

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO

LUT School of Engineering Science

Kandidaatintyö

Kiti Pyörre

**PALMUPOHJAISTEN RAAKA-AINEIDEN SOVELTUVUUS
LÄMPÖKYNTTILÄMATERIAALIKSI**

Työn tarkastajat ja ohjaajat:

TkT Satu-Pia Reinikainen

TkT Maaret Paakkunainen

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan teknillinen yliopisto

LUT School of Engineering Science

Kiti Pyörre

Palmupohjaisten raaka-aineiden soveltuvuus lämpökynttilämateriaaliksi

Kandidaatintyö

Kevät 2015

33 (+9) sivua, 20 (+3) kuvaa, 6 (+31) taulukkoa ja 3 liitettä

Hakusanat: palmusteariini, parafiini, steariini, lämpökynttilä

Työssä tutkittiin palmupohjaisten raaka-aineiden soveltuvuutta lämpökynttilän valmistukseen steariinin ja parafiinin kanssa. Palmupohjaiset raaka-aineet ovat halvempia kuin steariini ja parafiini, joten raaka-aineen korvaaminen palmupohjaisilla raaka-aineilla voisi tuoda säästöä kynttilänvalmistajalle. Lisäksi niillä voidaan vaikuttaa lämpökynttilän ominaisuuksiin.

Teoriaosassa käsiteltiin lämpökynttilän raaka-aineista steariini, parafiini ja palmusteariini. Osassa selitettiin RAL-laatustandardin *Quality Mark Candles* vaatimukset lämpökynttilälle sekä valuastialle ja keskusteltiin valulämpötilan, jäähtymisen, viskositeetin ja haaroittuneiden yhdisteiden lukumäärän vaikutuksesta lämpökynttilän koostumukseen. Kokeellisessa osassa valmistettiin lämpökynttilöitä steariinin ja palmupohjaisten raaka-aineiden seoksista palmuraaka-aineiden määrillä 10, 20 ja 30 m- %:a. Parafiinin ja palmusteariinin sekä palmun mid-fraktion seokset valmistettiin palmuraaka-aineiden osuuksilla 10, 20, 40 ja 50 m- %:a ja myös palmusteariinin soft-fraktiolla kokeiltiin seosta 50 m- %:lla.

Steariinin ja palmupohjaisten raaka-aineiden seokset eivät toimineet ainakaan käytetyillä sydänlangoilla. Liekinkorkeudet olivat alhaisia eivätkä visuaaliset vaatimukset täyttyneet. Parafiinin ja palmupohjaisten raaka-aineiden seoksista valmistetut kynttilät paloivat ideaalisesti palmuraaka-aineiden osuuksilla 35 – 50 m- %:a. Tulosten perusteella fraktion valinnalla ei näyttänyt olevan merkitystä, mutta palmusteariini on ominaisuuksiensa puolesta kynttilänvalmistukseen soveltuvin. Liekinkorkeus ja palovuo laskivat lineaarisesti palmuraaka-aineen osuuden kasvaessa parafiinikynttilässä.

ABSTRACT

Lappeenranta University of Technology

LUT School of Engineering Science

Kiti Pyörre

Suitability of palm based raw materials as a tealight material

Bachelor's thesis

Spring 2015

33 (+9) pages, 20 (+3) figures, 6 (+31) tables and 3 appendices

Keywords: palm stearin, paraffin, stearin, tealight

The suitability of palm based materials as a tealight raw material with stearin and paraffin was studied in this thesis. The palm based raw materials are cheaper than stearin and paraffin and they affect to the properties of tealight. If stearin and paraffin were replaced by cheaper raw material, it could bring savings to the candle manufacturer.

Tealight raw materials stearin, paraffin and palm stearin were studied in the theoretical part of this thesis. The RAL quality standard's *Quality Mark Candles* requirements for a tealight and a container were also explained in this part as well as the effects of molding temperature, cooling and viscosity for a tealight's composition. Also the effect of the branched chains were explained. In the experimental part of the thesis tealights were produced from a mixture consisting of stearin and palm based materials. The share of palm based materials was 10, 20 and 30 m- %. The mixtures of paraffin and palm stearin, and paraffin and palm mid-fraction were produced consisting of 10, 20, 40 and 50 m- % palm based material. Also the palm stearin soft-fraction was experimented with the mixture of 50 m- %.

The mixtures of stearin and palm based raw materials did not work with the wicks used. Flame heights were low and the visual criteria wasn't reached. The tealights consisting of mixtures of paraffin and palm based materials burned ideally with 35 – 50 m- % of palm based materials. Based on the results, the fraction of palm based material did not make any difference but palm stearin suits best because of its good properties. Flame height and burning flow decreased linearly when the part of palm based material increased in a paraffin tealight.

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	2
	KIRJALLISUUSOSA.....	3
2	LÄMPÖKYNTTILÄN RAAKA-AINEET	3
2.1	STEARIINI	3
2.2	PARAFIINI	4
2.3	PALMUSTEARIINI	5
3	LÄMPÖKYNTTILÄN VALMISTUS JA POLTTO SEKÄ NIIHIN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT	8
3.1	RAL-STANDARDI	9
3.2	VALUASTIA JA SYDÄNLANKA	11
3.3	VALULÄMPÖTILAT JA JÄÄHDYTYS	12
3.4	VISKOSITEETTI	12
3.5	RASVAHAPPOKETJUN HAAROITTUNEISUUS	13
	KOKEELLINEN OSA.....	14
4	MITTAUSMENETELMÄT JA RAAKA-AINEET	14
5	TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU	17
5.1	SULAMISPISTEET	17
5.2	PALMUPOHJAISET RAAKA-AINEET JA STEARIINI	19
5.3	PALMUPOHJAISET RAAKA-AINEET JA PARAFIINI	24
6	JOHTOPÄÄTÖKSET	30

LIITTEET

LIITE I Valutaulukot

LIITE II Liekinkorkeudet

LIITE III Kuvia polttokokeista

1 JOHDANTO

Teollisessa lämpökynttilänvalmistuksessa käytetään nykyisin pääosin steariinia ja parafiinia sekä niiden erilaisia seoksia. Parafiinia saadaan öljynjalostusteollisuuden sivuvirtana ja steariinia eläinrasvasta sekä kasviöljyistä. (Matthäi et al., 2007) Steariini (0,9 €/kg) ja parafiini (1,1 €/kg) ovat kuitenkin melko kalliita, kun halutaan saada yhä vain halvempia tuotteita. Yksi mahdollisuus edullisempien tuotteiden valmistukseen on korvata steariini- ja parafiinikynttilöissä osa raaka-aineesta halvemmallalla yhdisteellä, kuten palmusteariinilla (0,75 €/kg). (Hutri, 2014) Palmuviljelmiltä saatava raaka-aine on halpaa, mutta se vaikuttaa lämpökynttilän ominaisuuksiin, kuten viskositeettiin ja sulamiseen. Tämän työn tarkoituksena on selvittää, kuinka palmuöljyn jalostuksesta saatavat raaka-aineet soveltuvat lämpökynttilänvalmistukseen ja minkälaisella seoksella kynttilän palo-ominaisuudet ovat ideaaliset.

Työn kirjallisuusosassa selvitetään steariinin ja parafiinin koostumukset sekä eläinrasvapohjaisen steariinin ja palmusteariinin erot. Lisäksi osassa kerrotaan, kuinka palmuöljyä jalostetaan ja minkälaisia fraktioita jalostuksesta saadaan. Samalla perehdytään myös lyhyesti siihen, minkälaisia ovat lämpökynttilöissä käytettävät sydänlangat, ja siihen, miten RAL-laatustandardi (*Reichs-Ausschuß für Lieferbedingungen und Gütesicherung*, eng. Imperial Commission for Delivery Terms and Quality Assurance), *Quality Mark Candles*, määrittelee lämpökynttilälle vaadittavat ominaisuudet (RAL, 2014). Lisäksi osassa selitetään, kuinka valulämpötilat, jäähdytys, viskositeetti ja rasvahappoketjujen haaroittuneisuus vaikuttavat lämpökynttilän ominaisuuksiin.

Työn kokeellisessa osassa selvitetään, kuinka suuri osuus steariinista on mahdollista korvata palmuraaka-aineilla, jotta lämpökynttilä olisi RAL-standardin mukainen. Lisäksi seurataan, kuinka seosten sulamispisteet muuttuvat eri seossuhteilla. Tässä osassa selvitetään myös, miten palmupohjaiset raaka-aineet vaikuttavat parafiinipohjaisen lämpökynttilän ominaisuuksiin ja kuinka suuri osa parafiinista voidaan palmupohjaisilla raaka-aineilla korvata.

KIRJALLISUUSOSA

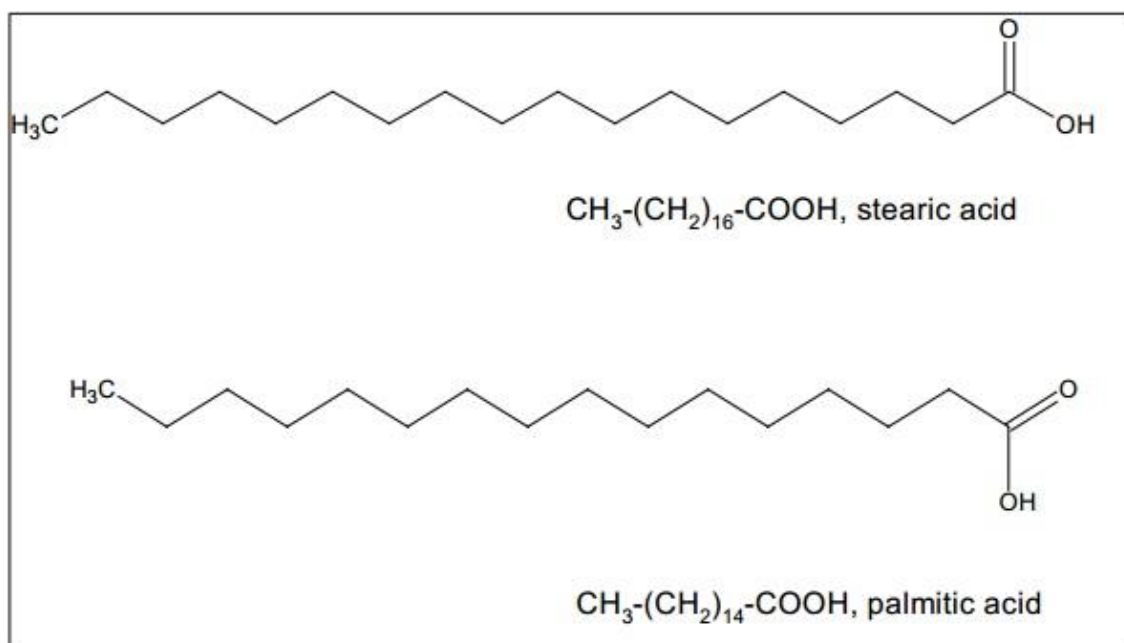
2 LÄMPÖKYNTTILÄN RAAKA-AINEET

Lämpökynttilöitä valmistettiin vuosituhsia talista ja sen jälkeen mehiläisvahasta, kunnes parafiini ja steariini tekivät läpimurron 1800-luvulla niiden parempien palo-ominaisuuksien takia. 1900-luvun loppupuolella alettiin kiinnostua uusiutuvista, luonnonmukaisista raaka-aineista kynttilän raaka-aineina. (Matthäi et al., 2007) Vaihtoehtoiksi nousivat kasveista saatavat raaka-aineet, kuten palmusteariini.

Palmusteariini ja steariini sisältävät molemmat palmitiini-, steariini- ja oleiinihappoa, mutta erilaisissa suhteissa. Näiden yhdisteiden suhde onkin olennainen asia vertailtaessa steariinien ominaisuuksia. Parafiini koostuu hiilivedyistä, joten sen ominaisuudet poikkeavat steariinien ominaisuuksista. Seuraavissa kappaleissa tarkastellaan tutkimuksessa käytettävien raaka-aineiden, steariinin, parafiinin ja palmusteariinin koostumuksia.

2.1 STEARIINI

Steariini on huoneenlämpötilassa kiinteä, useiden rasvahappojen muodostama kideseos (Matthäi, 2007). Rasvahapot ovat pitkäketjuisia ja tyydyttyneitä. Suurin osa rasvahapoista on palmitiinihappoa ja steariinihappoa, joiden rakenteet on esitetty Kuvassa 1. (NCA, 2015a).



