taulukko 1). Jatkokehitystä jatkettiin tekemällä tarkempaa toimintaperiaatekuvaa prosessista.



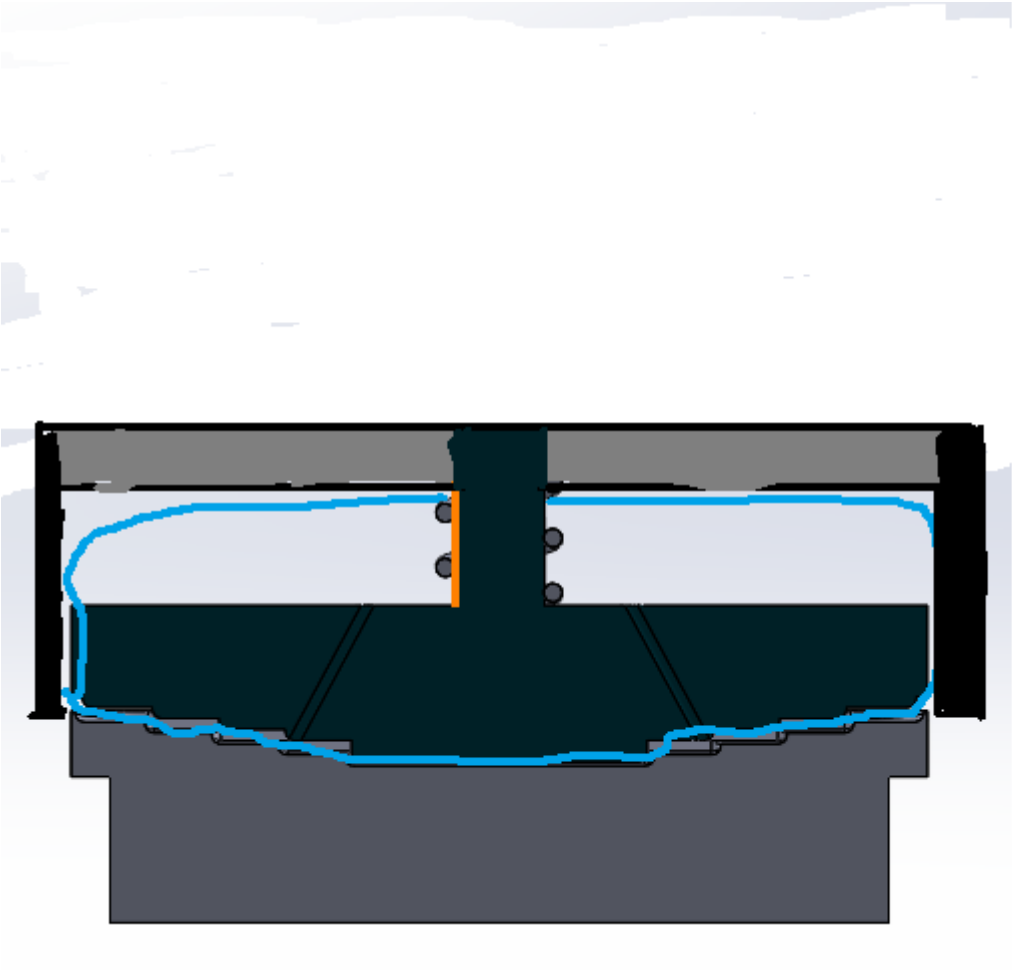
Kuva 4. Luonnos ylämuotin vaihtoehtoiselle geometrialle



Kuva 5. Luonnos vaihtoehtoiselle geometrialle

3.4 Viimeinen luonnos

Kuvassa 6 esitetään jousitoimista ylämuottia, jossa on kumimembraani koko ylämuotin ympärillä. Kumimembraanin sisällä on muovausneste. Ongelmaksi tässä tuli kumimembraanin vaihto sekä sen täyttäminen nesteellä. Muotin geometria pelkistettiin poistamalla ylimääräiset porrastukset, jotta nestemuovauksen aikaansaatu vaikutus muovausasteeseen selviäisi helpommin.



Kuva 6. Leikkauskuva jousitoimisesta kammiosta, jossa suljettu nestemuovauskammio

4 Tulokset ja pohdinta

Tähän kappaleeseen on koottu prototyyppiin valitut materiaalit sekä prototyypin toimintaperiaate.

