

Henrik Paatsamala

YHDISTELMÄMUOVIN EKSOTERMISUUS KOVETTUMISREAKTIOS-
SA

Syventävien opintojen kirjallinen työ
Syyslukukausi 2021

Henrik Paatsamala

YHDISTELMÄMUOVIN EKSOTERMISUUS KOVETTUMISREAKTIOSSA

Syventävien opintojen kirjallinen työ
Syyslukukausi 2021
Vastuuhenkilöt: Pekka Vallittu, Lippo Lassila

TIIVISTELMÄ

Tutkimus toteutettiin Turun yliopiston hammaslääketieteen laitoksen biomateriaalitieteen laboratoriossa Turku Clinical Biomaterials Centre:ssä (TCBC). Yhdistelmämuovi (YM) koostuu nimensä mukaisesti useasta eri komponentista, jotka ovat monomeeriseos, initiaattori, aktivaattori, täyteaineet eli fillerit sekä mahdolliset lisäaineet. YM:n kovettumisreaktio on vapaiden radikaalien käynnistämää polymeroitumista ja YM-täyte lämpenee kovetuksen käynnistyttyä valon avulla. Kovettumisreaktio on eksoterminen ja se lämmittää ympäröivää hammaskudosta. Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää yhdistelmämuovitäytteen polymeroisitumisesta vapautuvan lämpöenergian määrä kliinisesti testikaviteetin pohjan tasolta mitattuna. Lisäksi tavoitteena on pohtia havaitun vapautuneen lämpöenergian määrään suhteuttaen lämpenemisen mahdolliset vaikutukset ympäröivään hammas- tai pulpakudokseen.

Tutkimusta varten tutustuttiin PubMed-haun kautta vastaaviin tutkimuksiin, joiden pohjalta suunniteltiin tutkimuksessa käytettävä koeasetelma ja laitteisto. Lämpötilan muutos mitattiin K-tyyppin termoparilla (PeakTech). Valokovettajana toimi LED-valokovetin (3M ESPE Elipar DeepCure-L). Materiaaleina käytettiin juoksevaa bulk-fill tyyppistä (everX Flow Bulk Shade) ja instrumentein muokattavaa yhdistelmämuovia (G-aenial Posterior), jotka vietiin standardissa määritellyn sylinterin muotoiseen testikaviteettiin (ISO 6874) ja valokovetettiin lämpötilaa samalla mitaten. Saadut lämpötila-arvot taulukoitiin ja analysoitiin tilastollisesti. Mittaukset toistettiin kahdelle eri kontrolliasetelmalle, jotka olivat ilmalla ja kovetetulla YM-täytetty kaviteetti.

Suurin lämpötila valokovetuksen yhteydessä mitattiin tyhjässä testikaviteetissa 57.4 °C (positiivinen kontrolli). Bulk-fill tyyppisessä 4 mm YM-paikkauksessa mitattiin alhaisempi lämpötila 48.3 °C. Kahdessa 2 mm kerroksessa kovetetun hyvin filleripitoisen G-aenial posterior yhdistelmämuovin aiheuttama huippulämpötila oli pienin 36.8 °C.

Valokovettajan aiheuttama lämpötilan muutos vaikuttaa olevan huomattavasti suurempi kuin yhdistelmämuovin kovettumisen aiheuttama. YM mahdollisesti suojaa ympäröivää hammaskudosta voimakkailta lämpötilan muutoksilta. Syvissä preparoinneissa voimakas lämpötilan muutos YM-materiaalia kovetettaessa saattaa aiheuttaa kudosisäilytyksiä ympäröivään hammas- tai pulpakudokseen.

SISÄLLYS

| | |
|--|----|
| 1 JOHDANTOLUKU | 2 |
| 1.1 Tutkimuksen tausta | 2 |
| 1.2 Tutkimuksen aiheenrajaus | 3 |
| 1.3 Tutkimuksen tarkoitus | 3 |
| 2 TUTKIMUKSEN TARKOITUS JA HYPOTEEESIT | 5 |
| 2.1 Tutkimuksen tarkoitus | 5 |
| 2.2 Tutkimushypoteesit | 5 |
| 3 MENETELMÄT | 6 |
| 3.1 Mittalaitteisto ja välineet | 6 |
| 3.2 Koeasetelmavaihtoehdot..... | 7 |
| 3.3 Lopullinen koeasetelma | 9 |
| 4 TULOKSET | 16 |
| 4.1 Kontrollimittaukset..... | 16 |
| 4.2 Tutkimuksen tulokset | 16 |
| 5 POHDINTA..... | 21 |
| LÄHTEET | 23 |
| LIITTEET | 25 |

1 JOHDANTOLUKU

1.1 Tutkimuksen tausta

Nykyaikainen vastaanotolla tapahtuva hampaiden paikkaushoito tehdään yleisimmin yhdistelmämuovimateriaalilla (YM). YM-paikka valmistetaan potilaan suussa suoraan hampaalle. YM koostuu yksinkertaisimmillaan monomeereistä ja täyteaineesta. Näiden lisäksi yhdistelmämuovi sisältää initiaattorin, aktivaattorin sekä mahdollisesti erilaisia lisäaineita. Initiaattorit ja aktivaattorit reagoivat herkästi valokovettajan vapauttaman valon aallonpituuteen, ja aloittavat monomeerien polymeroitumisen. Lisäaineet vuorostaan muuttavat YM-materiaalin ulkoisia ominaisuuksia, kuten väriä, juoksevuutta, taivutuslujuutta tai röntgensäteiden absorbanssia. Kovettamaton täyteaine asetetaan hampaalle kaviteettiin ja polymeroidaan ultraviolettivalolla valmiiksi paikka-aineeksi. Tämä reaktio on eksotermien eli lämpöä vapauttava.

Yhdistelmämuovia on kolme eri päätyyppiä, jotka ovat kemialliskovetteinen, valokovetteinen sekä hieman vähemmän tunnettu lämpökovetteinen yhdistelmämuovi (1). Neljäs yleisesti käytössä oleva YM-tyyppi on kaksoiskovetteinen yhdistelmämuovi, jossa on sekä valo- että kemialliskovetteisen YM:n ainesosia ja ominaisuuksia. Kemialliskovetteista YM:ää hyödynnetään useimmiten proteesipohjalevyissä ja kaksoiskovetteista YM:ää hyödynnetään etenkin protetiikassa ja syvissä YM-täytteissä, joissa riittävää valotehoa ei pystytä takaamaan sementtoitaessa luotettavasti koko täytteen laajuudelta. Proteesipohjalevyissä yhdistelmämuovin monomeerikomponenttina toimii useimmiten nestemäinen metyylietakrylaatti (MMA), joka polymerisoiuu polymetyylietakrylaatiksi (PMMA) kovettuessaan. Monomeeriliuos sisältää MMA:n lisäksi kovettumisen käynnistävän initiaattorin (useimmiten bentsoyyliperoksidi). Nestemäinen monomeeriliuos sekoitetaan jauhemaiseen komponenttiin, jossa on hieman valmiiksi kovettua polymeeria, aktivaattorin (useimmiten dimetyyliitoluidiini) sekä mahdollisia lisäaineita. (2). Valokovetteisessa YM-materiaalissa MMA:n sijaan käytetään useimmiten bisGMA:ta ja TEGDMA:ta, jotka ovat molemmat metakrylaattipohjaisia monomeerejä. Näiden lisäksi materiaali sisältää valmiiksi initiaattoria (kamforikinoni) ja aktivaattoria (esimerkiksi DMAEMA, 2-dimetyyliaminoetyyli metakrylaatti). Valokovettajan sininen valo reagoi kamforikinonin kanssa, muodostaen vapaita radikaaleja, jotka käynnistävät YM-materiaalin kovettumisprosessin. (3,4).

YM:n monomeerien polymerisaatio on eksotermien reaktio, mikä voidaan havaita materiaalin lämpötilan nousuna valokovetuksen aikana. Tämä lämpöenergia välittyy YM-materiaalin pinnasta suoraan ympäröivälle hammaskudokselle. Hammaslääkärin vastaanotolla käytettävää akryylimateriaalia käytetään myös lonkkaproteesileikkauksissa proteesin sementoinnissa, joskin tämä materiaali on käytännön syistä usein kemialliskovetteista valokovetteisen sijaan (2). Lonkkaproteesin pinnan on

todettu lämpenevän kemiallisesti kovettuessaan jopa yli 70°C:een ennen implantointia (5).

Akryylisessä kokoproteesissa pohjalevyn polymerisointi toteutetaan 45°C vesiliuoksessa 2 baarin (300kPa) paineessa (kylmäakryyli) tai kiehuvaassa vedessä (keittoakryyli). Molemmilla akryylityypeillä eksotermisen reaktion nostaa kovettuvan muovin lämpötilaa merkittävästi: kolmen kuutiosenttimetrin kokoisen keittoakryylikappaleen polymerisaatio PMMA:ksi nostaa kappaleen sisällä lämpötilan jopa 140 asteeseen. (6).

Valokovetteisen dimatekrylaattimonomeerin ja siitä tehdyn YM:n kovettuminen on myös eksterminen reaktio, mutta eksotermisyys on vähäisempää täyteaineiden ottaessa noin puolet materiaalin tilavuudesta. Käytetyn YM-materiaalin lisäksi lämpötilamuutoksiin ja etenkin niiden nopeuksiin vaikuttavat valokovettajan tyyppi, valoteho sekä valokovetuksen ajallinen kesto. Saataville on viime vuosina tullut erittäin tehokkaita valokovettimia, mutta näiden on todettu nostavan YM-materiaalin lämpötilaa hyvin nopeasti. Nopean lämpötilan nousun epäillänsä mahdollisesti ärsyttävän hammaskudoksia enemmän kuin tasaisempi lämpötilan nousu. (7).