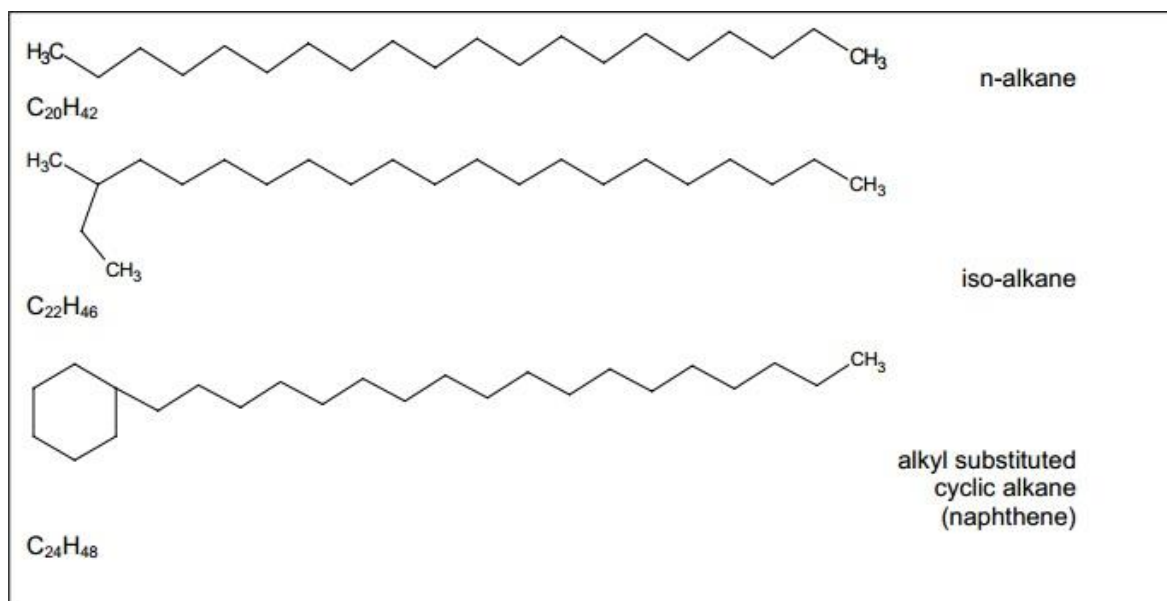
Kuva 1 Steariininhapon (C18) ja palmitiininhapon (C16) kemialliset rakennekaavat (Matthäi et al., 2007).

Eri steariinien jähmettymispisteet ovat välillä 52 – 60 °C. Koska vaihteluväli on pieni, steariiniyntytiloissa lämpötila pysyy palamisen aikana tasaisena. (Matthäi et al., 2007)

Steariini on kovaa ja läpinäkymätöntä (NCA, 2015). Sitä voidaan valmistaa härän tai sian talista sekä erilaisista kasviöljyistä. Steariinia käytetään pääosin vain Euroopassa. (Matthäi et al., 2007)

2.2 PARAFIINI

Parafiini on yhdistelmä hiilivetyjä, jotka ovat kiinteässä olomuodossa huoneenlämpötilassa ja joilla on vahamainen koostumus (Matthäi et al., 2007). Parafiinin sisältämät hiilivedyt ovat täysin tyydyttyneitä eli ne sisältävät vain yksinkertaisia sidoksia. Parafiinin sisältämien hiilivetyjen empiirinen kaava on muotoa $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$. (Nussle, 31, 43, 1971) Kuvassa 2 on esitetty esimerkkejä parafiinin sisältämien hiilivetyjen rakenteesta.



Kuva 2 Parafiinin sisältämiä hiilivetyjä (Matthäi et al., 2007).

Parafiini on yleisin maailmassa käytetty kynttilävaha. Se on kovaa ja sillä on useita eri sulamispisteitä, joten sitä voidaan käyttää useissa erityyppisissä kynttilöissä. (NCA, 2015a)

Mineraaliöljyjen tislauksesta saatavista parafiineista kynttilänvalmistukseen soveltuvia ovat vain ne, jotka jähmettyvät 45 – 70 °C:een lämpötilassa. Muita tärkeitä ominaisuuksia ovat kovuus, öljysisältö ja viskositeetti. (Matthäi et al., 2007) Parafiinia käytetään kynttilänvalmistuksessa paljon myös sen opasiteetin, värittömyyden, hajuttomuuden ja hyvien palo-ominaisuuksien takia (NCA, 2015a).

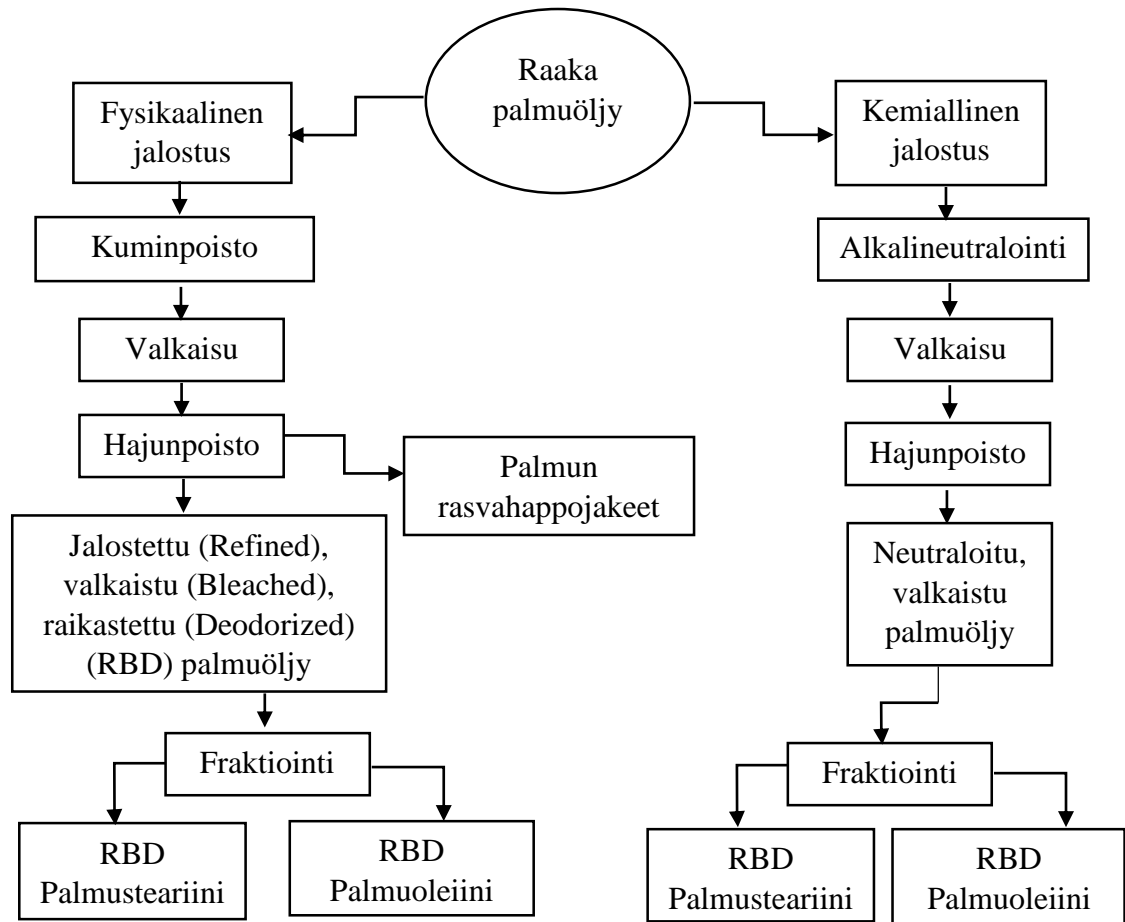
2.3 PALMUSTEARIINI

Palmusteariini kuuluu kovettuihin luonnonrasvoihin, jotka koostuvat eri rasvahappojen triglyseridien muodostamista sidoksista. Luonnonrasvojen olomuoto huoneenlämpötilassa riippuu hiiliketjun pituudesta sekä tyydyttymisasteesta eli siitä, ovatko rasvan sisältämät rasvahapot tyydyttyneitä, tyydyttymättömiä vai monityydyttymättömiä. (Matthäi et al., 2007)

Palmusteariinia valmistetaan erottamalla palmuöljystä sen kiinteä fraktio (MPOB, 2015). Erotuksessa diglyseridit konsentroituvat palmuoleiiniin ja monoglyseridit palmusteariiniin (Goh et al., 1985). Palmusteariini sisältää noin 47 - 74 %:a C16-rasvahappoa eli palmitiinihappoa ja noin 4 - 6 %:a C18-rasvahappoa eli steariinihappoa (Wai-Lin et al, 2007). Suurimman eron eläinperäiseen steariinin koostumukseen aiheuttaa oleiinihappo, C18:1, jota on palmusteariinissa noin 25 %:a (Nor Hayati et al, 2000).

Palmusteariini on kovaa, kirkkaasti palavaa vahaa, joka koostuu keskipitkiksi ketjuttuneista rasvahapoista. Palmusteariinin sulamispisteet vaihtelevat ja sitä voidaan hydratoida. (NCA, 2015a)

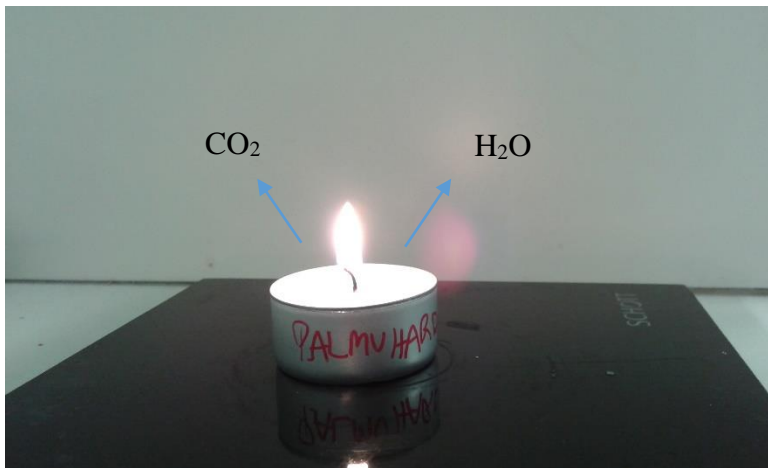
Kuvassa 3 on esitetty palmusteariinin valmistus palmuöljystä. Raaka palmuöljy jalostetaan joko kemiallisesti tai fysikaalisesti. Kemiallisessa jalostuksessa oleellista on alkalineutralointi. Molemmat käsittelyt sisältävät valkaisun ja hajunpoiston. Fraktioinnin tuloksena molemmista jalostusprosesseista saadaan jalostettua (*eng.* Refined), valkaistua (*eng.* Bleached) ja raikastettua (*eng.* Deodorized) eli ns. RBD palmusteariinia sekä RBD palmuoleiinia. (Ogan et al., 2014)



Kuva 3 Palmuöljyprosessi. Mukailtu alkuperäisestä (Ogan et al, 2014).

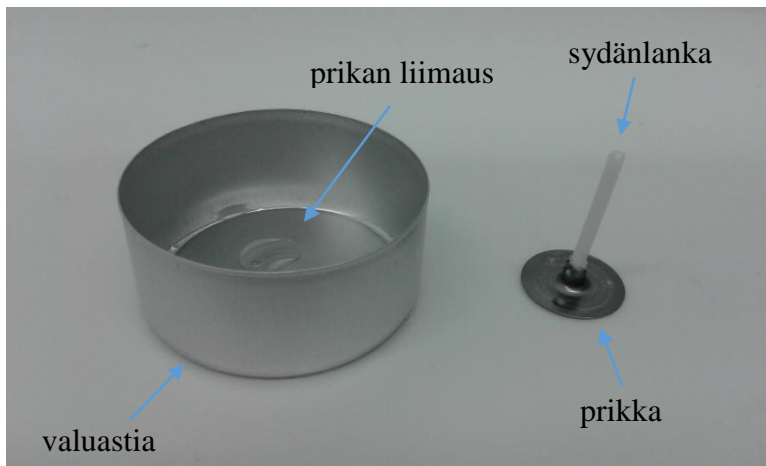
3 LÄMPÖKYNTTILÄN VALMISTUS JA POLTTO SEKÄ NIIHIN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

Lämpökynttilöiden palaminen perustuu raaka-aineiden eli erilaisten vahojen sisältämien hiilivetyjen polttoon. Kun kynttilä sytytetään, kynttilän lämpö sulattaa vahan sydänlangan läheisyydestä ja sulanut vaha nousee kapillaari-ilmiön johdosta sydänlankaa pitkin ylöspäin. Vaha kaasuuntuu ja lämpö alkaa hajottamaan hiilivetyjä hiileksi ja vedyksi. Kaasuuntuneet molekyylit, hiili ja vety, reagoivat liekissä ilman hapen kanssa tuottaen lämpöä, valoa, vesihöyryä ja hiilidioksidia. (NCA, 2015b) Kuvassa 4 on esitetty kynttilän palaminen.