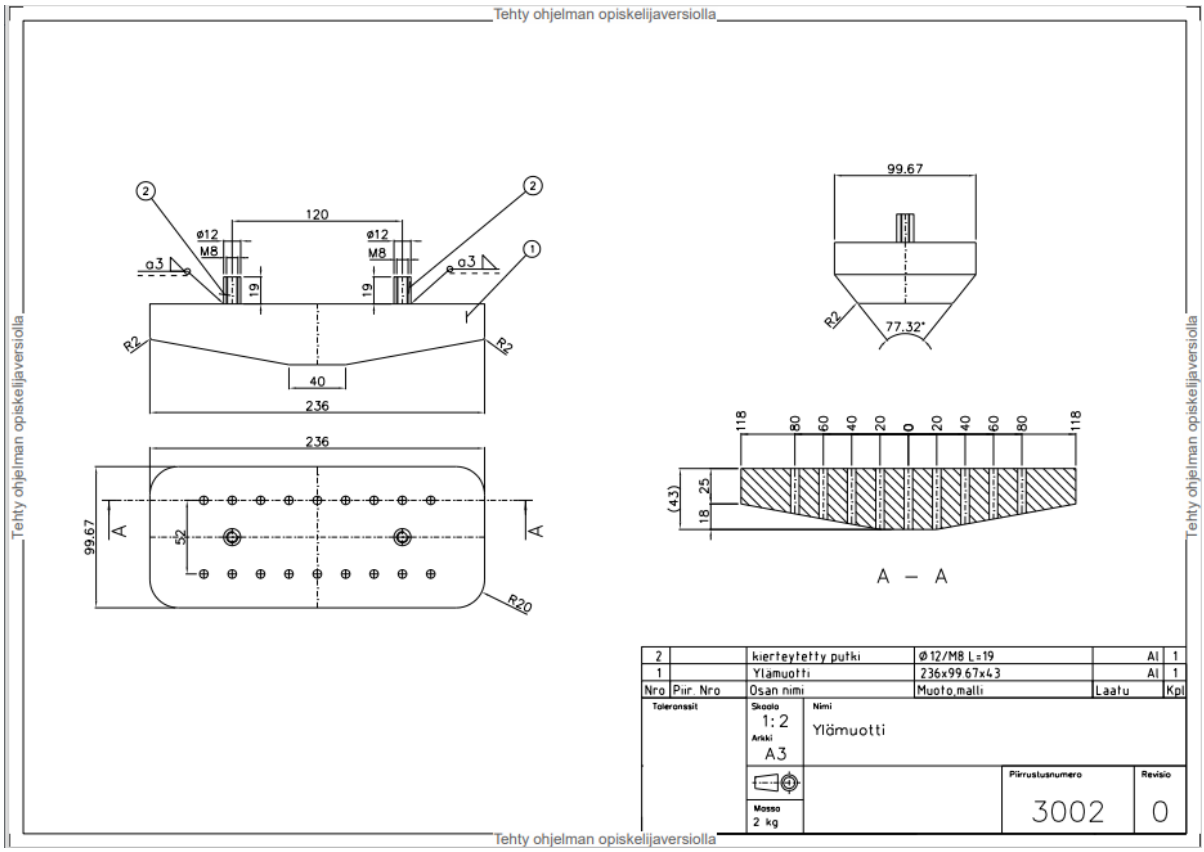
4.1 Materiaalivalinnat

Nykyisessä muovauslaitteessa on käytössä alumiiniset muotit sekä alumiinikehikko, johon muotit kiinnittyvät. Alumiini on hyvä valinta muottien materiaaliksi helpon muovattavuuden, lämmönjohtavuuden sekä korroosiokestävyyden kannalta. Alamuotteina voidaan käyttää jo olemassa olevia muotteja, sillä uusi nestemuovausyksikkö sijoitetaan pelkästään ylämuottiin. Ylämuotin materiaaleina (kehikko sekä muotti) voitaisiin käyttää myös alumiinia helpon muovattavuuden ja hyvän saatavuuden takia. Ylämuotin ympärillä oleva kumimembraani valmistettaisiin EPDM:stä eli eteenipropeenikumista sillä se kestää hyvin lämpöä ja vesipohjaisia kemikaaleja. Sillä myös on sopivat venymisarvot nestemuovaukseen. (Milić et al. 2008)