1.2 Tutkimuksen aiheenrajaus

Tutkimuksessa aihe rajattiin YM:n kovetuksessa vapautuvan lämpöenergian (lämpötilan nousu) määrän mittaamiseen testikaviteetin pohjatasolta. Tämä toteutettiin materiaalin alapinnan lämpötilaa mittaamalla valokovetuksen aikana ja sen jäähtymistä kovetuksen jälkeen. Vastaavia tutkimuksia on julkaistu tämän tutkimuksen alkaessa melko rajallinen määrä, joten tälle tutkimukselle oli tutkimuksellista tarvetta. Tämä tutkimus toimi samalla alkuvaiheen tutkimuksena mahdollisesti myöhemmin toteutettaville lämpötilamittauksiin perustuvilla jatkotutkimuksilla.

1.3 Tutkimuksen tarkoitus

Syvien kariesleesioiden paikkaushoidossa hyödynnettävät laajat YM-täytteet saattavat vaikuttaa dentiinin lämpenemisen tai mikrohalkeamien välityksellä myös hampaan pulpakudokseen. Elävässä hampaassa, sen ympäristössä ja etenkin hampaan pulpassa on eläviä soluja, jotka voivat vaurioitua tai jopa kuolla hallitsemattomasti (nekrotisoitua) liian korkealle nopeasti nousevan lämpötilan takia. Hampaan ytimen lämpötilan on aiemmissa tutkimuksissa todettu muuttuvan YM-materiaalien valokovetuksen aikana huomattavasti, mikä saattaa vaikuttaa pulpakudokseen haitallisesti (8).

Tutkimuksen perimmäisenä tarkoituksena on selvittää valokovetuksen ja YM-materiaalin kovettumisen aikana vapautuvan lämpöenergian (lämpötilan nousu) kokonaismäärää, jotta voidaan arvioida sen mahdollisia vaikutuksia ympäröivään hammas- ja pulpakudokseen. Myös materiaalien jäähtymisnopeus on solujen lämpöärsytyksen määrän kannalta merkittävä selvittää. Lisäksi voimakas

lämpötilan muutos yhdistettynä YM-materiaalin kovettumiskutistumaan tai muihin suureisiin voi olla paikan onnistumisen ja kestävyiden kannalta merkityksellistä.

2 TUTKIMUKSEN TARKOITUS JA HYPOTEESIT

2.1 Tutkimuksen tarkoitus

Tutkimuksen tavoitteena on tutkia kahden eri yhdistelmämuovimateriaalin polymerisoituessa vapauttamaa lämpöenergian määrää mittaamalla lämpötilan muutokset standardoidussa tilavuudessa. Vapautuneen lämpöenergian määrä vastaa lämpötilan muutosta koekappaleessa sekä sen ympäristössä. Kliinisessä tilanteessa YM-täyte kovetetaan suoraan hampaalle, jolloin lämpötilan muutos välittyy suoraan ympäröivään hammaskudokseen. Voimakkaat lämpötilan muutokset voivat vaurioittaa hammaskudosta etenkin hampaan ytimen välittömässä läheisyydessä. Tutkimus toimii pilottitutkimuksena Turun yliopiston biomateriaalitieteen oppiaineessa myöhemmin tehtäviin vastaaviin tutkimuksiin työskentelymenetelmiä ja uusia tutkimuksen koeasetelmia valittaessa.

2.2 Tutkimushypoteesit

Tutkimuksen peruskysymyksinä ovat selvittää kokeellisesti valokovetuksen ja yhdistelmämuovin polymerisaation vapauttaman lämpöenergian kliinisesti havaittava lämpötilan nousu sekä kirjallisuuteen pohjautuen sen mahdolliset vaikutukset hammaskudokseen tai muuhun ympäröivään materiaaliin. Perusoletuksina voidaan pitää kovettumisen aiheuttaman eksotermisen reaktion lisäävän lämpötilan nousua kovetuksen aikana. Toinen perusoletus on, että mitä enemmän YM-materiaalia kovetetaan sitä enemmän lämpöä se vapauttaa kovettuessaan.

Tiivistäen tutkimuksen hypoteesit voidaan esittää seuraavasti:

Hypoteesi 1: Yhdistelmämuovimateriaali vapauttaa polymerisoituessaan lämpöä merkitsevissä määrin enemmän kuin pelkkä valokovettaja.

Hypoteesi 2: Vapautuneen lämpöenergian määrä kasvaa lineaarisesti suhteessa kovetettavan yhdistelmämuovimateriaalin tilavuuteen.

3 MENETELMÄT

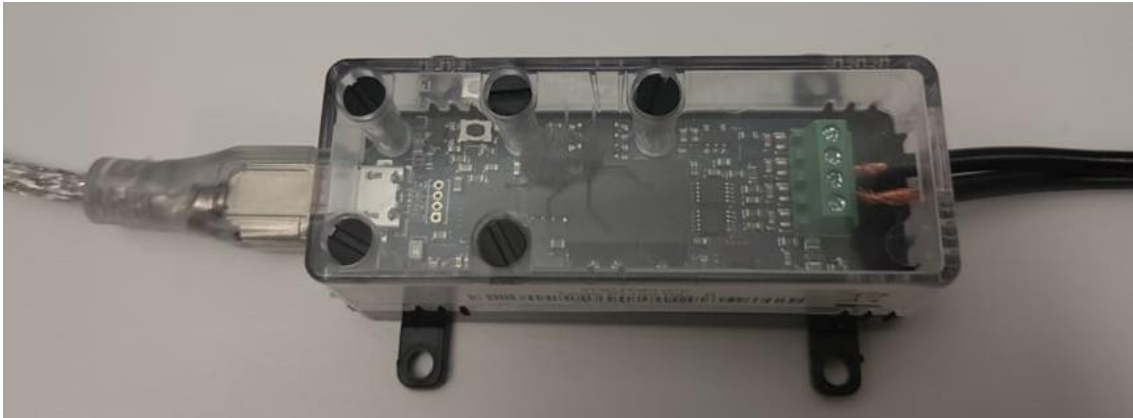
3.1 Mittalaitteisto ja välineet

Tutkimuksessa lämpötilan muutosten mittaamiseen käytettiin lämpötilamittaria, joka kiinnitettiin joko PT100-resistanssilämpöanturiin tai K-tyyppin termopariin. PT100-lämpöanturin toiminta perustuu resistanssin muutokseen lämpötilan funktiona anturin sisällä. K-tyyppin termopari koostuu kahdesta eri metallista valmistetusta johtimesta, jotka on kärjistään sulautettu yhteen. Lämpötilan muuttuessa johtimessa käytettävien metallien yhdyntäpisteeseen muodostuu jännite, jota mittaamalla lämpötilan muutoksen suuruus voidaan määrittää.

Lämpömittarina tutkimuksessa toimi valitusta lämpöanturista riippuen joko PeakTech (kuva 1) tai Yoctopuce (kuva 2). Mittareihin liitettävät anturit olivat K-tyyppiä PeakTech-mittarille ja PT100 Yoctopuce-mittarille.



Kuva 1. K-tyyppin anturin lämpötilanmittauslaite PeakTech. Kuva: Henrik Paatsamala.



Kuva 2. Pt100-tyypin anturin lämpötilanmittauslaite Yoctopuce. Kuva: Henrik Paatsamala.

Yksinkertaisimmillaan käytettävä mittalaitteisto koostui tukena toimivasta pohjamateriaalista, lämpöanturista, kivetystä yhdistelmämuovista sekä valokovettajasta. Näiden lisäksi tarvittiin testikaviteetin tilavuutta rajaava kehikko, ruuvipenkki testikappaleen stabilointiin ja teline pitämään valokovettajaa liikkumatta testikaviteetin yläpuolella valokovetuksen ajan.

Lämpöanturi vietiin testikaviteetin pohjan tasolle tukimateriaaliin porattavan kanavan lävitse, jonka jälkeen kanava tiivistettiin sopivalla materiaalilla anturin suojaamiseksi. Tilavuudeltaan rajattuun kaviteettiin vietiin kontrolloitu määrä yhdistelmämuovia, joka valokovetettiin. Anturi mittasi valokovetuksen aikana tapahtuvan lämpötilan muutoksen. Mitatut lämpötilat taulukoitiin ja sovitettiin käyrälle, josta voitiin päätellä materiaalin polymerisoituessa vapautuvan lämpöenergian määrä ajan funktiona. Mittaus toistettiin kahdella eri YM-materiaalilla, kahdessa eri tilavuudessa. Saatuja käyriä voitiin vertailla keskenään, jotta voitiin analysoida erilaisten materiaalikoostumusten vaikutusta vapautuvan lämpöenergian määrään.