Kuva 4 Lämpökynttilän palaminen. Palamisessa muodostuu lämpöä, valoa, vesihöyryä ja hiilidioksidia.

Lämpökynttilä koostuu valuastiasta, sydänlangasta, joka on liimattu valuastiaan prikan avulla ja astiaan valetusta raaka-aineesta. Kuvassa 5 on esitetty valuastian osat.



Kuva 5 Lämpökynttilän valuastia ja prikallinen sydänlanka.

Kynttilöitä voidaan valmistaa valamalla, puristamalla, vetämällä, kastamalla ja täyttämällä (West, 2013). Valmistusmenetelmä riippuu esimerkiksi raaka-aineesta ja sydänlangasta. Valamisessa muotti täytetään raaka-aineella, jossa on sydänlanka kiinnitettynä. Muotti irrotetaan lopuksi. Puristuksessa raaka-aine ja lanka painetaan putken läpi korkeassa paineessa. Puristuksen jälkeen pitkä tuote leikataan halutun kokoisiksi kynttilöiksi. Vetämällä kynttilä valmistetaan siten, että sydänlanka vedetään sulan raaka-aineen läpi niin monta kertaa, että haluttu paksuus saavutetaan. Kastamisessa sydänlankaa kastetaan nestemäiseen raaka-aineeseen, kunnes kynttilä saadaan halutun kokoiseksi. (ECA, 2015) Täyttämässä valuastia, jossa on sydänlanka kiinni, täytetään raaka-aineella. Valmis kynttilä sisältää myös valuastian. (CMT, 2015) Raaka-aineissa voidaan käyttää esimerkiksi erilaisia väriaineita (ECA, 2015).

Seuraavissa kappaleissa on esitelty lämpökynttilälle määritelty laatustandardi sekä lämpökynttilän palo-ominaisuuksiin vaikuttavat tekijät.

3.1 RAL-STANDARDI

RAL-laatustandardi (*Reichs-Ausschuß für Lieferbedingungen und Gütesicherung*, eng. Imperial Commission for Delivery Terms and Quality Assurance) määrittelee lämpökynttilälle vaadittavat ominaisuudet ja nämä ominaisuudet täyttävä kynttilä saa RAL-laatumerkinnän ”RAL – Quality Mark Candles” (RAL, 2014). Kuvassa 6 on esitetty RAL-laatuleimat.



Kuva 6 RAL-laatuileimat, jotka annetaan RAL-laatustandardin määrittelemät ominaisuudet täyttävälle kynttilälle (RAL, 2014).

RAL-standardi määrittelee kynttilän olevan valonlähde, jossa on yksi tai useampi syttyvä sydänlanka, jota ympäröi palava massa. Palava massa on kiinteää, jähmeää tai jäykkää huoneenlämpötilassa eli 20 °C:sta 27 °C:een. (RAL, 2014)

Lämpökynttilälle vaadittavia ominaisuuksia ovat tietty liekin korkeus ja palamisaika, sydänlangan asento, ulkonäkö ja sammumisaika. RAL-standardin mukaan liekin korkeuden tulee olla vähintään 14 mm, kynttilän täytyy palaa vähintään neljä tuntia ja loppuhehkutusaika, eli langan hehkuminen sammuttamisen jälkeen, saa olla enintään 10 sekuntia. Maksimijäännöksellä tarkoitetaan prosenttiosuutta koko raaka-aineen määrästä, kun kynttilä on sammunut itsestään. Kynttilä ei saa noeta. (RAL, 2014) Taulukossa I on esitetty RAL-standardin vaatimukset lämpökynttilälle.

Taulukko I RAL-laatustandardin vaatimukset lämpökynttilän ominaisuuksille.

Liekin korkeus	Paloaika	Loppuhehkutusaika	Jäännös
> 14 mm	> 4 h	< 10 s	< 12 %

3.2 VALUASTIA JA SYDÄNLANKA

Valuastia ja sydänlanka valitaan raaka-aineen mukaan. RAL-standardin mukaan lämpökynttilä saa olla enintään 17 mm korkea. Lämpökynttilän halkaisijan tulee olla 36 – 39 mm. (RAL, 2014)

Sydänlanka koostuu useista eri langoista, jotka on punottu ohuista säikeistä. Lankoja on erikokoisia, eli lankojen ja säikeiden määrä vaihtelee. Myös punontatyylillä eri sydänlangoissa vaihtelee. Sydänlanka on käsitelty kemiallisesti riippuen käytettävistä raaka-aineista. (Wedo, 2015) Sydänlangan punontatiukkuus ja säikeiden määrä vaikuttavat siihen, kuinka raaka-aine kulkeutuu lankaa pitkin ja miten se palaa (West, 2013).

Kynttilän palaessa sydänlanka ei saa olla liian suora eikä liian kaareva. Kuvassa 7 on esitetty RAL-laatustandardin määritelmä oikealle sydänlangan asennolle.



Kuva 7 RAL-laatustandardin määritelmä oikealle sydänlangan asennolle lämpökynttilässä. Ensimmäisessä kuvassa vasemmalta lanka on liian suorassa, toisessa kuvassa ideaalinen, kolmannessa hyvä ja neljännessä liian kaareva. Mukailtu alkuperäisestä (RAL, 2014).

Lämpökynttilän polton aikana sydänlangassa ei saa esiintyä sieniä (West, 2013). Esimerkki tällaisesta sienestä on kuvassa 8.



Kuva 8 Lämpökynttilän palamisen aikana sydänlangassa esiintyvä hiilimuodostuma eli nk. sieni. Sieniä ei saisi esiintyä polton aikana.

3.3 VALULÄMPÖTILAT JA JÄÄHDYTYS

Valulämpötilat perustuvat eri raaka-aineiden sulamispisteisiin. Valulämpötila tulee pitää tarpeeksi korkeana, jotta valun aikana varmistetaan lämpötilan pysyminen korkeampana kuin raaka-aineen jähmettymispiste. Valulämpötila ja jäähdystapa vaikuttavat valmiin kynttilän kiderakenteeseen. Nopealla jäähdytyksellä kiteet ovat pienempiä ja massa on kovempaa. (Arola, 2014) Arolan mukaan jäähauteessa jäähdytettyjen kynttilöiden palovuoro on pienempi kuin huoneenlämpötilassa jäähdytettyjen. Palovuolla tarkoitetaan raaka-aineen kulutusta aikayksikössä.

3.4 VISKOSITEETTI

Raaka-aineiden viskositeetit vaikuttavat kynttilän palamiseen. Yleensä korkea viskositeetti laskee liekin korkeutta. Palmupohjaisilla raaka-aineilla on korkeimmat viskositeetit, sillä ne koostuvat suurimmaksi osaksi triglyserideistä, joiden rakenne on monimutkaisempi kuin rasvahapoilla steariinissa ja hiilivedyillä parafiinissa. Steariinilla on seuraavaksi korkein viskositeetti ja parafiinilla alhaisin. Viskositeetti on verrannollinen tarvittavan sydänlangan paksuuteen. Korkeaviskoosille raaka-aineille tarvitaan paksummat sydänlangat. Viskositeettiin vaikuttavat hiiliketjun pituus ja haaroittuneiden yhdisteiden määrä. (Arola, 2014) Arolan sekä Valeri et al. (Valeri et al., 1997) mukaan kynttiläraaka-aineiden viskositeetti laskee lämpötilan kasvaessa.

3.5 RASVAHAPPOKETJUN HAAROITTUNEISUUS

Mitä enemmän haaroittuneita eli tyydyttymättömiä rasvahappoketjuja raaka-aine sisältää, sitä alhaisempi on sen sulamislämpötila. Rasvojen jodidinumero kertoo siitä, kuinka paljon tyydyttymättömiä rasvahappoketjuja yhdiste sisältää. Haaroittuneisuutta voidaan testata lisäämällä rasvahapposeokseen jodia, jolloin kaksoissidokset aukeavat. Jos jodidinumero on 0 – 70, seos sisältää suurimmaksi osaksi tyydyttyneitä rasvahappoketjuja, jos taas yli 70, suurin osa ketjuista on tyydyttymättömiä. (VALUE, 2015)

KOKEELLINEN OSA

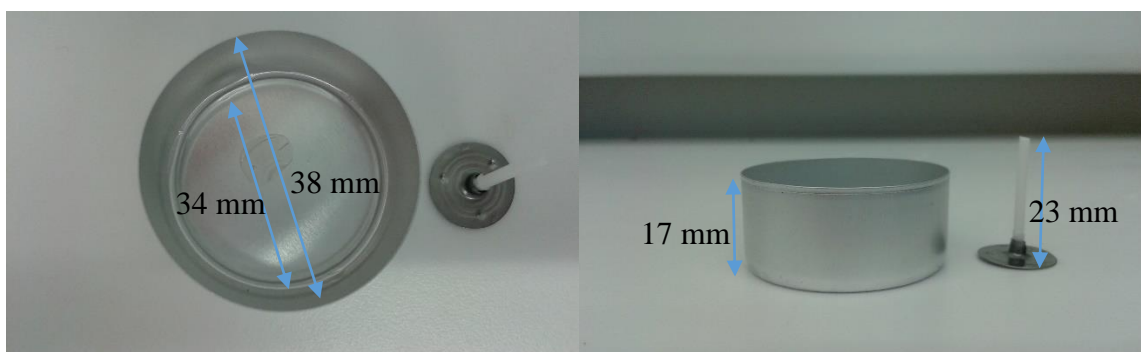
4 MITTAUSMENETELMÄT JA RAAKA-AINEET

Lämpökynttilät valmistettiin valamalla raaka-aine tai raaka-aineseos alumiiniseen valuastiaan, jossa sydänlanka oli kiinni prikalla. Valut suoritettiin kahdessa erässä, joiden välillä valetun raaka-aineen annettiin jäähtyä. Valmiiden kynttilöiden annettiin jäähtyä vähintään vuorokausi ennen polttokokeita. Kuvassa 9 on esitetty ensimmäisen erän valu, jäähtyvä ja jäähtynyt valmis kynttilä.

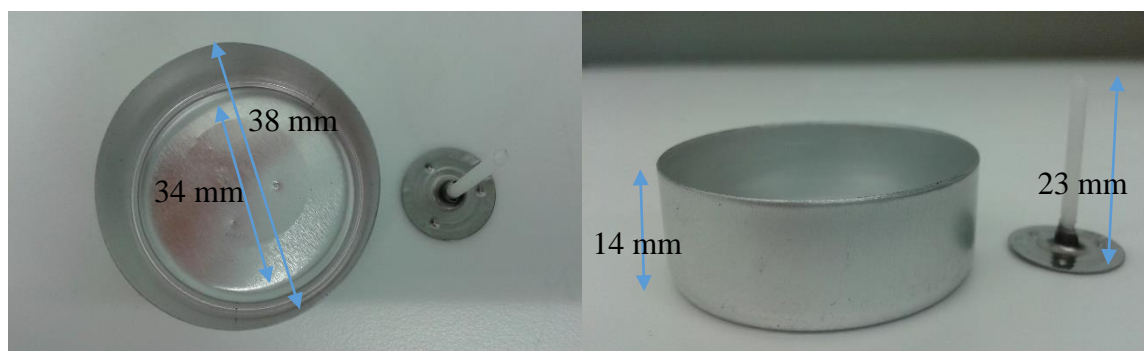


Kuva 9 Ensimmäisen erän valu, jäähtymässä oleva ja valmis jäähtynyt kynttilä.

Steariinilla käytettiin valuastiana kynttilävalmistajan 14 mm korkuista astiaa ja WeDo:n (*West Deutsche Dochtfabrik*) steariinille tarkoitettua lankaa. Palmusteariinia ja parafiinia sisältävät kynttilät valettiin 17 mm korkuiseen astiaan, jossa käytettiin WeDo:n kyseisille raaka-aineille optimoitua lankaa. Kuvissa 10 ja 11 on esitetty käytetyt astiat ja langat.