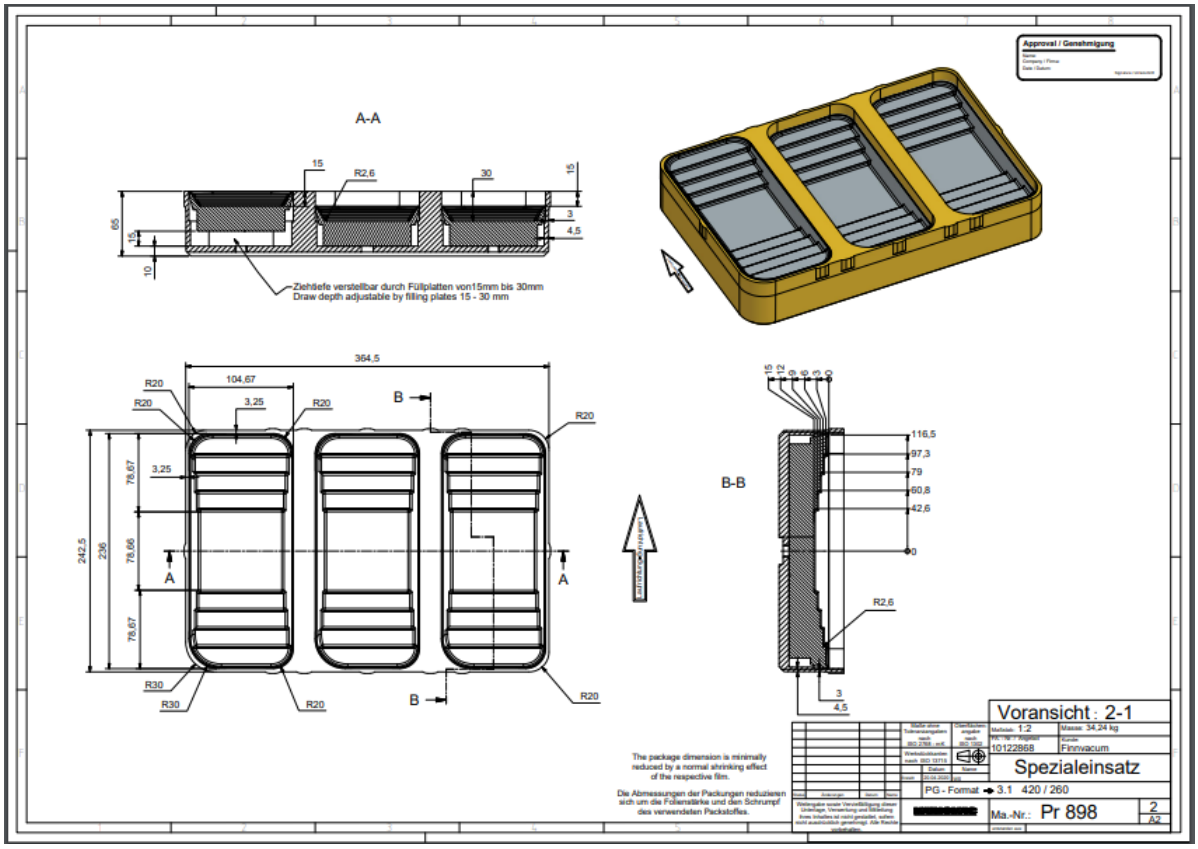
4.2 Prototyypin toimintaperiaate

Ylämuotin toiminta koostuu neljästä päätekijästä:

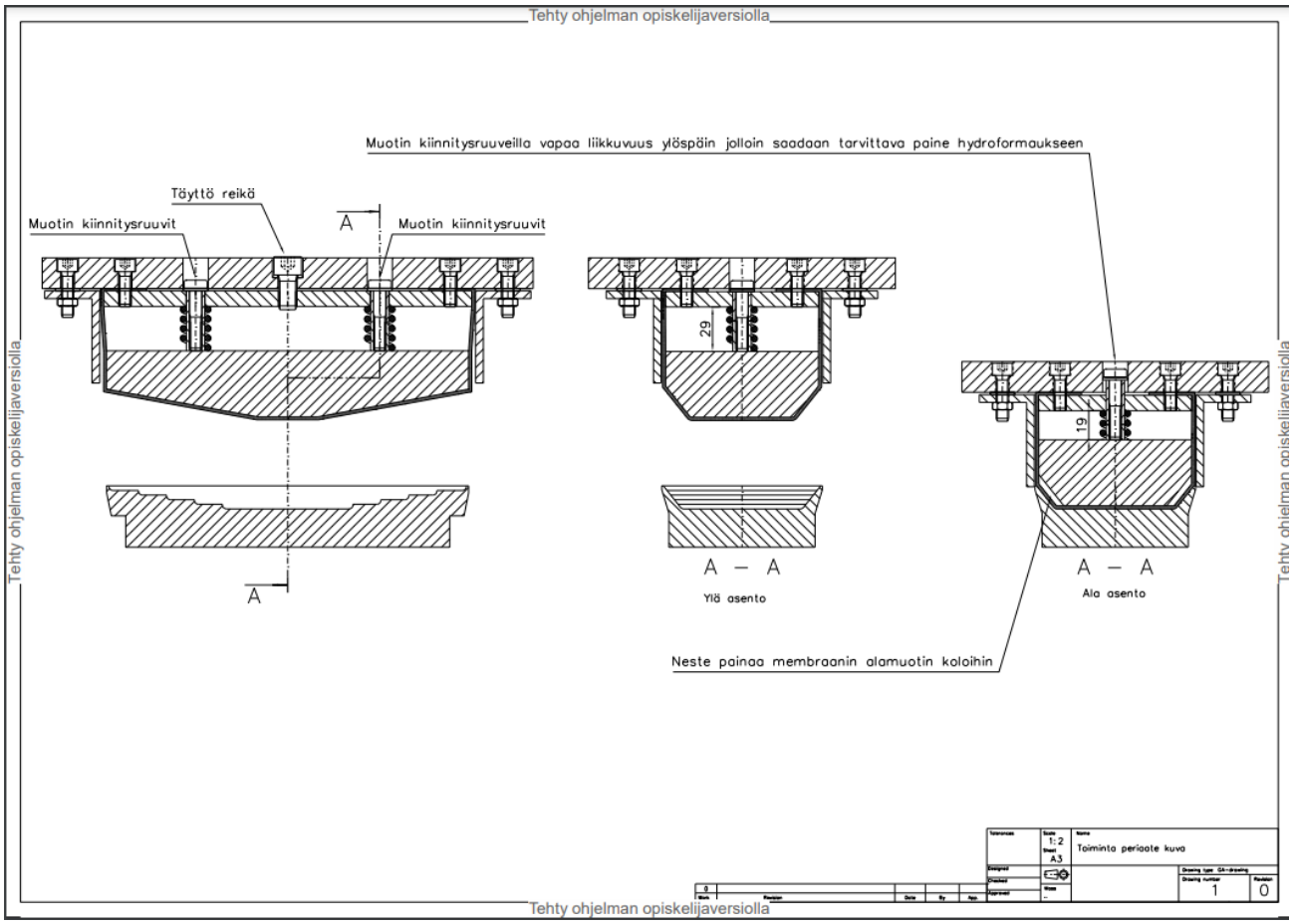
1. Nesteestä, jonka päätarkoituksena on muovata portaittain olevat yksityiskohdat lopulliseen tuotteeseen.
2. Ylämuotista, joka sisältää useita pieniä reikiä, joiden kautta neste pääsee kulkeutumaan ylämuotin sekä kumimembraanin väliin.
3. Kierteytetyt holkit, jotka ovat ylämuotissa mahdollistaen muotin nousemisen muovauksen jälkeen takaisin ylös lähtöasentoonsa. Kiinnityslevyn sekä ylämuotin välissä on kaksi kappaletta jousia, joiden tarkoituksena on estää äkillisiä paineiskuja muovauksen aikana.
4. Kiinnityslevyt, joiden väliin kiinnitetään kumimembraani ja joiden avulla nestemuovausyksikkö kiinnitetään jo valmiina olevaan muovausyksikköön.