3.2 Koeasetelmavaihtoehdot

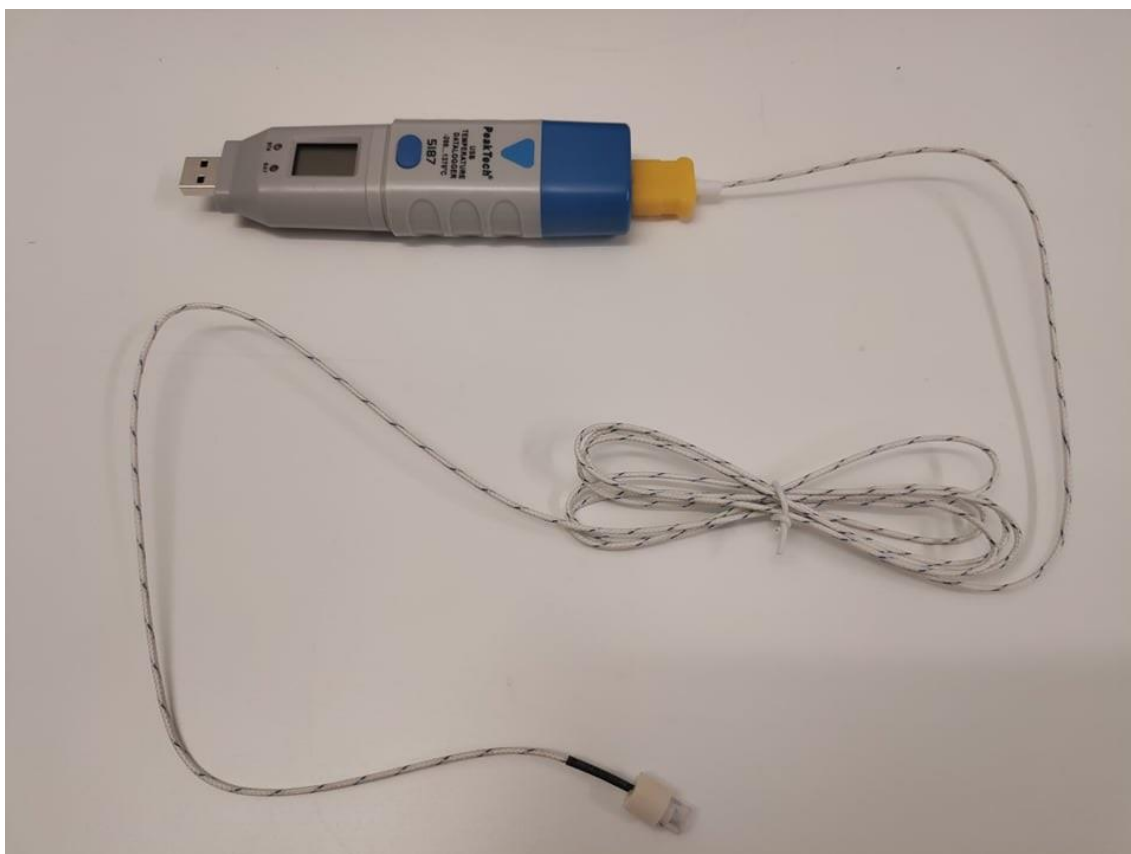
Tutkimuksen alkuvaiheessa mahdollisia koeasetelmia pohdittiin ja päädyttiin kahteen päätyyppiin:

Koeasetelma 1 (Koeputki): Testikaviteetti koostui polysiloksaani (Putty) materiaaliin upotetusta katkaistusta koeputkesta, jonka tilavuus oli tarkkaan määritetty. Putty-materiaali on usein hammasteknisissä tai kliinisissä töissä käytettävä karkean tarkkuuden jäljennösmateriaali. Lämpöanturi vietiin testikaviteetin pohjalle Putty-materiaaliin porattavan pienen kanavan kautta, joka tiivistettiin ennen kokeen suorittamista. Kokeessa testikaviteetti täytettiin yhdistelmämuovimateriaalilla, joka kovetettiin lämpötilaa samalla mitaten. Koe suoritettiin kolmella eri YM-materiaaleilla.

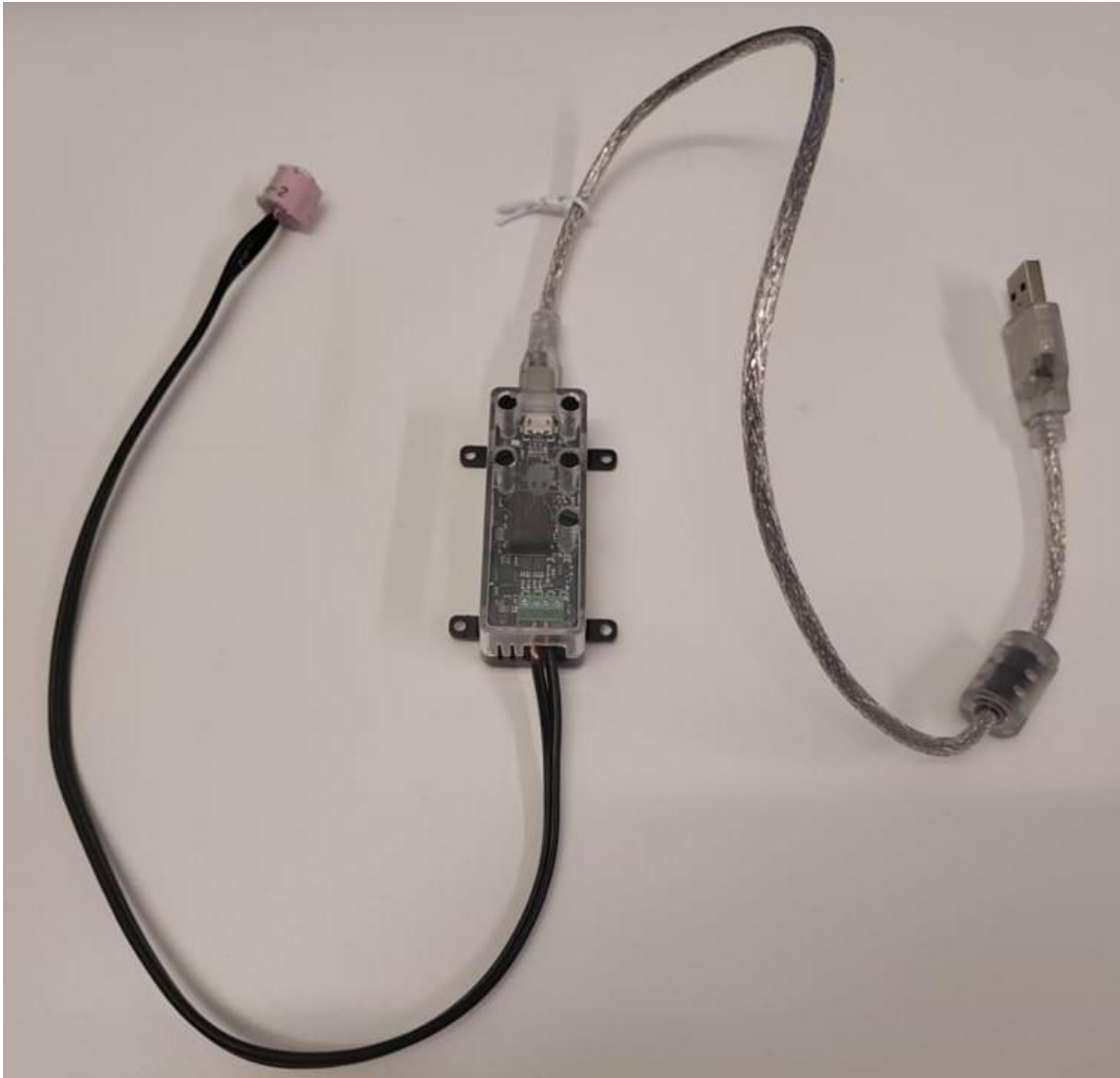
Koeasetelma 2 (Poistettu hammas): Testikaviteetti porattiin poistettuun hampaaseen standardimittoihin. Yksittäinen juurikanava laajennettiin kaviteetin kautta lämpöanturia vastaaviin mittoihin. Anturi asetettiin tehdyn kaviteetin

pohjalle hampaan laajennetun juurikanavan kautta. Tämän jälkeen lämpöanturi vietiin pulpakavumin pohjalle juuren kärjen kautta, ja tiivistettiin. Vastaavaa menetelmää on käytetty poistetuille hampaille Norjan arktisen instituutin toteuttamassa tutkimuksessa (9).

Tutkimuksessa käytettävä lämpötilamittari oli joko PeakTech tai Yoctopuce. PeakTech-mittari liitettiin K-tyypin termopariin (kuva 3), ja Yoctopuce PT100-lämpöanturiin (kuva 4). Mittarit kalibroitiin valmiiksi kalibroitua VWR EU 620-0916 lämpömittaria hyödyntäen. Kalibrointi toteutettiin viidellä eri lämpöisellä vesiliuoksella, joiden lämpötila kirjattiin samanaikaisesti kaikilla mittareilla. Saadut arvot taulukoitiin ja niiden välille sovitettiin kalibrointikäyrä. Kalibrointikäyrän yhtälöä hyödyntäen voitiin laskea korjausfunktio valitulle mittarille, ja täten korjata mittauksien aikana kalibroimattomalla mittarilla saadut lämpötila-arvot.



Kuva 3. Peak Tech -lämpömittari liitettynä K-tyypin termopariin. Lämpöanturi on valmiiksi upotettuna testikaviteettiin. Kuva: Henrik Paatsamala.



Kuva 4. Lämpömittari Yoctopuce liitettynä PT100-lämpöanturiin. Lämpöanturi on valmiiksi upotettuna alustavaan testikaviteettiin. Kuva: Henrik Paatsamala.

Käytettävät materiaalit olivat kolmea eri yhdistelmämuovi-tyyppiä: Bulk fill (yli 2 mm kerroksessa kovetettava YM), tavanomainen yhdistelmämuovi ja muu ominaisuuksiltaan erilainen YM (esimerkiksi flow-muovi tai kuitulujitekompotti).