Kuva 10 17 mm korkuinen valuastia ja WeDo:n sydänlanka.



Kuva 11 14 mm korkuinen valuastia ja WeDo:n sydänlanka.

Raaka-aineina työssä käytettiin erään kynttilätehtaan steariinia, parafiinia ja RBD palmusteariinia, RBD palmun mid-fraktiota sekä RBD palmusteariinin soft-fraktiota. Työssä käytetyt palmupohjaiset raaka-aineet on tarkoitettu pääasiassa elintarviketeollisuuden raaka-aineiksi.

Näytteet sulatettiin lämpökaapissa, jonka lämpötila oli säädetty 88 °C:een. Valulämpötilat pidettiin korkeampana kuin raaka-aineiden sulamispisteet (Taulukot *III* ja *IV*) ja valut suoritettiin vaa'alla, jonka päälle oli asetettu lämpöä johtamaton ja palamaton keraaminen alunen. Polttokokeet suoritettiin vetokaapissa, jossa ilmanvaihto oli otettu pois päältä ja ilma-aukot oli peitetty. Vetokaappien luukut olivat sen verran auki, että liekin korkeudet saatiin mitattua. Kynttilät poltettiin valussa käytetyn palamattoman ja lämpöä johtamattoman keraamisen alusen päällä. Polttokokeissa lämpökynttilöitä poltettiin neljän tunnin ajan. Liekin korkeutta mitattiin 5, 60, 120, 180 ja 240 minuutin kuluessa kynttilän sytyttämisestä. Myös kynttilän ulkonäköä, esimerkiksi langan asentoa, sulan muodostumista ja palamisen tasaisuutta tarkkailtiin.

Raaka-aineiden ja seosten sulamispisteet mitattiin Stuart SMP10 -sulamispistemittarilla siten, että pieni määrä raaka-ainetta tai seosta otettiin kapillaariin, joka asetettiin laitteeseen ja seurattiin, missä lämpötilassa koko raaka-aine on sulaa. Taulukossa II on esitetty työssä käytettyjen raaka-aineiden toimittajilta saadut tiedot raaka-ainekoostumuksista. Parafiininäyte oli raaka-ainetoimittajan sen hetkinen erä eikä siitä ollut saatavilla koostumustietoja.

Taulukko II Työssä käytettyjen raaka-aineiden raaka-ainetoimittajilta saadut koostumustiedot; sulamispisteet, jodidinumeroit sekä rasvahappo- ja triasyyliglyseroli(triglyseridi)- koostumukset. C12 on lauriinihappo, C14 myristiinihappo, C16 palmitiinihappo, C18 steariinihappo, C18:1 oleiinihappo, C18:2 linoleiinihappo ja C20 arakiinihappo. SSS on trityydyttynyt, SUS on dityydyttynyt, SUU on monotydyttynyt ja UUU trityydyttymätön rasvahappo. Mukailtu alkuperäisestä (Reinikainen, 2015).

	Sulamispiste	Jodidipro	Rasvahappo	Rasvahappo [m- %]	Mono-, di- ja triasyyliglyserolit	Triasyyliglyserolit (TAG)	TAG [m- %]
Palmun mid-fraktio	42 - 48	45	C12 C14 C16:0 C16:1 C18:0 C18:1 C18:2 C18:3 C20	0.1 0.9 49 0 4.9 37 7.9 0.1 0.1	SSS 2 % SUS 65 - 72 % SUU 28 - 23 % UUU 3 - 5 %	C46 C48 C50 C52 C54 C56	0.4 5.3 59.6 30.4 4.1 0.2
Palmusteariini, soft	45	47	C12 C14 C16:0 C16:1 C18:0 C18:1 C18:2 C18:3 C20	0.2 1.1 49 0.1 4.9 34.8 9.0 0.2 0.4	SSS 11 % SUS 52 % SUU 32 % UUU 5 %	C46 C48 C50 C52 C54 C56	1.2 15.3 42.7 33.4 7.4 0
Palmusteariini	57	38	C12 C14 C16:0 C18:0 C18:1 C18:2 C20	0.2 1.1 58 4.9 29.5 6.0 0.3	SSS 29 - 35 % SUS 43 - 49 % SUU 19 - 21 % UUU 3 - 4 %	C46 C48 C50 C52 C54 C56	1.2 34.0 41.6 20.1 3.1 0
Steariini	57 - 57,3	< 1	C16 C18 C8- C14	35 - 40 57 - 59 <4	SSS 100 %		-

Palmun mid-fraktio sisältää eniten oleiinihappoa, joten sen oletettiin olevan peräisin palmusteariinin ja palmuoleiinin fraktiointivaiheiden väliltä. Lisäksi haaroittuneiden yhdisteiden määrä on siinä kaikista suurin. Palmusteariinin soft-fraktio sisältää enemmän oleiinihappoa ja haaroittuneita yhdisteitä kuin palmusteariini, joten se on peräisin aikaisemmasta vaiheesta fraktiointia. Steariini koostuu tyydyttyneistä rasvahapoista ja sen voidaan sanoa koostuvan pääosin steariini- ja palmitiinihapoista.

5 TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU

Ensimmäisten näytekynttilöiden tuloksista havaittiin, että raaka-aineena käytetyn steariinin rakenne oli muuttunut eikä steariini siksi palanut hyvin. Kokeet uusittiin ottamalla uusi näyte steariinia ja valmistamalla uudet seokset. Steariininäytteet olivat tulleet tehtaalta samasta erästä, joten myös näytteenottoastian epäpuhtaus sekä kuljetuksesta ja säilytyksestä johtuvat syyt ovat mahdollisesti vaikuttaneet steariininäytteen koostumukseen. Kokeiden aikana havaittiin, että pitkä säilytysaika lämpökaapissa muuttaa steariinin rakennetta eikä se pala enää hyvin.

5.1 SULAMISPISTEET

Steariinin sulamispiste on 57 °C ja parafiinin 52 °C. Palmusteariinin soft-fraktion sulamispisteeksi mitattiin 45 °C ja palmusteariinin 56 °C. Palmun mid-fraktion sulamispiste on raaka-ainetoimittajan mukaan 42 – 48 °C. Palmun mid-fraktion sulamispistettä ei saatu mitattua, koska fraktion sisältämällä yhdisteillä, kuten triglyserideillä, on huomattavasti toisistaan poikkeavat sulamispisteet ja yksittäisen sulamispisteen määrittäminen koko yhdisteelle on vaikeaa. Taulukoissa III ja IV on esitetty eri seosten sulamispisteet.

Taulukko III Steariinin ja eri palmupohjaisten raaka-aineiden muodostamien seosten sulamispisteet.

Seos (% = m- %)	Sulamispiste [°C]
Palmusteariini, soft 10 % + steariini 90 %	57
Palmun mid-fraktio 10 % + steariini 90 %	57
Palmusteariini 10 % + steariini 90 %	57
Palmusteariini, soft 20 % + steariini 80 %	57
Palmun mid-fraktio 20 % + steariini 80 %	57
Palmusteariini 20 % + steariini 80 %	57
Palmusteariini, soft 30 % + steariini 70 %	55
Palmun mid-fraktio 30 % + steariini 70 %	56
Palmusteariini 30 % + steariini 70 %	57

10 m- %:n palmuosuudella seosten sulamispisteet vastasivat steariinin sulamispistettä, koska steariinihapon osuus seoksessa oli paljon suurempi verrattuna palmitiini- ja oleiinihappoihin. Palmun osuuden kasvaessa alkoi sulamispiste alentua, mutta ei merkittävästi.

Taulukko IV Parafiinin ja eri palmupohjaisten raaka-aineiden muodostamien seosten sulamispisteet.

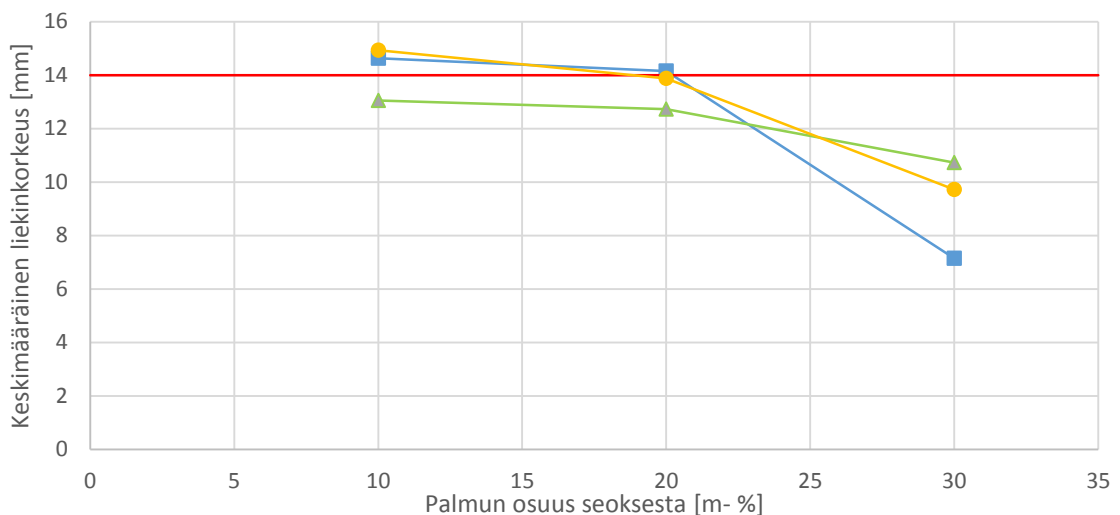
Seos (% = m- %)	Sulamispiste [°C]
Palmun mid-fraktio 10 % + parafiini 90 %	52
Palmusteariini 10 % + parafiini 90 %	52
Palmun mid-fraktio 20 % + parafiini 80 %	52
Palmusteariini 20 % + parafiini 80 %	50
Palmun mid-fraktio 40 % + parafiini 60 %	50
Palmusteariini 40 % + parafiini 60 %	50
Palmusteariini, soft 50 % + parafiini 50 %	50
Palmun mid-fraktio 50 % + parafiini 50 %	50
Palmusteariini 50 % + parafiini 50 %	50

Palmusteariinin ja parafiinin seosten sulamispisteiden määrittäminen Stuart SMP10 –sulamispistemittarilla oli vaikeaa, koska parafiinin sisältämällä hiilivedyillä on huomattavasti toisistaan poikkeavat sulamispisteet. Palmusteariinin lisäys parafiinin

joukkoon aiheutti sen, että sulamispiste laski, vaikka palmusteariinin sulamispiste mitattiin olevan parafiinin sulamispistettä korkeampi. Tämä johtuu todennäköisesti koko seoksen rakenteen muuttumisesta. Seoksen koostumus vaikeuttaa sulamispisteiden määrittystä, koska hiilivedyt ja rasvahapot sulavat eri pisteissä eikä seos ole homogeeninen.

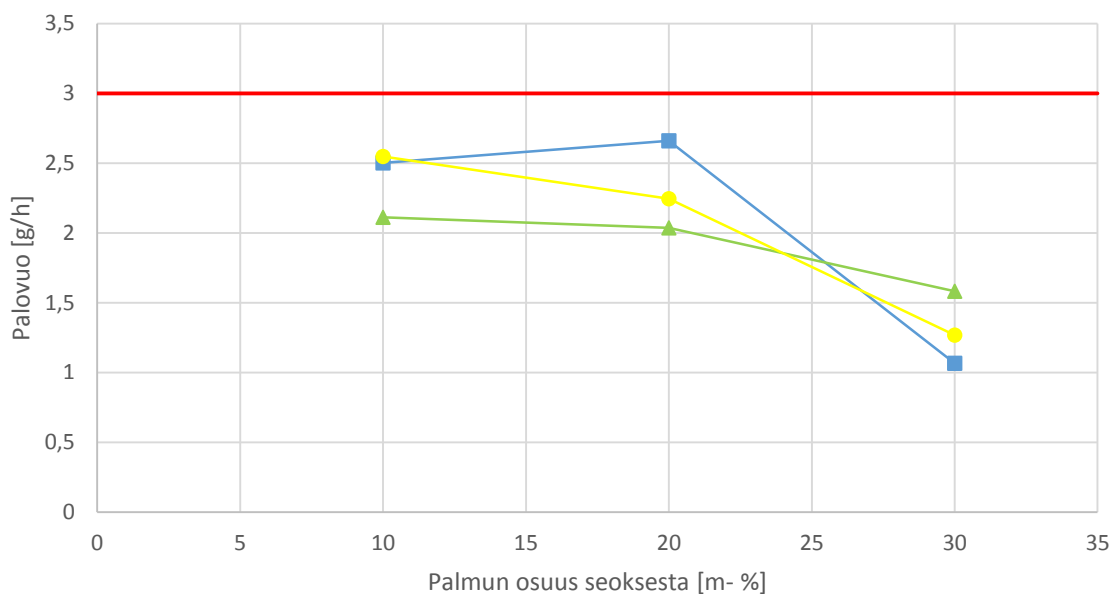
5.2 PALMUPOHJAISET RAAKA-AINEET JA STEARIINI

Kuvassa 12 on esitetty steariinin ja palmupohjaisten raaka-aineiden seoksista valmistettujen lämpökynntilöiden liekinkorkeuksien muuttuminen eri seossuhteilla. Steariinista korvattiin 10, 20 ja 30 m- % palmusteariinilla, sen soft-fraktiolla sekä palmun mid-fraktiolla.