Kuva 7. Ylämuotin geometria sekä reikäjako.



Kuva 8. Valmiin alamuotin valmistuspiirros



Kuva 9. Kokoonpanon kuva ylä- sekä ala-asennossa

4.3 Toimintaperiaate sekä valmistuskuvat valmiina.

Kappaleessa 4.2 on kuvattu prototyypin toimintaperiaate sekä valmistuskuvat (kuvat 7, 8 ja 9). Toiminta tarkasteltiin 3D-ympäristössä solidworks ohjelmalla. Vaatimuslistan mukaiset vaatimukset täyttyvät kuitenkaan ottamatta kantaa lopullisen tuotteen muovaukseen tai repeilyyn. Tätä ei voida tarkastella ilman muovausyksiköllä tehtyjä testejä.

4.4 Jatkokehitys sekä -tutkimus

Jatkokehitystä tulisi jatkaa fyysisten testien merkeissä. Oikeiden muovausparametrien löytäminen saattaa kuitenkin olla vaikeata, sillä kuitupohjaisilla materiaaleilla saattaa olla suuriakin eroja muovattavien kappaleiden välillä, niiden erilaisten materiaaliominaisuuksien takia.

Mikäli nestemuovaus todetaan liian monimutkaiseksi prosessiksi, voitaisiin kokeilla vaihtaa ylämuotti täysin kumimembraanista valmistettuun muottiin. Tällä saavutettaisiin miltei sama pehmeä ulottuvuus alamuotin kulmiin kuin nestemuovausprosessilla.

Mikäli vaadittava pakkauksen muoto ei sovellu kartongista tai sellusta valmistettavaksi, voidaan kokeilla erilaisia komposiitteja, esimerkiksi PP-puukuitukomposiitti. (Bhattacharyya et al. 2003). Tällä voitaisiin syrjäyttää osa muovista sekä siirtyä osittain ympäristöystävällisempien materiaalien käyttöön.

Mikäli yhdistetyllä prosessilla onnistutaan muovaamaan virheettömiä kappaleita, tulisi tutkia tarkemmin materiaalin eri ominaisuuksia kuten takaisinjoustoa. (Groche et al. 2012)

Kun on valittu muovattava materiaali ja selvitetty sen materiaalin materiaaliominaisuudet, kannattaa vasta suunnitella lopullinen tuotteen muoto sekä vaadittava muotti, sillä materiaaliominaisuudet ovat yksi suurimpia muovauksen laatuun vaikuttavia tekijöitä. (Afshariantorghabeh et al. 2023)

5 Yhteenveto

Kuitupohjaiset materiaalit ovat nousemassa tärkeäksi raaka-aineeksi tulevaisuudessa, kun tavoitteena on siirtyä ympäristöystävällisempiin pakkauksiin ja lisätä tuotteiden kierrätettävyyttä. Kuitupohjaisten materiaalien muovaus on kuitenkin paljon haastavampaa verrattuna nykyään käytössä oleviin muovista valmistettuihin tuotteisiin. Kuitupohjaisille materiaaleille on sovellettu samoja lämpömuovaustapoja kuin vastaaville muovituotteille, vaikka muotit sekä muovausprosessin arvot eroavat huomattavasti toisistaan. Tässä työssä on suunniteltu lämpömuovausprosessiin mekaanisen muovauksen lisäksi nestemuovaus, jonka tarkoituksena on poistaa tuotteesta mahdolliset laatuvirheet kuten tuotteen repeily, liiallinen oheneminen sekä rypyt.