3.3 Lopullinen koeasetelma

Tutkimuksen valmistelujen edetessä ja koeasetelmia suunniteltaessa lopulliseksi koeasetelmaksi valikoitui lopulta koeputkessa toteutettava menetelmä, joka vastasi pääpiirteittäin kappaleessa 3.2.2 kuvailtua koeasetelmaa 1. Mittaukset toistettiin alkuperäisestä suunnitelmasta poiketen kahdelle eri YM-materiaalille ja kahdelle eri kovetuspaksuudelle.

Käytettävät yhdistelmämuovimateriaalit olivat GC EverX Flow Bulk Shade (materiaali 1) ja GC G-aenial posterior P-A3 (materiaali 2). Käytettävien

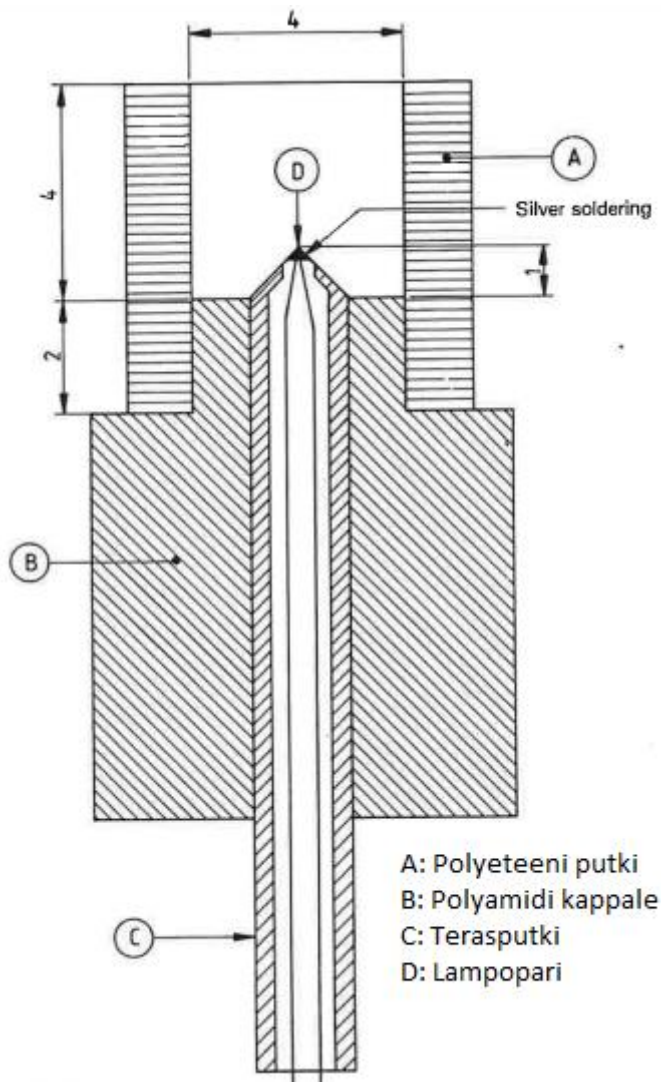
materiaalien pakkaukset on esitetty kuvassa 5. Mittaukset toistettiin myös kahdelle eri materiaalipaksuudelle, jotka ovat 4 mm ja 2 mm. Materiaali 1 oli juoksevampi, matalamman täyteaine- eli filleripitoisuuden omaava YM-materiaali. Tämän materiaalin maksimikovetuspaksuus on 4 mm. Materiaali 2 sisältää suhteessa materiaaliin 1 suuremman määrän fillereitä, mikä parantaa sen lujuutta ja instrumentein muokattavuutta (täpättävyyttä). Materiaalin 2 maksimaalinen kovetuspaksuus on 2 mm.



Kuva 5. Tutkimuksessa käytettävät YM-materiaalit, GC G-aenial P-A3 ja GC everX Flow Bulk Shade. Kuva: Henrik Paatsamala.

Kokeet toteutettiin kolmena erilaisena versiona. Ensimmäisessä materiaalia 1 vietiin koekaviteettiin 4 mm paksuinen kerros, joka valokovetettiin. Toisessa koekaviteetin pohjalle vietiin ensin 2 mm paksuinen kerros materiaalia 1, joka tasoitettiin ja valokovetettiin. Tämän jälkeen kovetetun kerroksen päälle vietiin 2 mm paksuinen kerros materiaalia 2, joka myös valokovetettiin. Kolmannessa koeasetelmassa materiaalia 2 kovettiin kaksi erillistä 2 mm paksuista kerrosta, jotka kovetettiin samalla tavalla kuin toisessa asetelmassa.

Koeasetelmissa koeputkesta (polyetyleni, koko 1 ml) leikattuun standartilavuuteen (d = 4,50 mm, h = 6 mm, upotussyvyys muovimateriaalin reunasta = 2 mm) sovitaan 3D-tulostettu standardoitu muovikappale (Ulkomitat: h = 8,25 mm, d = 9,26 mm. Sisämitat: h = 2 mm, d = 5 mm). Muovikappaleen läpi porattiin lämpöanturin halkaisijaa vastaava kanava, jonka läpi lämpöanturi vietiin testikaviteetin pohjan tasalle. Koeasetelma vastasi ISO 6874 mukaista standardoitua laitteistoa (kuva 6)(10). Testikaviteetit on esitetty ylä- ja sivuprojektioissa kuvissa 7–10.



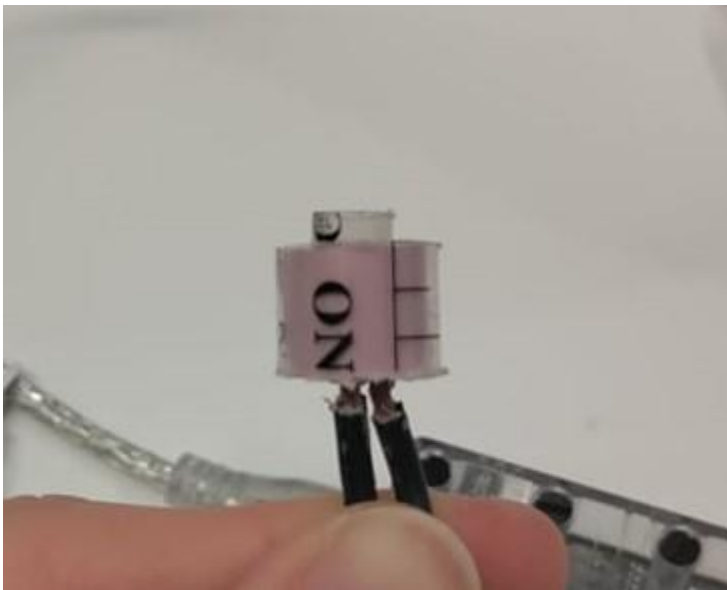
Kuva 6. ISO 6874 menetelmän mukainen koekaviteetti. Kuvan editoinut: Henrik Paatsamala.



Kuva 7. Tutkimuksessa käytettävä testikaviteetti sivulta. Lämpöanturina K-typin termopari. Kuva: Henrik Paatsamala.



Kuva 8. Tutkimuksessa käytettävä testikaviteetti ylhäältä. K-tyypin lämpöanturi näkyy upotettuna testikaviteetin pohjatasoon. Kuva: Henrik Paatsamala.



Kuva 9. Yoctopuce testikaviteetti sivulta. Lämpöanturina PT-100. Koekaviteettia ei käytetty lopullisissa mittauksissa. Kuva: Henrik Paatsamala.



Kuva 10. Yoctopuce testikaviteetti ylhäältä. PT100-lämpöanturi näkyy upotettuna testikaviteetin pohjatasoon. Koekaviteettia ei käytetty lopullisissa mittauksissa. Kuva: Henrik Paatsamala.

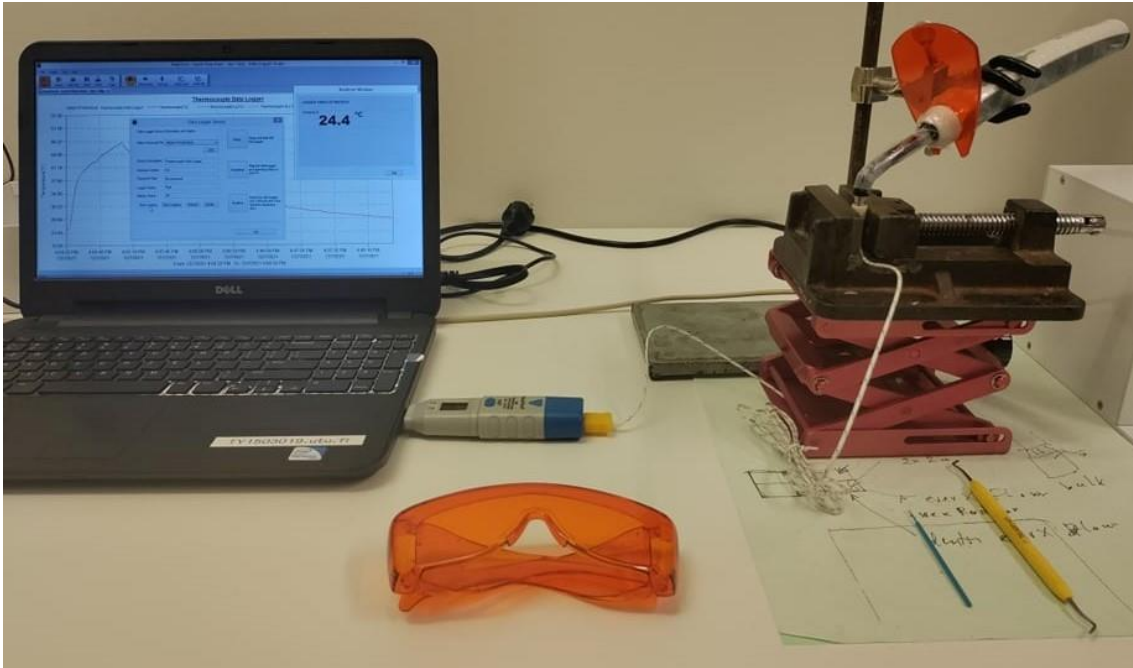
Lämpöanturina toimi PeakTech'in K-tyyppin termopari. 3D-tulostettuun akryylimuoviin porattu kanava tiivistettiin Putty-materiaalilla lämpöanturin vaurioitumisen ja YM-materiaalin ylivuodon ehkäisemiseksi. Testikaviteetin seinämät ja pohja siveltiin vaseliinia vastaavalla Stopcock Grease -geelillä, joka ehkäisi kovetettavan yhdistelmämuovin tarttumista testikaviteetin seinämiin ja lämpöanturin pintaan. Täten testikaviteetti ja lämpöanturi voitiin uusiokäyttää kovetetun YM-materiaalin poiston jälkeen.