Kuva 12 Steariinin ja palmusteariinin, sen soft-fraktion ja palmun mid-fraktion seoksista valmistettujen lämpökynntilöiden liekinkorkeuksien muuttuminen eri seossuhteilla. Merkinnot: □ = palmusteariinin soft-fraktio + steariini; △ = palmun mid-fraktio + steariini; ○ = palmusteariini + steariini. Minimiliekinkorkeus on 14 mm:ä.

Kuvassa 13 on esitetty steariinin ja palmuraaka-aineiden seoksista valmistettujen lämpökynntilöiden palovuon muuttuminen eri seossuhteilla. Palovuon kertoo, kuinka paljon raaka-ainetta kuluu tunnissa.



Kuva 13 Steariinin ja palmusteariinin, sen soft-fraktion ja palmun mid-fraktion seoksista valmistettujen lämpökynttilöiden palovuon muuttuminen eri seossuhteilla. Merkinnot: □ = palmusteariinin soft-fraktio + steariini; Δ = palmun mid-fraktio + steariini; ○ = palmusteariini + steariini. Maksimipalovuoto 17 mm:n korkuiselle astialle keskimäärin 13,4 gramman täyttömäärällä on 3,0 g/h, kun palo-aika on vähintään neljä tuntia 15 minuutin turvamarginaalilla, ja jäännös on 5 %:a.

Kuvien 12 ja 13 mukaan seos, jossa oli 10 m- % palmusteariinin soft-fraktiota ja 90 m- % steariinia, paloi RAL-standardin vaatimusten mukaisesti. Liekin korkeus oli yli 14 mm ja lämpökynttilä paloi yli neljä tuntia. Liekki ei kuitenkaan sulattanut koko raaka-ainetta, vaan materiaalia oli reunoilla. Tämä johtuu todennäköisesti siitä, että palmusteariinin soft-fraktion (45 °C) ja steariinin (57 °C) sulamispisteillä on eroa 12 °C:tta. Sulamispisteiden ero aiheuttaa soft-fraktion palamisen nopeammin ja steariinin kertymisen valuastian reunoille.

Palmusteariinin 10 m- % osuudella seoksesta lämpökynttilä paloi yli 14 mm:n liekillä ja palo-aika oli yli neljä tuntia. Liekki ei kuitenkaan sulattanut koko raaka-ainetta eikä kynttilä visuaalisesti täyttänyt RAL-standardin vaatimuksia.

Kuvista 12 ja 13 havaitaan, että seos, jossa oli 20 m- % palmusteariinin soft-fraktiota ja 80 m- % steariinia, paloi RAL-standardin mukaisesti. Koko raaka-aine oli sulanut 180 minuutin

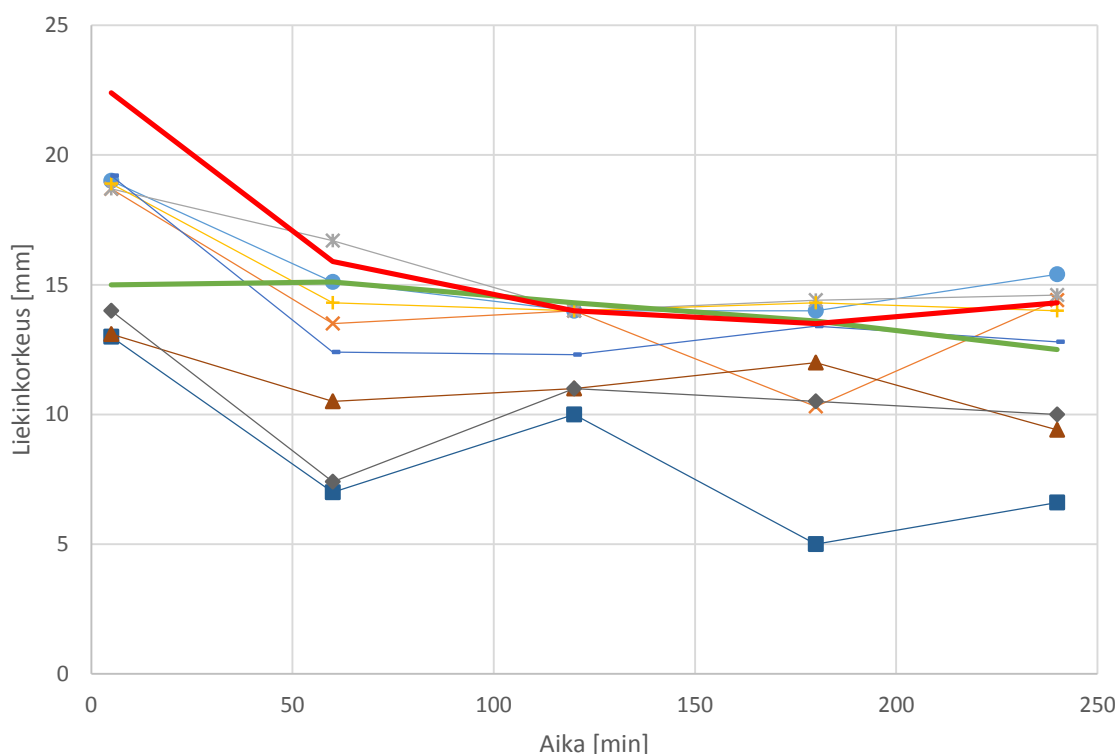
kuluttua lämpökynttilän sytyttämisestä, paloaika oli neljä tuntia ja liekinkorkeus oli yli 14 mm:ä. Seos, jossa oli 20 m- % palmusteariinia ja 80 m- % steariinia, paloi yli 14 mm:n liekillä ja paloaika oli neljä tuntia. Liekki ei sulattanut koko raaka-ainetta, vaan ainoastaan lämpökynttilän pinnan.

Kuvasta 12 nähdään, että palmusteariinin, sen soft-fraktion ja palmun mid-fraktion 30 m-%:n osuudella raaka-aineseoksesta liekinkorkeudet olivat koko tarkasteluajan liian pieniä. Vertailukynttilä, joka oli 100 % steariinia, ei myöskään palanut kunnolla, joten virhettä tuloksiin on todennäköisesti aiheuttanut steariinin rakenteen muuttuminen lämpökaapissa säilytyksen aikana.

Palmusteariinin soft-fraktio ei sovellu lämpökynttilän valmistukseen steariinin kanssa, koska erot sulamispisteissä sekä koostumuksessa aiheuttavat epätasaista palamista. Epätasaisuus näkyy myös palovuosta (Kuva 13). Lisäksi ongelmia voi aiheutua säilytys- sekä kuljetusolosuhteista.

Myöskään palmun mid-fraktio ei soveltunut seokseksi steariinin kanssa. Liekinkorkeudet olivat kaikilla käytetyillä seossuhteilla liian alhaisia ja raaka-ainetta jäi runsaasti valuastian reunoille. Mid-fraktion sulamispistettä ei tiedetä tarkasti ja sen sisältämät haaroittuneet triglyseridit (Taulukko II) pehmentävät koostumusta siten, että se ei pala tasaisesti. Steariinin ja palmun mid-fraktion sulamispisteiden ero on myös liian suuri, jotta seoksesta saataisiin tasainen.

Kuvassa 14 on esitetty liekinkorkeusprofiilit steariinille ja sen seoksille palmupohjaisten raaka-aineiden kanssa. Tuloksista havaitaan, että palmusteariinin ja steariinin seos 20 m-%:n osuudella palmuraaka-ainetta antaa tasaisemman liekinkorkeusprofiilin kuin pelkkä steariinkynttilä. Tämä voi johtua siitä, että palmusteariinia lisättäessä viskositeetti nousee ja raaka-aineen nouseminen pitkin sydänlankaa on tasaisempaa. Kuvasta nähdään myös, että palmun mid-fraktion seoksilla valmistettujen kynttilöiden liekinkorkeusprofiilit ovat pääosin erittäin epätasaisia.



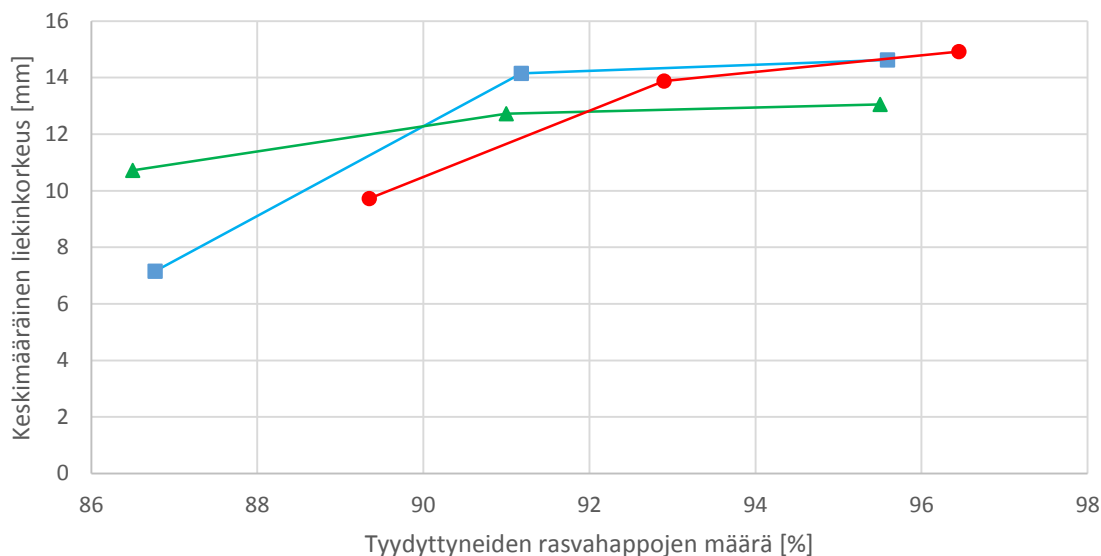
Kuva 14 Liekin korkeusprofiilit steariinille ja sen seoksille palmupohjaisten raaka-aineiden kanssa. Steariinin ja seoksen, jossa oli 20 m- %:a palmusteariinia, liekin korkeusprofiilit ovat lihavoituna. Epätasaisempi punaisella oleva profiili on steariinin ja vihreällä oleva on seoksen. Muut merkinnät: ○ = palmusteariini, soft 10 m- % + steariini; × = palmun mid-fraktio 10 m- % + steariini; * = palmusteariini 10 m- % + steariini; + = palmusteariini, soft 20 m- % + steariini; - = palmun mid-fraktio 20 m- % + steariini; □ = palmusteariini, soft 30 m- % + steariini; Δ = palmun mid-fraktio 30 m- % + steariini; ◇ = palmusteariini 30 m- % + steariini.

Taulukossa V on esitetty steariinin ja palmupohjaisten raaka-aineiden seoksista valmistettujen kynttilöiden visuaalista ilmettä kuvaavat sulan muodostuminen sekä langan asennot ja jäännösprosentit.

Taulukko V Steariinin ja palmupohjaisisten raaka-aineiden seoksista valmistettujen lämpökynttilöiden poltossa tehdyt huomiot sulan muodostumisesta ja langan asennosta sekä jäännös- %:t neljän tunnin polton jälkeen.