Työn tavoitteina oli suunnitella kaksitoiminen muovausprosessi, joka hyödyntää paininta sekä nestemuovausta käyttäen olemassa olevia työkaluja sekä lämpömuovausyksikköä. Päivitetty prosessi saadaan kiinnitetyksi suoraan ilman suurempia muutoksia nykyiseen lämpömuovausyksikköön siten, että lämpömuovausyksikkö voidaan palauttaa takaisin alkuperäiseksi. Vaatimuksena oli myös että muovattavassa tuotteessa ei esiinny repeilyä, mutta tähän ei voida vastata ilman prototyypin valmistusta ja testausta.

LÄHTEET

2019/904/EY. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 5.6.2019 tiettyjen muovituotteiden ympäristövaikutuksen vähentämisestä EYVL L155/1, 12.6.2019.

Afshariantorghabeh S, Pesonen A, Kärki T, Leminen V. 2023. Effects of thermoforming operation and tooling on the thermoformability of plastic-coated fibre-based materials. Packaging Technology and Science, Volume 36(10): S. 855-871.

Bahlau J, Lee E. 2022. Designing moulded pulp packaging using a topology optimization and superimpose method. Packaging Technology and Science, Volume 35(5): S. 415-423.

Debes B., Martyn B., Krishnan J., 2003. Thermoforming woodfibre–polypropylene composite sheets, Composites Science and Technology, Volume 63, Issues 3–4, S. 353-365

Didone M, Tosello G. 2019. Moulded pulp products manufacturing with thermoforming. Packaging Technology and Science, Volume 32: S. 7–22.

Groche, P., Huttel, D., Post, PP. Schabel s. 2012. Experimental and numerical investigation of the hydroforming behavior of paperboard. Production Engineering Research and Development, Volume 6, S. 229–236.

Guide to thermoforming 2024. [Verkkojulkaisu] Form labs. [Viitattu 20.2.2024] Saatavissa: https://formlabs.com/eu/blog/thermoforming/

Linvill, E., and Östlund, S. 2016. Parametric Study of Hydroforming of Paper Materials Using the Explicit Finite Element Method with a Moisture-dependent and Temperature-dependent Constitutive Model. Packaging Technology and Science, Volume 29: S. 145–160.

Milić J., Aroguz A., Budinski-Simendić J., Radičević R., Prendzov S. 2008. Morphology and viscoelastic properties of sealing materials based on EPDM rubber. Journal of Microscopy, Volume 232: S. 580-584.

Schwär F., Kauffmann A, 2024. A viscoelastic–viscoplastic modeling approach for amorphous polymers in vacuum forming simulation. Journal of Applied Polymer Science, Volume 141. Issue 10.

Tanninen P., Kasurinen M., Eskelinen H., Varis J., Lindell H., Leminen V., Matthews S., Kainusalmi M., 2014. The effect of tool heating arrangement on fibre material forming, Journal of Materials Processing Technology, Volume 214, Issue 8, S.1576-1582.