Testikaviteetti ja ympäröivä 3D-tulostettu muovikappale kiinnitettiin säätötason päälle asetettuun ruuvipenkkiin mittalaitteiston stabiloimiseksi. Valokovettajana toimi 3M ESPE Elipar DeepCure-L (kuva 11). Valokovettaja kiinnitettiin telineeseen, ja kovettajan kärki vietiin kohtisuorasti lähes kontaktiin kovetettavan YM-materiaalin kanssa. Etäisyyden hienosäätö tehtiin säätötason avulla. Näin voitiin minimoida etäisyydestä johtuva valotehon lasku, joka muuttuu valokovettajasta riippuen joko logaritmisesti tai voimakkaan lineaarisesti valokovettajan ja YM-materiaalin välisen etäisyyden kasvaessa (11). Valokovetuksen kesto oli $2 * 20$ sekuntia, sillä valokovettajasta johtuvista teknisistä syistä yhtäjaksoista 40 sekunnin valokovetusta ei pystytty automaattisesti suorittamaan.



Kuva 11. Tutkimuksessa käytettävä valokovettaja (3M ESPE Elipar DeepCure-L) ylhäältä päin kuvattuna. Kuva: Henrik Paatsamala.

Valokovetuksen aikana lämpötilaa tarkasteltiin tietokoneelta (kuva 12). Huippulämpötila saavutettiin valokovetuksen loppuessa, minkä jälkeen testikappaleen lämpötila alkoi laskea kohti huoneenlämpötilaa. Testiajoissa havaittiin, että testikappaleen lämpötilan lasku tasaantui noin 30 sekunnin kuluttua valokovetuksen loppumisesta. Testikappale jäähdyi noin 27 °C:een lämpötilaan koeasetelmasta riippuen noin 3 minuutin kuluessa. Valittiin sopivaksi testipituudeksi 2,5 minuuttia, sillä lämpötilan muutos oli tässä vaiheessa jo melko hidasta, eikä tutkimuskysymyksen kannalta merkityksellistä.



Kuva 12. Yleiskuva mittalaitteistosta. Tietokoneella auki lämpötilamittauksissa käytettävä ohjelmisto. Kuva: Henrik Paatsamala.

Mittaustulosten kontrolloimiseksi päätettiin suorittaa positiivinen ja negatiivinen kontrollimittaus samalla laitteistolla. Positiivisessa kontrollissa valokovettajalla valotettiin testikaviteettia ilman yhdistelmämuovia 2 * 20 sekuntia ja seurattiin lämpötilan nousua testikaviteetin pohjakerroksessa olevalla anturilla. Negatiivisessa kontrollissa testikaviteetti täytettiin ensin materiaalilla 1, jota valokovetettiin 2 * 20 s, minkä jälkeen materiaalin annettiin jäähtyä. Valokovetus toistettiin tämän jälkeen uudelleen jo kovetetulle YM-materiaalille lämpötilaa samalla mitaten. Näin saatiin arvioitua YM-materiaalin mahdollinen lämmöneristävyys.

4 TULOKSET

4.1 Kontrollimittaukset

Positiivisessa kontrollissa (tyhjä kaviteetti) havaittiin voimakasta ja nopeaa lämpötilan nousua koko valokovetuksen ajan. Keskimäärin lämpötilan nousu oli hieman yli 30 °C, ja keskimääräinen huippulämpötila 53,7 °C. Keskimääräinen alkulämpötila oli mittauksien aikana 23,1 °C.

Negatiivisessa kontrollissa (valmiiksi kovetettu ja huoneenlämpötilassa oleva YM 4 mm everX Flow) lämpötilan muutokset olivat huomattavasti maltillisempia kuin positiivisessa. Keskimääräinen lämpötilan nousu oli 17,2 °C, ja keskimääräinen huippulämpötila 41,1 °C. Keskimääräinen alkulämpötila oli mittauksien aikana 23,8 °C.

4.2 Tutkimuksen tulokset

Tutkimuksen mittaustuloksien yhteenveto on esitetty taulukossa 1. Mittausten aikaiset esimerkki lämpötilakäyrät on esitetty taulukossa 2 olevissa kuvaajissa. Mittaustulosten tarkemmat tulokset on esitetty liitteessä 2.

Taulukko 1.

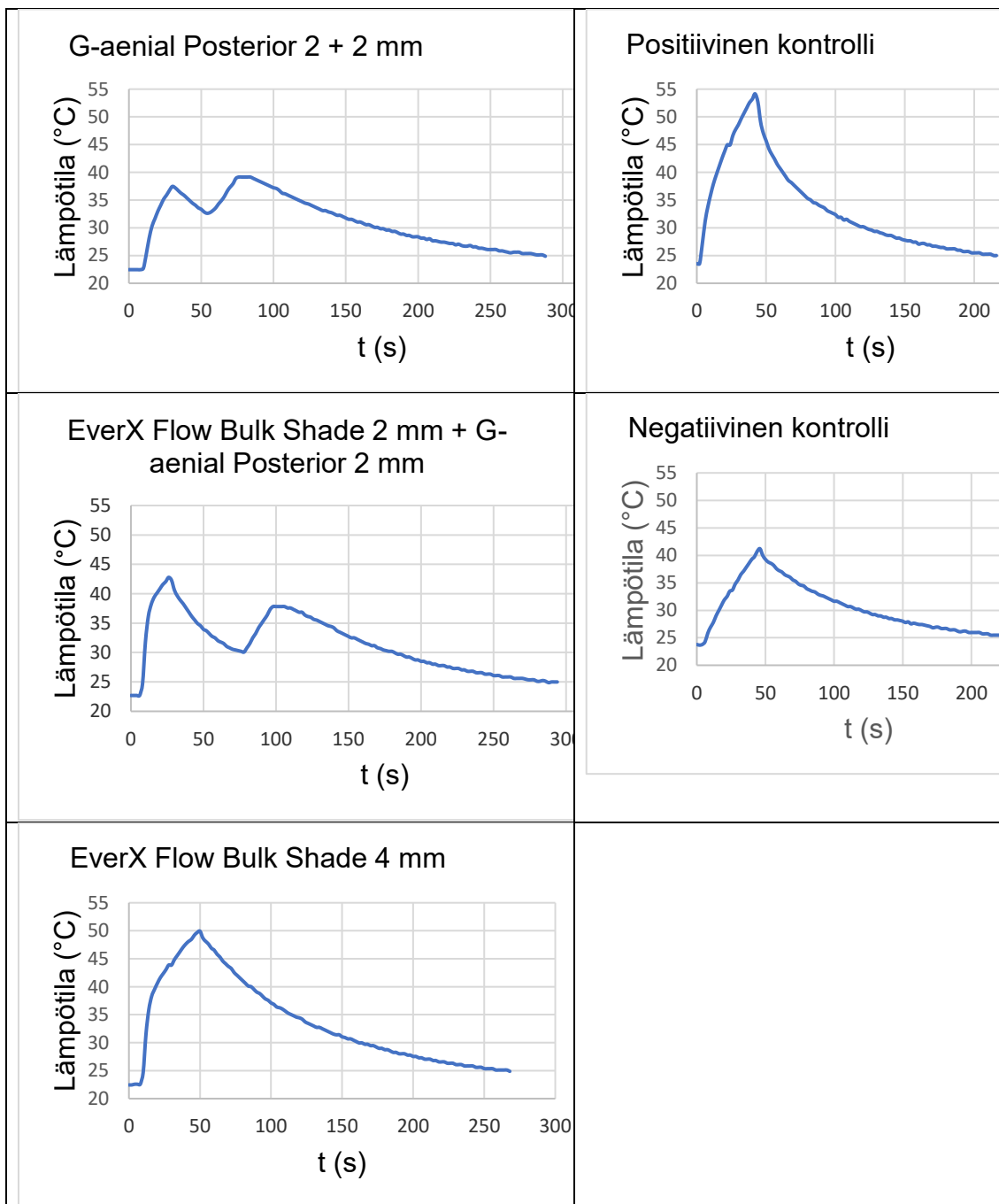
Mitattujen lämpötilojen keskiarvot ja keskihajonnat (suluissa).

| GROUP | T1 | T2 |
|------------------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Posterior 2 + 2 mm | 36,8 (0.6) ^A | 38,2 (0.8) ^a |
| Kovetettu (negatiivinen kontrolli) | 41,1 (0.2) ^B | |
| EverX 2 mm + Posterior 2 mm | 44,7 (1.4) ^C | 37,0 (1.1) ^a |
| EverX 4 mm | 48,4 (1.8) ^D | |
| Tyhjä (positiivinen kontrolli) | 53,7 (1.0) ^E | |

Eri yläindeksi lämpötilan vieressä osoittaa tilastollisen eroavaisuuden ($p < 0,05$). Liitteessä 2 on esitetty p-arvot eri koeasetelmien mukaisille mittauksille. Saadut p-arvot olivat kaikkien ensimmäisen lämpötilahuipun (T1) mittausten kohdalla merkitseviä ($p < 0,05$) eri materiaalien ja mittausmenetelmien välillä. Toisen lämpötilahuipun (T2) kohdalla tilastollisesti merkitsevää eroa ei saavutettu eri materiaalien välillä ($p > 0,05$).