Seos [% = m- %]	Sula	Lanka	Jäännös- %
Palmusteariini, soft 10 % + steariini 90 %	Raaka-ainetta reunoilla	Normaali	23
Palmun mid-fraktio 10 % + steariini 90 %	Raaka-ainetta reunoilla	Normaali	36
Palmusteariini 10 % + steariini 90 %	Raaka-ainetta reunoilla	Normaali	25
Palmusteariini, soft 20 % + steariini 80 %	180 min	Normaali	18
Palmun mid-fraktio 20 % + steariini 80 %	Raaka-ainetta reunoilla	Normaali	39
Palmusteariini 20 % + steariini 80 %	Sulattaa pinnan	Normaali	34
Palmusteariini, soft 30 % + steariini 70 %	Raaka-ainetta reunoilla	Normaali	60
Palmun mid-fraktio 30 % + steariini 70 %	Raaka-ainetta reunoilla	Normaali	42
Palmusteariini 30 % + steariini 70 %	Raaka-ainetta reunoilla	Normaali	52

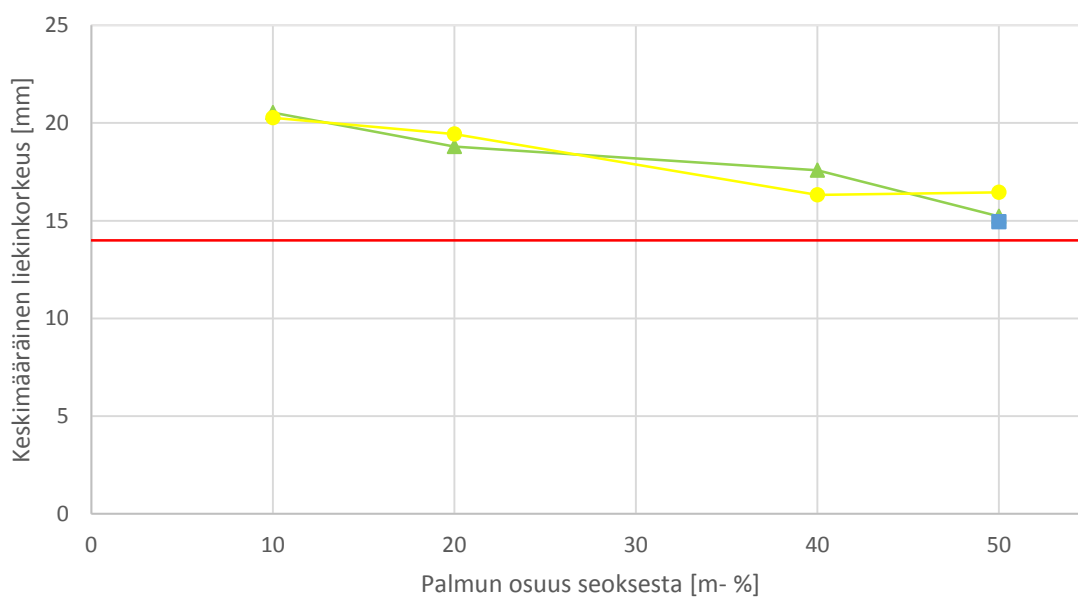
Steariinipohjaisten kynttilöiden liekinkorkeuden riippuvuus tyydyttyneiden rasvahappojen määrästä on esitetty kuvassa 15. Kuvasta huomataan, että tyydyttyneiden rasvahappojen lisääntyessä yhdisteen koostumuksessa liekinkorkeus kasvaa. Palmun mid-fraktio sisältää kaikista haaroittuneimpia rasvahappoketjuja, joten sen takia sitä sisältävien kynttilöiden liekinkorkeudet ovat pääasiassa alhaisimpia.



Kuva 15 Liekinkorkeuden riippuvuus tyydyttyneiden rasvahappojen määrästä. Merkinnot: □ = palmusteariinin soft-fraktio + steariini; Δ = palmun mid-fraktio + steariini; ○ = palmusteariini + steariini.

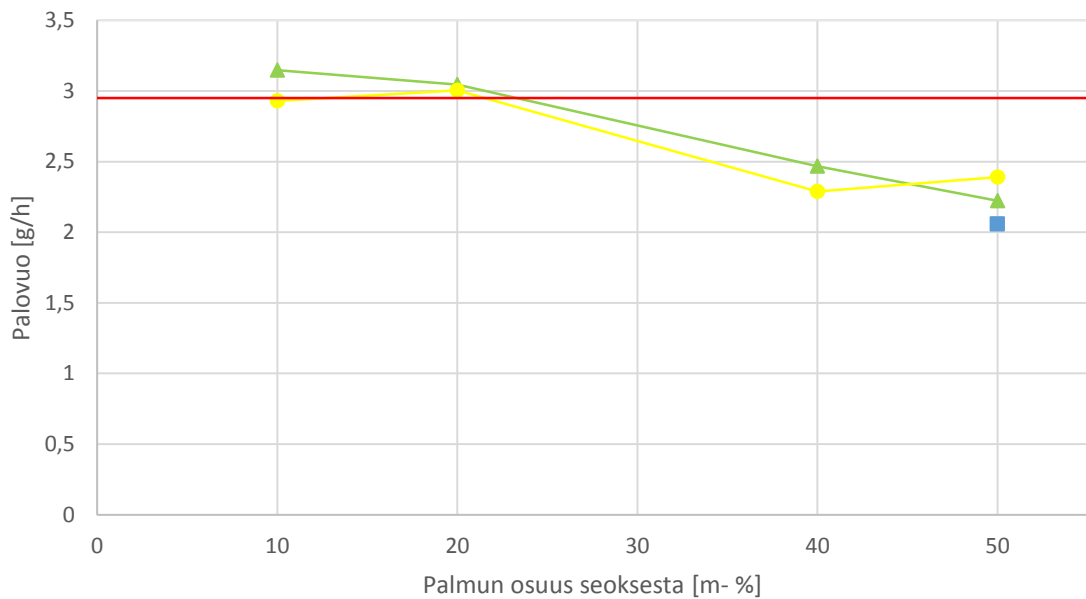
5.3 PALMUPOHJAISET RAAKA-AINEET JA PARAFIINI

Parafiini palaa suurella liekillä, joten palmusteariinin fraktioiden pieni lisäys parafiinin sekaan ei aiheuttanut muutosta liekinkorkeuteen, jolla parafiini palaa. Kuvassa 16 on esitetty parafiinin ja palmupohjaisten raaka-aineiden seoksista valmistettujen lämpökenttilöiden liekinkorkeuksien muuttuminen eri seossuhteilla.



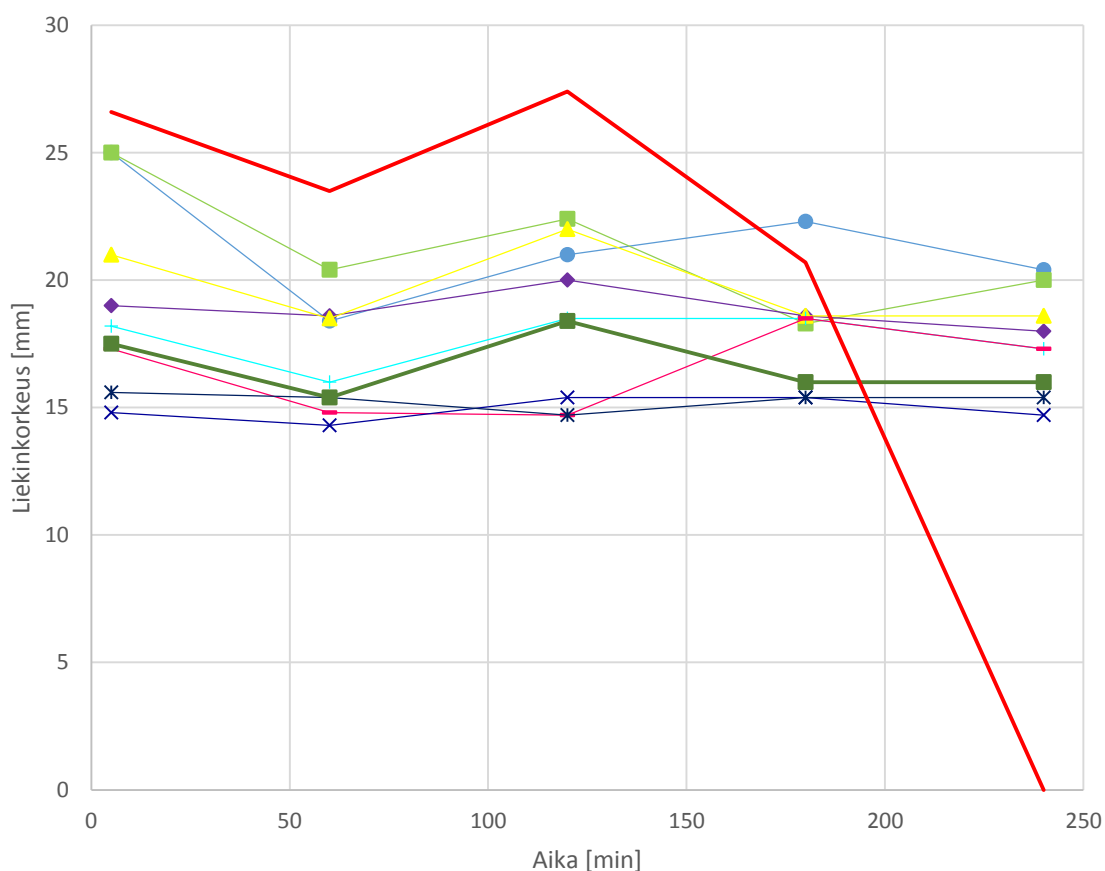
Kuva 16 Parafiinin ja palmusteariinin, sen soft-fraktion ja palmun mid-fraktion seoksista valmistettujen lämpökynttilöiden liekinkorkeuden muuttuminen eri seossuhteilla. Merkinnät: □ = palmusteariinin soft-fraktio + parafiini; △ = palmun mid-fraktio + parafiini; ○ = palmusteariini + parafiini. Minimiliekinkorkeus on 14 mm:ä.

Kuvassa 17 on esitetty palovuon muuttuminen eri seossuhteilla. Tarpeeksi suurella valuastialla (17 mm) varmistettiin vähintään neljän tunnin paloaika. Kun palmuraaka-ainetta on parafiinin joukossa yli 25 m- %:a, niin palovuon on sallituissa rajoissa.



Kuva 17 Parafiinin ja palmusteariinin, sen soft-fraktion ja palmun mid-fraktion seoksista valmistettujen lämpökynttilöiden palovuon muuttuminen eri seossuhteilla. Merkinnät: \square = palmusteariinin soft-fraktio + parafiini; Δ = palmun mid-fraktio + parafiini; \circ = palmusteariini + parafiini. Maksimipalovuo on 2,95 g/h, kun keskimääräinen täyttömäärä on 13,2 grammaa, paloaika on vähintään neljä tuntia 15 minuutin turvamarginaalilla, ja jäännös on 5 %:a.

Kuvassa 18 on esitetty liekinkorkeusprofiilit parafiinipohjaisille kynttilöille. Käyristä nähdään, että palmupohjaisten raaka-aineiden osuuden kasvaessa liekinkorkeusprofiili tasaantuu. Parafiinikynttilän liekinkorkeusprofiilista nähdään, että parafiinikynttilässä liekinkorkeus vaihtelee. Parafiinin hiilivetykoostumus aiheuttaa lämpötilamuutoksia ja sen takia liekinkorkeus vaihtelee. Steariinilla on tasaisempi sulamispiste, joten se tasoittaa palamisen aikana tapahtuvia lämpötilamuutoksia.