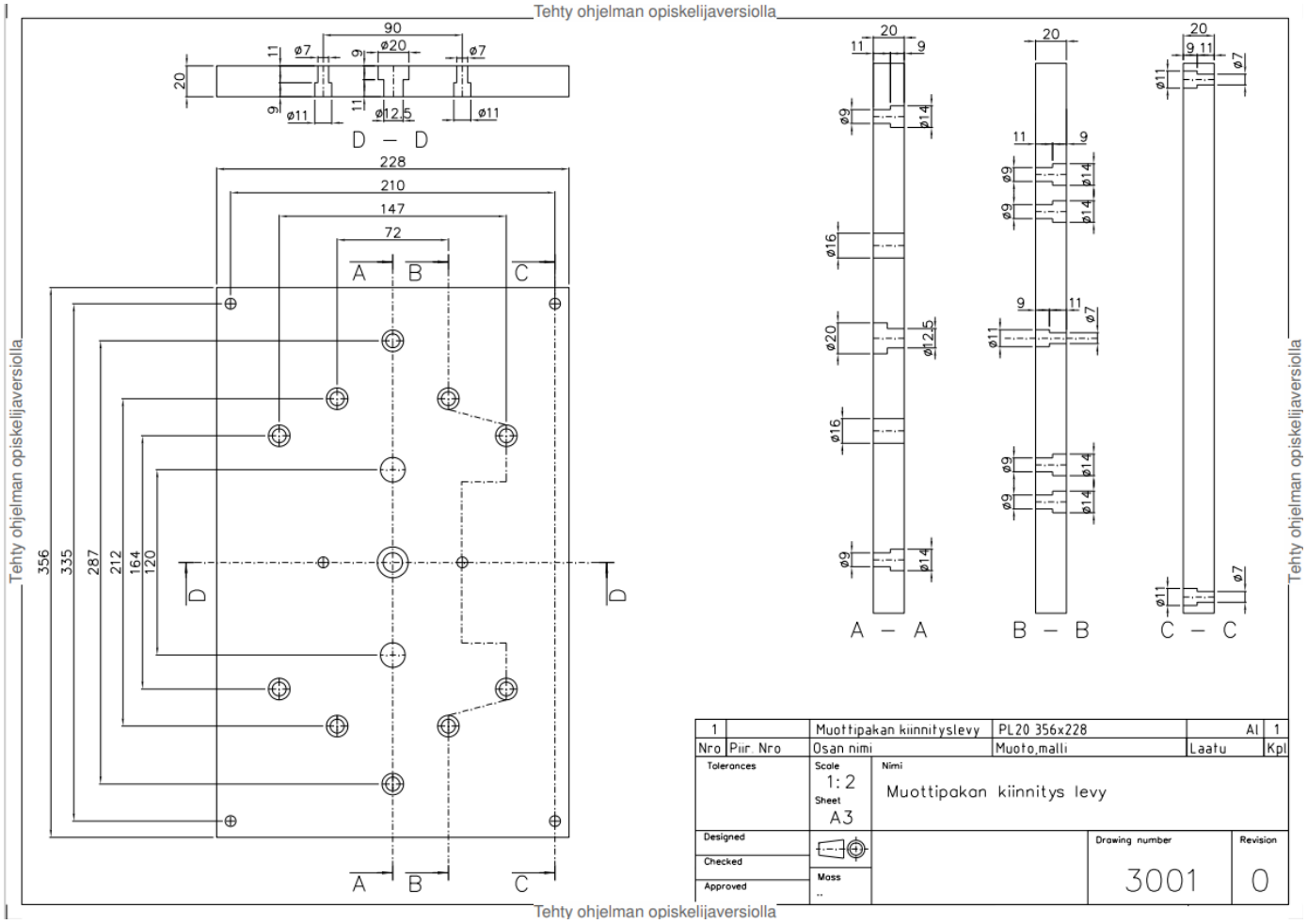
Vishtal A., Hauptmann M., Zelm R., Majschak J.-P., Retulainen E. 2013. 3D Forming of paperboard: the influence of paperboard properties of formability, Packaging Technology and Science, Volume 27, Issue 9, S. 677–691

Yanling Z., Chao D., Swetha K. B., Zhibin H., Yonghao N., 2022. Molded fiber and pulp products as green and