Taulukko 2.

Koemittauksien edustavat lämpötilat. Tarkemmat lämpötilakäyrät liitteessä 2. Positiivisessa kontrollissa ilmalla täytetty koekaviteetti ja negatiivisessa koekaviteetissa valmiiksi kovetettu ja huoneenlämpötilassa oleva 4 mm kerros everX Flow Bulk Shade.



Taulukko 3.

Tukey:n HSD testin tulokset.

| GROUP | Subset | | | | |
|-----------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | A | B | C | D | E |
| Posterior 2 + 2 mm | 36,833 | | | | |
| Kovetettu | | 41,060 | | | |
| EverX 2 mm + Posterior 2 mm | | | 44,700 | | |
| EverX 4 mm | | | | 48,371 | |
| Tyhjä | | | | | 53,740 |
| Sig. | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 |

Ensimmäisen koeasetelman (tilastanalyysissä D: everX Flow Bulk Shade 4 mm) mukaisessa lämpötilamittauksessa havaittiin voimakasta lämpötilan nousua koko valokovetuksen ajan. Keskimääräinen lämpötilan nousu oli 26,1 °C, keskimääräinen huippulämpötila 48,4 °C ja keskimääräinen alkulämpötila 22,3 °C.

Toisen koeasetelman (tilastanalyysissä C: Bulk Shade 2 mm, G-aenial posterior 2 mm) mukaisessa mittauksessa havaittiin kaksi erillistä lämpötilan huippupistettä ja lämpötilan muutosta. Näistä ensimmäisessä sekä huippuarvo että muutos olivat keskimäärin suurempia. Keskimääräinen alkulämpötila mittauksille oli 22,5 °C ja keskimääräinen välilämpötila ennen toista valokovetusta 29,1 °C. Ensimmäisen lämpötilan huippuarvon keskiarvo oli 44,7 °C ja toisen huippuarvon 37,0 °C. Keskimääräiset lämpötilojen muutokset olivat ensimmäisessä kovetuksessa 22,2 °C ja toisessa 7,91 °C. Ensimmäisen valokovetuksen aikana huippulämpötila nousi nopeammin korkeammalle kuin toisessa, mutta se myös laski nopeammin kuin jälkimmäisessä kovetuksessa. Kolmannen koeasetelman (tilastanalyysissä A: G-aenial posterior 2 + 2 mm) mukaisessa mittauksessa havaittiin myös kaksi erillistä lämpötilan huippuarvoa ja muutosta. Keskimääräinen alkulämpötila oli 22,5 °C ja välivaiheen lämpötila ennen toista valokovetusta 32,1 °C. Ensimmäisen lämpötilan huippuarvon keskiarvo oli 36,8 °C ja toisen 38,3 °C. Keskimääräiset lämpötilojen muutokset ensimmäisen ja toisen valokovetuksen aikana olivat 14,3 °C ja 6,21 °C. Kolmannessa koeasetelmassa ajot 1–3 on jätetty tilastollisen analyysin ulkopuolelle kovetusten välissä olleen pitkän työskentelyajan vuoksi. Analyysi on suoritettu ajoista 4–6, jotka löytyvät liitteestä 2.

Koeasetelmissa kovettujen YM-kappaleiden kuvat on esitetty kuvissa 13–14.



Kuva 13. Mittauksissa kovetetut yhdistelmämuovikappaleet sivuprofiilista. Vasemmalta järjestyksessä GC everX Flow Bulk Shade, GC everX Flow Bulk Shade (2 mm) + GC G-aenial posterior P-A3 (2 mm) ja GC G-aenial posterior P-A3 (2 + 2 mm). Kuva: Henrik Paatsamala.



Kuva 14. Mittauksissa kovetetut yhdistelmämuovikappaleet pohjan suunnasta. Vasemmalta järjestyksessä GC everX Flow Bulk Shade, GC everX Flow Bulk Shade (2 mm) + GC G-aenial posterior P-A3 (2 mm) ja GC G-aenial posterior P-A3 (2 + 2 mm). Kuva: Henrik Paatsamala.

5 POHDINTA

Kontrollimittausten perusteella kovettunut YM-materiaali hidastaa lämpöenergian välittymistä testikaviteetin pohjalle. Koska lämpöenergia ei häviä väliaineen vaikutuksesta, täytyy sen joko välittyä tasaisemmin väliaineeseen tai väliaineen tulee absorboida lämpö jo pintakerroksessaan. Mikäli mitattu lämpötilan muutos olisi sama positiivisessa ja negatiivisessa kontrollissa, YM-materiaali olisi lähes täysin valoa läpäisevä. Tässä tapauksessa havaittiin, että ilma johtaa valokovettajan kärjestä vapautuvaa valo- ja lämpöenergiaa huomattavasti YM-materiaalia paremmin. YM-materiaalin lämmöneristävyys havaitaan matalampana huippulämpötilana kaviteetin pohjalle asetetussa lämpöanturissa ilmaan verrattuna. Tulos on linjassa Nilsenin ym. (2020) toteuttaman tutkimuksen kanssa, jossa lämpötilaa mitattiin poistetuilla viisaudenhampailla (9).

Todennäköisimmin valokovettajasta vapautunut lämpö on YM-täytteen vaikutuksesta jakautunut tasaisemmin testikaviteetin seinämille ja YM-materiaalin sisälle, eikä täten johdu pelkästään testikaviteetin pohjaan. On mahdollista, että useammilla tai erityyppisillä lämpöantureilla tämä olisi havaittavissa. Esimerkiksi lämpökameralla täytettä kuvattaessa voitaisiin mahdollisesti havaita voimakkainta lämpenemistä YM-täytteen pintakerroksessa aivan valokovettajan kärjen läheisyydessä, josta etääntyessä lämpötila laskee voimakkaasti YM-täytteen reunoille ja etenkin pohjaa kohti siirryttäessä. Lämpökameraa on käytetty aiemmin vastaavissa tutkimuksissa, joiden mukaan lämpökameralla ja pulpan sisään vietävällä lämpöanturilla saadut mittaustulokset vastaavat läheisesti toisiaan (12).

YM-täytteen voidaan ajatella suojaavan hammasta valokovettajalta vapautuvalta voimakkaalta valolta ja lämmöltä. Tutkimushypoteesit 1 ja 2 osoittautuivat vääriksi tutkimuksen aikana. Hypoteesissa 1 kuvattu YM-polymerisaation lämpövaikutus oli pieni verrattuna valokovettajan vapauttaman lämpöenergian määrään. Hypoteesissa 2 kuvattu YM-täytteen tilavuuden kasvu ei myöskään korreloinut lineaarisesti havaittuun lämpötilan muutokseen tutkimuksessa, sillä se peittyi suurelta osin valokovettajan lämpövaikutuksen alle. Päinvastaista vaikutusta sen sijaan oli havaittavissa etenkin täpättävän yhdistelmämuovimateriaalin (G-aenial posterior) kohdalla, sillä enemmän täyteainetta sisältävä YM-materiaali pienensi lämpötilan muutosta anturilla, vaikka valokovetuksen ajallinen kesto pysyi samana.

Mahdollisissa jatkotutkimuksissa kiinnostavia tutkimusasetelmia voisivat olla esimerkiksi erilaisten testikaviteettien käyttö, dentiinin lisääminen eristekerrokseksi testikaviteettiin vietävän yhdistelmämuovin ja lämpöanturin väliin tai tutkimuksen toteuttaminen poistetulle hampaalle. Erilaisilla testikaviteeteilla voitaisiin paremmin vertailla yhdistelmämuovityyppien vapauttamia lämpötilamääriä niiden tilavuuden suhteen. Dentiinin lisääminen eristekerrokseksi kuvastaisi paremmin syvien preparointien tilannetta ja havainnollistaisi hammasluun todellista lämmöneristävyyttä valokovetuksen aikana. Poistetulla hampaalla toteutettu tutkimus puolestaan tarjoaisi mahdollisimman totuudenmukaisen tutkimusasetelman lämpötilan muutosten arvioimiseksi kliinisessä tilanteessa. Lisäksi jatkotutkimuksissa olisi kiinnitettävä

huomiota myös lämpötilan siirtymiseen elävään pulpakudokseen ja vaikutukseen solutasolla.