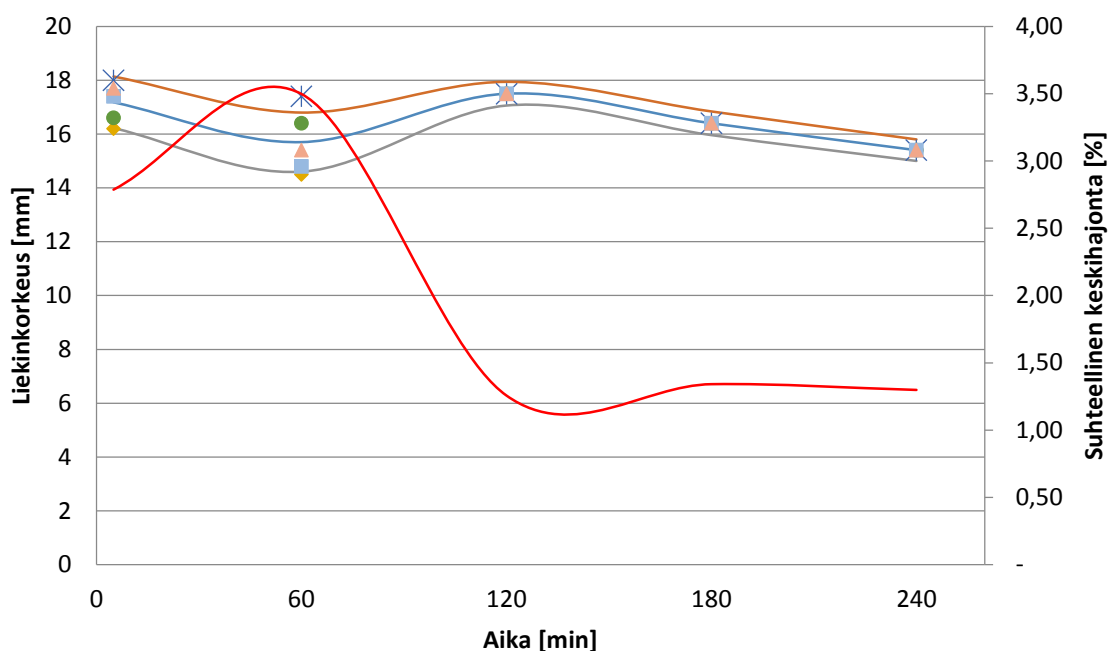
Kuva 18 Liekinkorkeusprofiilit parafiinille ja sen seoksille palmupohjaisten raaka-aineiden kanssa. Merkinnot: ○ = palmun mid-fraktio 10 m- % + parafiini; □ = palmusteariini 10 m- % + parafiini; ◇ = palmun mid-fraktio 20 m- % + parafiini; Δ = palmusteariini 20 m- % + parafiini; + = palmun mid-fraktio 40 m- % + parafiini; - = palmusteariini 40 m- % + parafiini; × = palmusteariini, soft 50 m- % + parafiini; ж = palmun mid-fraktio 50 m- % + parafiini; □ (paksumpi) = palmusteariini 50 m- % + parafiini. Punainen ylin käyrä on parafiinikynttilän liekinkorkeusprofiili.

Taulukossa VI on esitetty parafiinin ja palmupohjaisten raaka-aineiden seosten polttokokeissa ilmenneet visuaaliset huomiot sekä jäännös- %:t.

Taulukko VI Parafiinin ja palmupohjaisten raaka-aineiden seoksista valmistettujen lämpökynntilöiden polttokokeiden visuaaliset huomiot langan asennosta ja sulan muodostuksesta sekä jäännös- %:t neljän tunnin polton jälkeen.

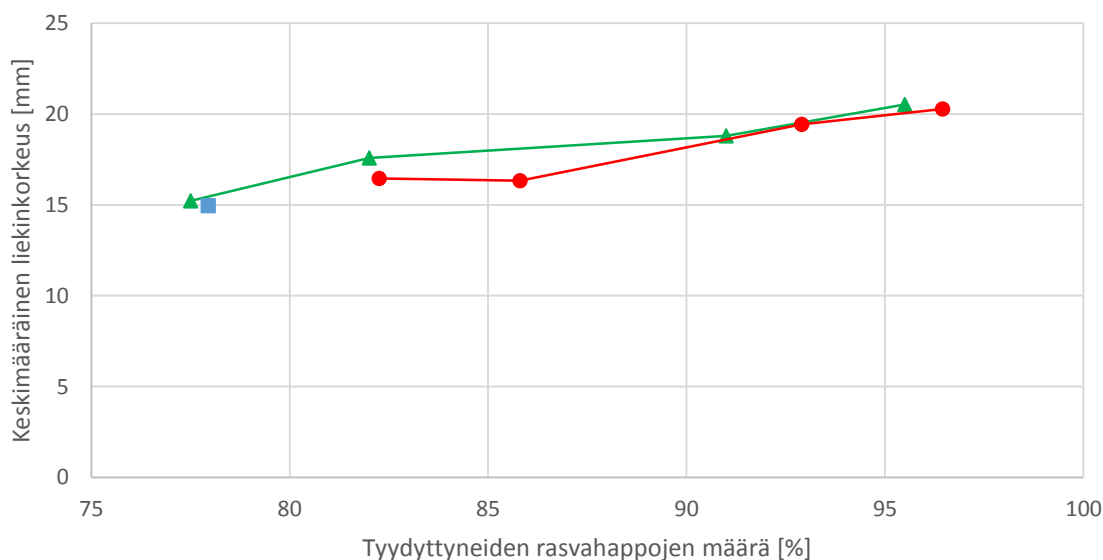
Seos [% = m- %]	Sula	Lanka	Jäännös- %
Palmun mid-fraktio 10 % + parafiini 90 %	100 min	Normaali	5,3
Palmusteariini 10 % + parafiini 90 %	100 min	Normaali	6,0
Palmun mid-fraktio 20 % + parafiini 80 %	100 min	Normaali	5,4
Palmusteariini 20 % + parafiini 80 %	100 min	Normaali	5,9
Palmun mid-fraktio 40 % + parafiini 60 %	60 min	Sieni	28
Palmusteariini 40 % + parafiini 60 %	100 min	Normaali	29
Palmusteariini, soft 50 % + parafiini 50 %	60 min	Normaali	36
Palmun mid-fraktio 50 % + parafiini 50 %	60 min	Normaali	31
Palmusteariini 50 % + parafiini 50 %	60 min	Normaali	26

Parafiinin ja palmusteariinin seoksista tehtiin lopuksi viisi toistoa palmusteariinin osuudella 40 m- %. Toistokynntilöiden liekinkorkeudet, niiden keskiarvo ja suhteellinen keskihajonta on esitetty kuvassa 19. Lisäksi siinä on esitetty 95 % luottamustasolla lasketut ylä- ja alarajat liekinkorkeuksille. Liekinkorkeudet poikkeavat sallittujen rajojen ulkopuolelle vielä 60 minuutin kohdalla, mutta sen jälkeen ne pysyvät selvästi rajojen sisäpuolella. Suhteellisesta keskihajonnasta havaitaan, että ennen 60 minuutin palamisaikaa liekinkorkeudet poikkeavat toisistaan noin kolme prosenttia, mutta sen jälkeen poikkeavuus on noin yhden prosentin luokkaa.



Kuva 19 Parafiinista ja palmusteariinista suhteella 40 m- % valmistettujen toistokynttilöiden liekinkorkeudet, niiden keskiarvo ja 95 % luottamustasolla lasketut ylä- ja alarajat sekä suhteellinen keskihajonta. Merkinnot: \diamond = toisto 1; \ast = toisto 2; \circ = toisto 3; \square = toisto 4; Δ = toisto 5. Kolme vierekkäistä käyrää ovat yläraja, keskiarvo ja alaraja, suhteellisen keskihajonnan arvot luetaan oikealta.

Parafiinipohjaisten lämpökynttilöiden liekinkorkeuksien riippuvuus tyydyttyneiden rasvahappojen määrästä on esitetty kuvassa 20. Kuvasta havaitaan, että parafiinikynttilöissä palmupohjaisen raaka-aineen pieni lisäys ei tuo merkittävää muutosta liekinkorkeuteen, koska parafiinin sisältämät tyydyttyneet hiilivedyt ovat huomattavasti pitkäketjuisempia kuin palmupohjaisten raaka-aineiden ja steariinin sisältämien rasvahappojen ketjut. Tämän takia parafiinipohjaiseen kynttilään on lisättävä palmuraaka-ainetta enemmän kuin steariinipohjaiseen kynttilään, jotta liekinkorkeutta saadaan laskettua. Tyydyttyneiden ja tyydyttymättömien rasvahappojen suhde raaka-aineessa vaikuttaa merkittävästi lämpökynttilän liekinkorkeuteen, mutta steariinipohjaisessa kynttilässä erot ovat suurempia.



Kuva 20 Parafiinikynttilöiden liekinkorkeuksien riippuvuus tyydyttyneiden rasvahappojen määrästä. Merkinnot: □ = palmusteariinin soft-fraktio + parafiini; Δ = palmun mid-fraktio + parafiini; ○ = palmusteariini + parafiini.

Parafiinikynttilöissä ei ollut merkitystä, millä fraktiolla seokset valmistettiin. Liekinkorkeus ja palovuo laskivat lineaarisesti palmupohjaisten raaka-aineiden osuuden kasvaessa. Parafiinipohjaiset kynttilät olivat myös visuaalisesti hyviä, pinta oli tasainen ja väri pysyi valkoisena. Optimalue palmupohjaisten raaka-aineiden lisäykselle parafiiniin on 35 – 50 m-%:a.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Palmusteariini, sen soft-fraktio eikä palmun mid-fraktio soveltu käytettäväksi lämpökynttilässä seoksena steariinin kanssa ainakaan työssä käytetyllä sydänlangalla. Vaikka liekinkorkeus ja palovuo saataisiinkin optimoitua, suuret erot sulamispisteissä ja koostumuksessa aiheuttavat raaka-aineseoksen epätasaista palamista. Vaihtelevat valulämpötilat (LIITE I) ovat todennäköisesti myös vaikuttaneet steariinipohjaisten lämpökynttilöiden kiderakenteeseen.

Ongelmiksi nousevat myös vaihtelevat säilytys- ja kuljetusolosuhteet. Teollisuudessa täytyy olla mahdollista pakata lämpökynttilöitä paketteihin, jossa ne ovat päällekkäin ja joutuvat kestämään fyysistä rasitusta. Epätasalaatuinen raaka-aineseos ei välttämättä kestä rasitusta ja vaihtuvia olosuhteita.

Palmupohjaisia raaka-aineita voidaan käyttää lämpökynttilässä 35 – 50 m- %:n suhteella parafiinin kanssa. Lisättäessä palmusteariinia parafiiniin, saadaan laskettua liekinkorkeutta ja palovuota lineaarisesti. Parafiinin kanssa ei näyttänyt olevan merkitystä, käytetäänkö palmusteariinia, sen soft-fraktiota vai jalostuksessa syntyvää palmun mid-fraktiota. Palmusteariinin soft-fraktio ja palmun mid-fraktio antoivat tasaisimmat liekinkorkeusprofiilit suuremmilla palmuraaka-aineen osuuksilla, mutta palmusteariinin ominaisuudet, kuten korkea sulamispiste, sopivat parhaiten kynttilänvalmistukseen.

Raaka-ainevalintoja tehtäessä on kuitenkin otettava huomioon, että palmupohjaisen raaka-aineen osuuden kasvaessa heikkenevät muut lämpökynttilän ominaisuudet, kuten kovuus ja sulamispiste. Sulamispisteen alentuessa nousevat esiin kysymykset tuotteen säilytettävyydestä ja kuljetusolosuhteista.

Steariinipohjaisissa lämpökynttilöissä voitaisiin päästä parempiin tuloksiin, jos sydänlangan ominaisuuksia optimoitaisiin seokselle sopivammaksi. Palmusteariinia voitaisiin lisätä steariiniin kuitenkin enintään noin 20 m- %.

Tuotekehittelyssä huomiota tulisi kiinnittää sydänlangan soveltuvuuteen ja eri seosten kiteytymiseen. Seoksissa tulee ottaa huomioon viskositeetin muutokset sekä erot sulamispisteissä. Tyydyttyneiden ja tyydyttymättömien rasvahappojen suhde raaka-aineseoksessa on olennainen tekijä, joka vaikuttaa lämpökynttilän liekinkorkeuteen.

LÄHDELUETTELO

Arola, A. (2014), *Lämpökynntilän palo-ominaisuuksiin vaikuttavien tekijöiden analytiikka: raaka-aineet, sydänlanka, rakenne ja olosuhteet*, diplomityö, Lappeenrannan teknillinen yliopisto, teknillinen tiedekunta

Candle Making Techniques (2015), *How to Make Container Candles*, Peak Candle Supplies, [viitattu: 3.4.2015], saatavilla: <http://www.candletech.com/candle-making/how-to-make-container-candles/>

European Candle Association (2015), Manufacturing, [viitattu 30.3.2015], saatavilla: http://www.eca-candles.com/index.php?newsid=91&sprach_id=en&rubrik=27&topnav=6&sprach_id=en#Casting

Goh, E. M., Timms, R. E. (1985), *Determination of mono- and diglycerides in palm oil, olein and stearin*

Hutri, J. (2014), *Lämpökynntilän raaka-aineiden hinnat*, Suomen Kerta Oy, suullinen tiedonanto

Matthäi, M., Petereit, N. (2007), *The Quality Candle*, sähköinen julkaisu, European Candle Association, saatavilla: <http://www.eca-candles.com/pdf/Matthaei-Petereit-2004-The-Quality-Candle.pdf>

National Candle Association (2015a), *Brief Descriptions of Candle Wax Types*, [viitattu: 15.2.2015], saatavilla: <http://docz.io/doc/3378959/brief-descriptions-of-candle-wax-types>

National Candle Association (2015b), *Candle Science*, [viitattu 15.2.2015], saatavilla: <http://candles.org/candle-science/>

Nor Hayati, I., Aminah', A., Mamot, S. (2000), *Melting Characteristic and Solid Fat Content of Milk Fat and Palm Stearin Blends Before and After Enzymatic Interesterification*

Nussle, W. (1971), *Candle Crafting From an Art to a Science*, A. S. Barnes and Co., Inc.