sustainable alternatives to plastics: A mini review, Journal of Bioresources and Bioproducts, Volume 7, Issue 1, S. 14-25.

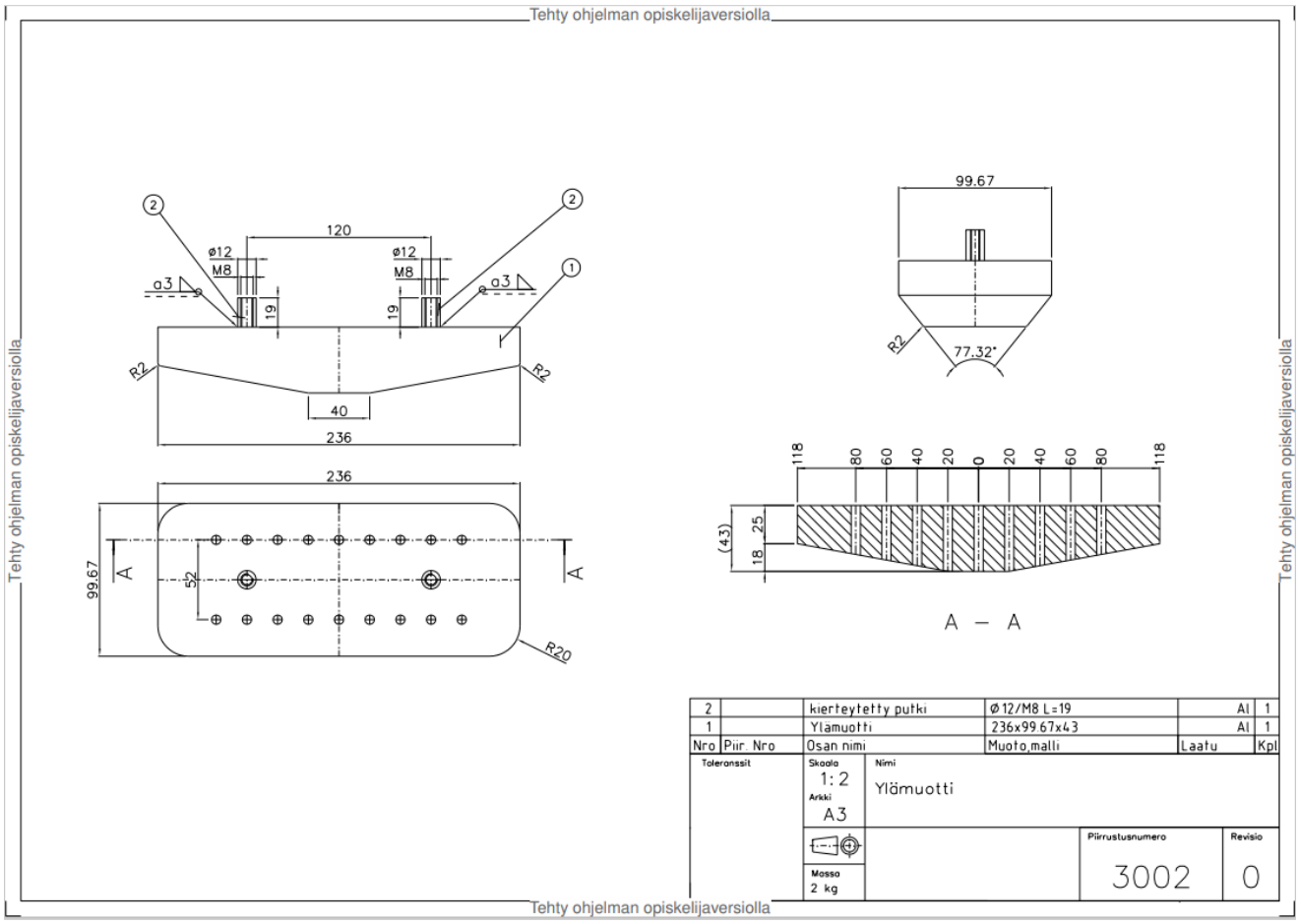
Östlund, M., Borodulina, S. and Östlund, S. 2011. Influence of Paperboard Structure and Processing Conditions on Forming of Complex Paperboard Structures. Packaging Technology and Science, Volume 24: S. 331-341.