Tutkimushypoteesien yhteenvedona voidaan todeta, että alkuperäiset hypoteesit eivät toteutuneet. Hypoteesin 1 mukaan YM kovettuman vapauttama lämpö olisi ollut merkittävästi suurempaa kuin pelkän valokovettajan. Tämä osoittautui vääräksi, sillä suurin lämpötilan muutos mittauksissa tuli tyhjälle kaviteetille suoritettulle kontrollimittaukselle, yhdistelmämuovilla täytettyjen sijaan. Hypoteesin 2 mukaan vapautuneen lämpöenergian määrän olisi tullut kasvaa lineaarisesti suhteessa kovettettavan YM-materiaalin tilavuuteen. Tämä ei myöskään toteutunut, sillä YM-materiaalin kovettumisessa vapautunut lämpö oli pientä suhteessa valokovettajan aiheuttaman lämpötilan muutokseen. Lisäksi muovimateriaalin filleripitoisuudella oli huomattava vaikutus sen vapauttaman lämpöenergian määrään. Yhdistelmämuovin korkea filleripitoisuus vaikutti tutkimuksen tuloksien valossa myös pienentävän lämpötilan muutoksen suuruutta valokovetuksen aikana.

LÄHTEET

1. Zhang X, Zhang Q, Meng X, Ye Y, Feng D, Xue J, et al. Rheological and Mechanical Properties of Resin-Based Materials Applied in Dental Restorations. *Polymers* [Internet]. 2021 Sep 1 [cited 2021 Dec 20];13(17):2975. Available from: <https://www.mdpi.com/2073-4360/13/17/2975>
2. Vaishya R, Chauhan M, Vaish A. Bone cement. *J Clin Orthop Trauma* [Internet]. 2013/12/15 ed. 2013 Dec;4(4):157–63. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26403875>
3. BAN S, TAKAHASHI Y, TANASE H, HASEGAWA J. Heat Curing Behavior of Light-cured Composite Resins Investigated by Dynamic Differential Scanning Calorimetry. *Dent Mater J*. 1990;9(2):153-162,228.
4. JEONG T-S, KIM Y-R, KIM J-H, KIM H-I, KWON YH. Effects of LEDs on Microhardness and Temperature Rise of Dental Composite Resins. *Dent Mater J*. 2007;26(6):838–44.
5. De Mori A, Di Gregorio E, Kao AP, Tozzi G, Barbu E, Sanghani-Kerai A, et al. Antibacterial PMMA Composite Cements with Tunable Thermal and Mechanical Properties. *ACS Omega* [Internet]. 2019 Nov 26 [cited 2021 Dec 19];4(22):19664–75. Available from: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsomega.9b02290>
6. Vallittu PK. Peak temperatures of some prosthetic acrylates on polymerization. *J Oral Rehabil* [Internet]. 1996 Nov [cited 2021 Dec 21];23(11):776–81. Available from: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1046/j.1365-2842.1996.00430.x>
7. HORI M, FUJIMOTO K, ASAKURA M, NAGASE Y, MIEKI A, KAWAI T. Measurement of exothermic heat released during polymerization of a lightcuring composite resin: Comparison of light irradiation modes. *Dent Mater J*. 2019;38(4):646–53.
8. Armellin E, Bovesecchi G, Coppa P, Pasquantonio G, Cerroni L. LED Curing Lights and Temperature Changes in Different Tooth Sites. *BioMed Res Int* [Internet]. 2016/04/18 ed. 2016;2016:1894672–1894672. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27195282>
9. Nilsen BW, Mouhat M, Haukland T, Örtengren UT, Mercer JB. Heat Development in the Pulp Chamber During Curing Process of Resin-Based Composite Using Multi-Wave LED Light Curing Unit. *Clin Cosmet Investig Dent* [Internet]. 2020 Jul [cited 2021 Nov 26];Volume 12:271–80. Available from: <https://www.dovepress.com/heat-development-in-the-pulp-chamber-during-curing-process-of-resin-ba-peer-reviewed-article-CCIDE>

10. ISO - ISO 6874:2015 - Dentistry — Polymer-based pit and fissure sealants [Internet]. [cited 2021 Dec 17]. Available from: <https://www.iso.org/standard/67595.html>
11. Aravamudhan K, Rakowski D, Fan PL. Variation of depth of cure and intensity with distance using LED curing lights. *Dent Mater* [Internet]. 2006 Nov 1;22(11):988–94. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0109564105003155>
12. Hamze F, Ganjalikhan Nasab SA, Eskandarizadeh A, Shahravan A, Akhavan Fard F, Sinaee N. Thermal Scanning of Dental Pulp Chamber by Thermocouple System and Infrared Camera during Photo Curing of Resin Composites. *Iran Endod J* [Internet]. 2018;13(2):195–9. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29707014>
13. Full Text (HTML) [Internet]. [cited 2021 Nov 26]. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7358186/>

Suoritettut tilastolliset analyysit (sivut 25–32):

```
UNIANOVA t1 BY GROUP
  /METHOD=SSTYPE(3)
  /INTERCEPT=INCLUDE
  /POSTHOC=GROUP(TUKEY)
  /PRINT DESCRIPTIVE HOMOGENEITY
  /CRITERIA=ALPHA(.05)
  /DESIGN=GROUP.
```

Univariate Analysis of Variance

Notes

| | | |
|------------------------|--|---|
| Output Created | | 15-DEC-2021 16:58:27 |
| Comments | | |
| Input | Active Dataset | DataSet0 |
| | Filter | <none> |
| | Weight | <none> |
| | Split File | <none> |
| | N of Rows in Working Data File | 33 |
| Missing Value Handling | Definition of Missing | User-defined missing values are treated as missing. |
| | Cases Used | Statistics are based on all cases with valid data for all variables in the model. |
| Syntax | UNIANOVA t1 BY GROUP /METHOD=SSTYPE(3) /INTERCEPT=INCLUDE /POSTHOC=GROUP(TUKEY) /PRINT DESCRIPTIVE HOMOGENEITY /CRITERIA=ALPHA(.05) /DESIGN=GROUP. | |
| Resources | Processor Time | 00:00:00,02 |
| | Elapsed Time | 00:00:00,02 |

Between-Subjects Factors

| | | N |
|-------|-----------------------------|---|
| GROUP | EverX 2 mm + Posterior 2 mm | 5 |
| | EverX 4 mm | 7 |
| | Kovetettu | 5 |
| | Posterior 2 + 2 mm | 3 |
| | Tyhjä | 5 |

Descriptive Statistics

Dependent Variable: t1

| GROUP | Mean | Std. Deviation | N |
|-----------------------------|--------|----------------|----|
| EverX 2 mm + Posterior 2 mm | 44,700 | 1,4335 | 5 |
| EverX 4 mm | 48,371 | 1,7670 | 7 |
| Kovetettu | 41,060 | ,2302 | 5 |
| Posterior 2 + 2 mm | 36,833 | ,5859 | 3 |
| Tyhjä | 53,740 | ,9940 | 5 |
| Total | 45,864 | 5,6006 | 25 |

Levene's Test of Equality of Error Variances^{a,b}

| | | Levene Statistic | df1 | df2 | Sig. |
|----|--------------------------------------|------------------|-----|--------|------|
| t1 | Based on Mean | 3,368 | 4 | 20 | ,029 |
| | Based on Median | 1,998 | 4 | 20 | ,134 |
| | Based on Median and with adjusted df | 1,998 | 4 | 14,270 | ,149 |
| | Based on trimmed mean | 3,349 | 4 | 20 | ,030 |

Tests the null hypothesis that the error variance of the dependent variable is equal across groups.

a. Dependent variable: t1

b. Design: Intercept + GROUP

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: t1

| Source | Type III Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
|-----------------|-------------------------|----|-------------|-----------|------|
| Corrected Model | 720,993 ^a | 4 | 180,248 | 113,346 | ,000 |
| Intercept | 46917,559 | 1 | 46917,559 | 29503,304 | ,000 |
| GROUP | 720,993 | 4 | 180,248 | 113,346 | ,000 |
| Error | 31,805 | 20 | 1,590 | | |
| Total | 53340,460 | 25 | | | |
| Corrected Total | 752,798 | 24 | | | |

a. R Squared = ,958 (Adjusted R Squared = ,949)

Post Hoc Tests

GROUP

Multiple Comparisons

Dependent Variable: t1

Tukey HSD

| (I) GROUP | (J) GROUP | Mean Difference (I-J) | Std. Error | Sig. | 95% Confidence Interval | |
|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------|---------------|------|----------------------------|----------------|
| | | | | | Lower Bound | Upper Bound |
| EverX 2 mm + Posterior 2 mm | EverX 4 mm | -3,671* | ,7384 | ,001 | -5,881 | -1,462 |
| | Kovetettu | 3,640* | ,7976 | ,002 | 1,253 | 6,027 |
| | Posterior 2 + 2 mm | 7,867* | ,9209 | ,000 | 5,111 | 10,622 |
| | Tyhjä | -9,040* | ,7976 | ,000 | -11,427 | -6,653 |
| EverX 4 mm | EverX 2 mm + Posterior 2 mm | 3,671* | ,7384 | ,001 | 1,462 | 5,881 |
| | Kovetettu | 7,311* | ,7384 | ,000 | 5,102 | 9,521 |
| | Posterior 2 + 2 mm | 11,538* | ,8702 | ,000 | 8,934 | 14,142 |
| | Tyhjä | -5,369* | ,7384 | ,000 | -7,578 | -3,159 |
| Kovetettu | EverX 2 mm + Posterior 2 mm | -3,640* | ,7976 | ,002 | -6,027 | -1,253 |
| | EverX 4 mm | -7,311* | ,7384 | ,000 | -9,521 | -5,102 |
| | Posterior 2 + 2 mm | 4,227* | ,9209 | ,001 | 1,471 | 6,982 |
| | Tyhjä | -12,680* | ,7976 | ,000 | -15,067 | -10,293 |
| Posterior 2 + 2 mm | EverX 2 mm + Posterior 2 mm | -7,867* | ,9209 | ,000 | -10,622 | -5,111 |
| | EverX 4 mm | -11,538* | ,8702 | ,000 | -14,142 | -8,934 |
| | Kovetettu | -4,227* | ,9209 | ,001 | -6,982 | -1,471 |
| | Tyhjä | -16,907* | ,9209 | ,000 | -19,662 | -14,151 |
| Tyhjä | EverX 2 mm + Posterior 2 mm | 9,040* | ,7976 | ,000 | 6,653 | 11,427 |
| | EverX 4 mm | 5,369* | ,7384 | ,000 | 3,159 | 7,578 |
| | Kovetettu | 12,680* | ,7976 | ,000 | 10,293 | 15,067 |
| | Posterior 2 + 2 mm | 16,907* | ,9209 | ,000 | 14,151 | 19,662 |

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 1,590.