Ogan, I. Mba, Dumont, M.-J., Ngadi, M. (2014), *Palm oil: Processing, characterization and utilization in the food industry – A Review*

Malaysian Palm Oil Board (MPOB), Palm Oil World (2015), *About Palm Oil*, [viitattu 10.2.2015], saatavilla: http://www.palmoilworld.org/about_palmoil.html

Quality Assurance RAL-GZ 041, Candles, 2014

Reinikainen, S.-P. (2015), Yhteenveto raaka-ainetoimittajien tuoteselosteista, Lappeenrannan teknillinen yliopisto

Virtual Amrita Laboratories Universalizing Education (2015), Estimation of Iodine Value of Fats and Oils, [viitattu 1.4.2015], saatavilla:
<http://amrita.vlab.co.in/?sub=3&brch=63&sim=1111&cnt=1>

Wai-Lin, S., Johari, M. (2007), *Palm oil and fractions*, MPOB, Seminaari

Valeri, D., Meirelles, A. J. A. (1997), *Viscosities of Fatty Acids, Triglycerides, and Their Binary Mixtures*, Department of Food Engineering, Campinas State University, Campinas, São Paulo, Brazil

West Deutsche Dochtfabrik (WeDo) (2015), Wicks, [viitattu: 1.4.2015], saatavilla:
<http://www.wedowick.de/wicks/overview/>

West, S., (2013), CSI – Candle System Investigation – Candle Detectives at Work, WeDo

Taulukko I Palmusteariinin soft-fraktio 10 m- % + steariini.

	m [g]		valulämpötila [°C]
astia	1,03	palmu	71
1.valu	7,11	steariini	71
2.valu	14,21	1.valu	65
raaka-aine	13,18	2.valu	68

Taulukko II Palmun mid-fraktio 10 m- % + steariini.

	m [g]		valulämpötila [°C]
astia	1,01	palmu	65
1.valu	7,39	steariini	70
2.valu	14,25	1.valu	65
raaka-aine	13,24	2.valu	68

Taulukko III Palmusteariini 10 m- % + steariini.

	m [g]		valulämpötila [°C]
astia	1,04	palmu	65
1.valu	8,30	steariini	68
2.valu	14,79	1.valu	60
raaka-aine	13,75	2.valu	64

Taulukko IV Palmusteariinin soft-fraktio 20 m- % + steariini.

	m [g]		valulämpötila [°C]
astia	1,04	palmu	70
1.valu	8,15	steariini	73
2.valu	14,07	1.valu	59
raaka-aine	13,03	2.valu	60

Taulukko V Palmun mid-fraktio 20 m- % + steariini.

	m [g]		valulämpötila [°C]
astia	1,03	palmu	76
1.valu	7,55	steariini	74
2.valu	14,46	1.valu	71
raaka-aine	13,43	2.valu	66

Taulukko VI Palmusteariini 20 m- % + steariini.

	m [g]		valulämpötila [°C]
astia	1,04	palmu	74
1.valu	7,71	steariini	74
2.valu	14,69	1.valu	69
raaka-aine	13,65	2.valu	66

Taulukko VII Palmusteariinin soft-fraktio 30 m- % + steariini.

	m [g]		valulämpötila [°C]
astia	1,03	palmu	70
1.valu	7,62	steariini	75
2.valu	14,36	1.valu	72
raaka-aine	13,33	2.valu	73

Taulukko VIII Palmun mid-fraktio 30 m- % + steariini.

	m [g]		valulämpötila [°C]
astia	1,03	palmu	70
1.valu	7,14	steariini	75
2.valu	14,70	1.valu	72
raaka-aine	13,67	2.valu	73

Taulukko IX Palmusteariini 30 m- % + steariini.

	m [g]		valulämpötila [°C]
astia	1,03	palmu	70
1.valu	7,14	steariini	75
2.valu	14,70	1.valu	72
raaka-aine	13,67	2.valu	73

Taulukko X Palmun mid-fraktio 10 m- % + parafiini.

	m [g]		valulämpötila [°C]
astia	1,01	palmu	73
1.valu	7,99	steariini	72
2.valu	14,30	1.valu	75
raaka-aine	13,29	2.valu	72

Taulukko XI Palmusteariini 10 m- % + parafiini

	m [g]		valulämpötila [°C]
astia	1,03	palmu	74
1.valu	7,65	steariini	72
2.valu	13,76	1.valu	73
raaka-aine	12,73	2.valu	75

Taulukko XII Palmun mid-fraktio 20 m- % + parafiini.

	m [g]		valulämpötila [°C]
astia	1,04	palmu	73
1.valu	8,60	steariini	72
2.valu	14,18	1.valu	72
raaka-aine	13,14	2.valu	73

Taulukko XIII Palmusteariini 20 m- % + parafiini

	m [g]		valulämpötila [°C]
astia	1,04	palmu	72
1.valu	7,76	steariini	73
2.valu	14,08	1.valu	72
raaka-aine	13,04	2.valu	73

Taulukko XIV Palmun mid-fraktio 40 m- % + parafiini.

	m [g]		valulämpötila [°C]
astia	1,03	palmu	72
1.valu	8,65	steariini	72
2.valu	14,92	1.valu	72
raaka-aine	13,89	2.valu	72

Taulukko XV Palmusteariini 40 m- % + parafiini.

	m [g]		valulämpötila [°C]
astia	1,03	palmu	72
1.valu	7,05	steariini	72
2.valu	14,26	1.valu	72
raaka-aine	13,23	2.valu	72

Taulukko XVI Palmusteariinin soft-fraktio 50 m- % + parafiini.

	m [g]		valulämpötila [°C]
astia	1,03	palmu	72
1.valu	8,44	steariini	72
2.valu	14,17	1.valu	72
raaka-aine	13,17	2.valu	72

Taulukko XVII Palmun mid-fraktio 50 m- % + parafiini.

	m [g]		valulämpötila [°C]
astia	1,03	palmu	74
1.valu	7,07	steariini	73
2.valu	14,16	1.valu	72
raaka-aine	13,12	2.valu	72

Taulukko XVIII Palmusteariini 50 m- % + parafiini.

	m [g]		valulämpötila [°C]
astia	1,03	palmu	72
1.valu	7,30	steariini	72
2.valu	14,24	1.valu	72
raaka-aine	13,21	2.valu	72

Taulukko XIX Palmusteariini 40 m- % + parafiini. Toistokynttilä 1.

	m [g]		valulämpötila [°C]
astia	1,02	palmu	75
1.valu	7,50	steariini	73
2.valu	15,32	1.valu	72
raaka-aine	14,30	2.valu	72

Taulukko XX Palmusteariini 40 m- % + parafiini. Toistokynttilä 2.

	m [g]		valulämpötila [°C]
astia	1,03	palmu	75
1.valu	7,13	steariini	73
2.valu	14,89	1.valu	72
raaka-aine	13,87	2.valu	72

Taulukko XXI Palmusteariini 40 m- % + parafiini. Toistokynttilä 3.

	m [g]		valulämpötila [°C]
astia	1,03	palmu	75
1.valu	7,27	steariini	73
2.valu	15,47	1.valu	72
raaka-aine	14,44	2.valu	72

Taulukko XXII Palmusteariini 40 m- % + parafiini. Toistokynttilä 4.

	m [g]		valulämpötila [°C]
astia	1,03	palmu	75
1.valu	7,75	steariini	73
2.valu	14,73	1.valu	72
raaka-aine	13,70	2.valu	72

Taulukko XXIII Palmusteariini 40 m- % + parafiini. Toistokynttilä 5.

	m [g]		valulämpötila [°C]
astia	1,03	palmu	75
1.valu	7,06	steariini	73
2.valu	15,70	1.valu	72
raaka-aine	14,67	2.valu	72

Taulukko I Mitatut liekinkorkeudet 10 m- % seoksille steariinin kanssa. Liekinkorkeudet ovat millimetreinä [mm].

Aika [min]	Palmusteariini, soft 10 m- % + steariini	Palmu, mid 10 m- % + steariini	Palmusteariini 10 m- % + steariini
5	19,0	18,7	18,7
60	15,1	13,5	16,7
120	14,0	14,0	14,0
180	14,0	10,3	14,4
240	15,4	14,4	14,6

Taulukko II Mitatut liekinkorkeudet 20 m- % seoksille steariinin kanssa. Liekinkorkeudet ovat millimetreinä [mm].

Aika [min]	Palmusteariini, soft 10 m- % + steariini	Palmu, mid 10 m- % + steariini	Palmusteariini 10 m- % + steariini
5	18,9	19,2	15,0
60	14,3	12,4	15,1
120	14,0	12,3	14,3
180	14,3	13,4	13,6
240	14,0	12,8	12,5

Taulukko III Mitatut liekinkorkeudet 30 m- % seoksille steariinin kanssa. Liekinkorkeudet ovat millimetreinä [mm].

Aika [min]	Palmusteariini, soft 10 m- % + steariini	Palmu, mid 10 m- % + steariini	Palmusteariini 10 m- % + steariini
5	13,0	13,1	14,0
60	7,0	10,5	7,4
120	10,0	11,0	11,0
180	5,0	12,0	10,5
240	6,6	9,4	10,0

Taulukko IV Mitatut liekinkorkeudet 10 m- % seoksille parafiinin kanssa. Liekinkorkeudet ovat millimetreinä [mm].

Aika [min]	Palmu, mid 10 m- % + parafiini	Palmusteariini 10 m- % + parafiini
5	25,0	25,0
60	18,4	20,4
120	21,0	22,4
180	22,3	18,3
240	20,4	20,0

Taulukko V Mitatut liekinkorkeudet 20 m- % seoksille parafiinin kanssa. Liekinkorkeudet ovat millimetreinä [mm].

Aika [min]	Palmu, mid 20 m- % + parafiini	Palmusteariini 20 m- % + parafiini
5	19,0	21,0
60	18,6	18,5
120	20,0	22,0
180	18,6	18,6
240	18,0	18,6

Taulukko VI Mitatut liekinkorkeudet 40 m- % seoksille parafiinin kanssa. Liekinkorkeudet ovat millimetreinä [mm].

Aika [min]	Palmu, mid 40 m- % + parafiini	Palmusteariini 40 m- % + parafiini
5	18,2	17,3
60	16,0	14,8
120	18,5	14,7
180	18,5	18,5
240	17,3	17,3

Taulukko VII Mitatut liekinkorkeudet 50 m- % seoksille parafiinin kanssa. Liekinkorkeudet ovat millimetreinä [mm].

Aika [min]	Palmusteariini, soft 50 m- % + parafiini	Palmu, mid 50 m- % + parafiini	Palmusteariini 50 m- % + parafiini
5	14,8	15,6	17,5
60	14,3	15,4	15,4
120	15,4	14,7	18,4
180	15,4	15,4	16,0
240	14,7	15,4	16,0

Taulukko VIII Toistokynttilöiden liekinkorkeudet. Toistot tehtiin parafiinikynttilöillä 40 m- % osuudella palmusteariinia. Liekinkorkeudet ovat millimetreinä [mm].

Aika [min]	Toisto 1	Toisto 2	Toisto 3	Toisto 4	Toisto 5
5	16,2	18,0	16,6	17,4	17,7
60	14,5	17,4	16,4	14,8	15,4
120	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5
180	16,4	16,4	16,4	16,4	16,4
240	15,4	15,4	15,4	15,4	15,4



Kuva 1 Vasemmalla raaka-ainetta kertynyt reunoille, oikealla raaka-aine sulanut.



Kuva 2 Palamatonta raaka-ainetta lämpökynttilän reunoilla.



Kuva 3 Lämpökaapissa kauan seisonut steariini ei enää toiminut kynttilän raaka-aineena.