LIITTEET

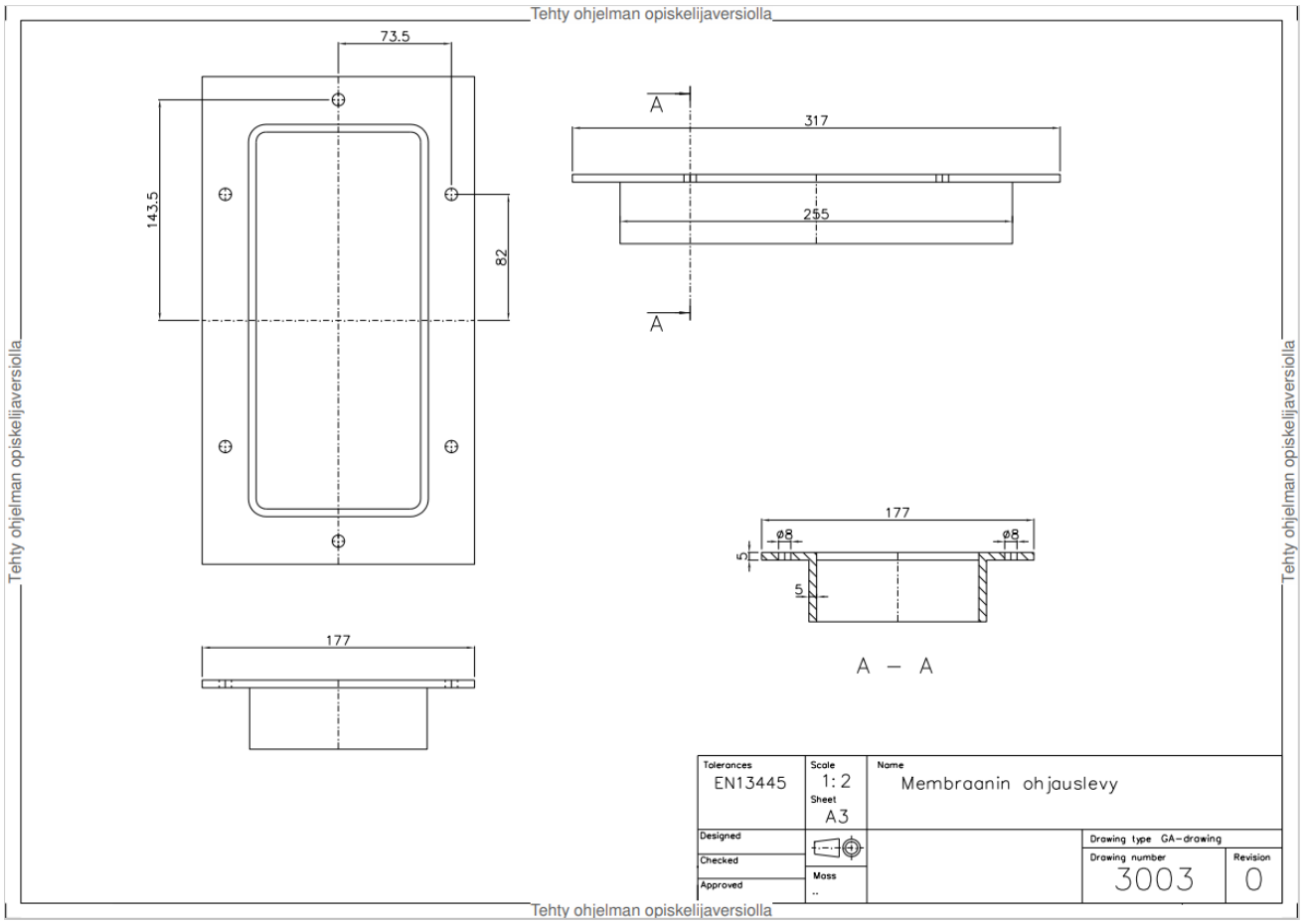
Valmistuspiirustukset



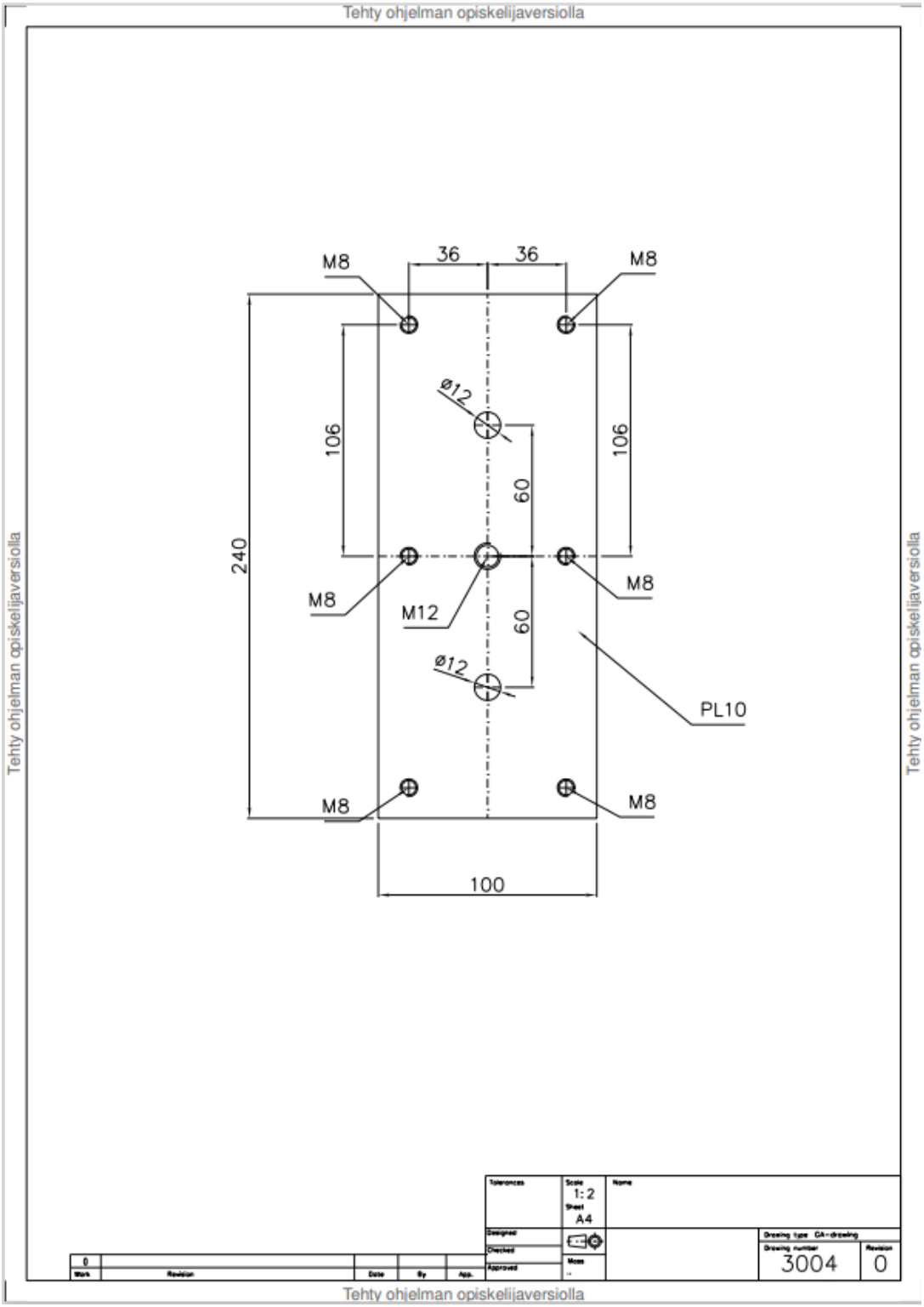
Liite 1, Muottipakan kiinnityslevy



Liite 2. Painin



Liite 3. Kumimembraanin ohjauslevy



Liite 4. Kumimembraanin kiinnityslevy