*. The mean difference is significant at the ,05 level.

Homogeneous Subsets

t1

Tukey HSD^{a,b,c}

| GROUP | N | Subset | | | | |
|-----------------------------|---|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Posterior 2 + 2 mm | 3 | 36,833 | | | | |
| Kovetettu | 5 | | 41,060 | | | |
| EverX 2 mm + Posterior 2 mm | 5 | | | 44,700 | | |
| EverX 4 mm | 7 | | | | 48,371 | |
| Tyhjä | 5 | | | | | 53,740 |
| Sig. | | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 |

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 1,590.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4,646.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

c. Alpha = ,05.


```

UNIANOVA t2 BY GROUP
  /METHOD=SSTYPE(3)
  /INTERCEPT=INCLUDE
  /POSTHOC=GROUP(TUKEY)
  /PRINT DESCRIPTIVE HOMOGENEITY
  /CRITERIA=ALPHA(.05)
  /DESIGN=GROUP.

```

Univariate Analysis of Variance

Notes

| | | |
|------------------------|--|---|
| Output Created | | 15-DEC-2021 17:01:02 |
| Comments | | |
| Input | Active Dataset | DataSet0 |
| | Filter | <none> |
| | Weight | <none> |
| | Split File | <none> |
| | N of Rows in Working Data File | 33 |
| Missing Value Handling | Definition of Missing | User-defined missing values are treated as missing. |
| | Cases Used | Statistics are based on all cases with valid data for all variables in the model. |
| Syntax | UNIANOVA t2 BY GROUP /METHOD=SSTYPE(3) /INTERCEPT=INCLUDE /POSTHOC=GROUP(TUKEY) /PRINT DESCRIPTIVE HOMOGENEITY /CRITERIA=ALPHA(.05) /DESIGN=GROUP. | |
| Resources | Processor Time | 00:00:00,00 |
| | Elapsed Time | 00:00:00,00 |

Warnings

Post hoc tests are not performed for GROUP because there are fewer than three groups.

Between-Subjects Factors

| | | N |
|-------|-----------------------------|---|
| GROUP | EverX 2 mm + Posterior 2 mm | 5 |
| | Posterior 2 + 2 mm | 3 |

Descriptive Statistics

Dependent Variable: t2

| GROUP | Mean | Std. Deviation | N |
|-----------------------------|--------|----------------|---|
| EverX 2 mm + Posterior 2 mm | 36,980 | 1,1189 | 5 |
| Posterior 2 + 2 mm | 38,233 | ,7506 | 3 |
| Total | 37,450 | 1,1389 | 8 |

Levene's Test of Equality of Error Variances^{a,b}

| | | Levene Statistic | df1 | df2 | Sig. |
|----|--------------------------------------|------------------|-----|-------|------|
| t2 | Based on Mean | 1,018 | 1 | 6 | ,352 |
| | Based on Median | ,620 | 1 | 6 | ,461 |
| | Based on Median and with adjusted df | ,620 | 1 | 5,952 | ,461 |
| | Based on trimmed mean | 1,036 | 1 | 6 | ,348 |

Tests the null hypothesis that the error variance of the dependent variable is equal across groups.

a. Dependent variable: t2

b. Design: Intercept + GROUP

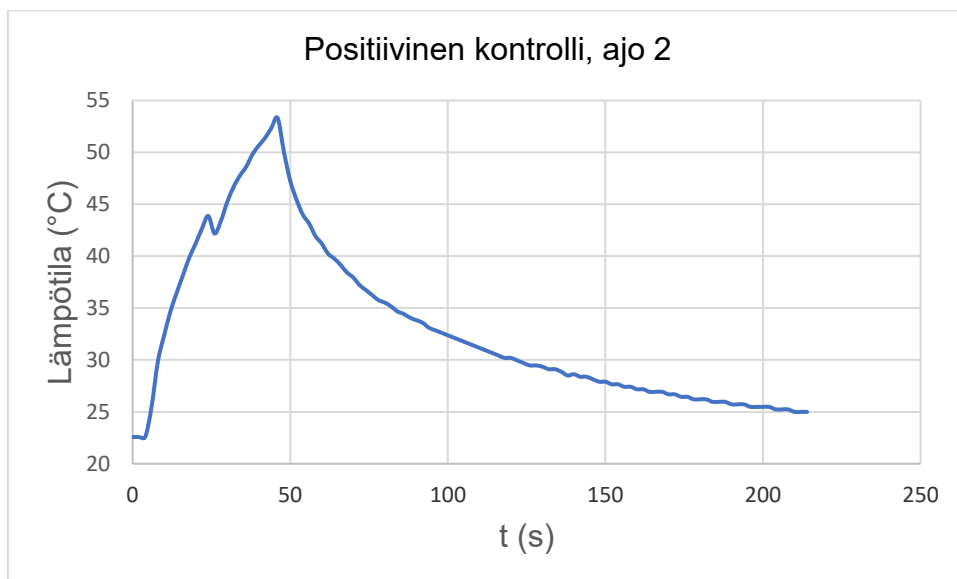
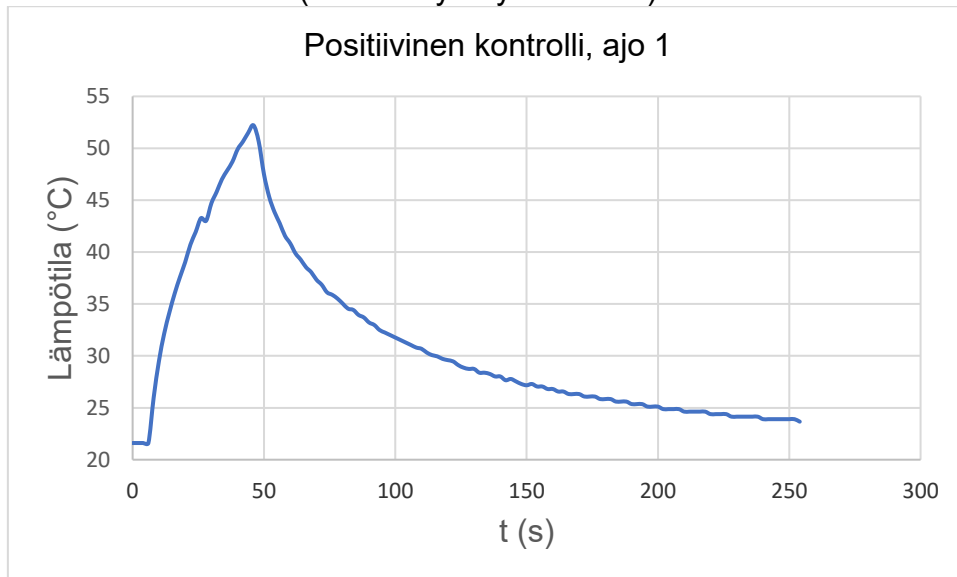
Tests of Between-Subjects Effects

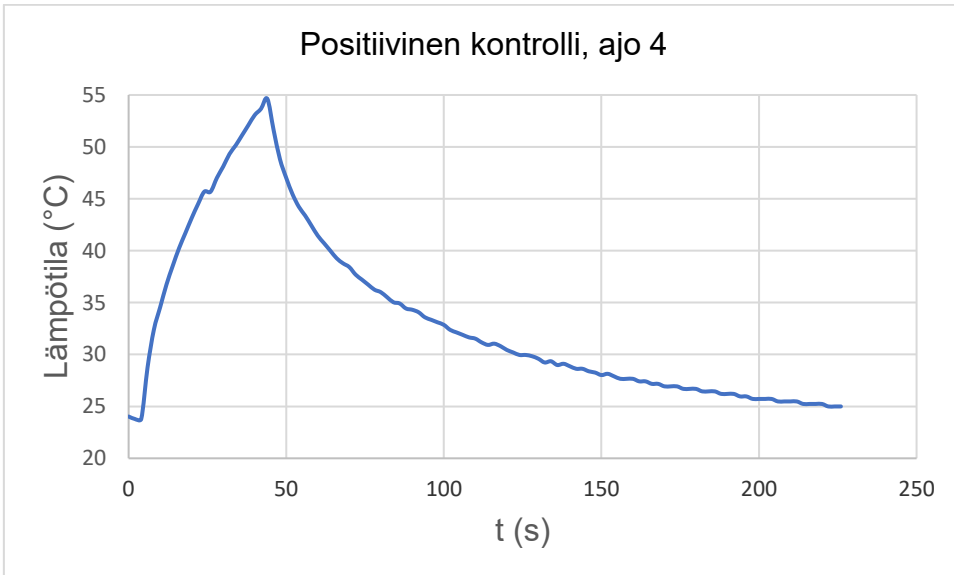
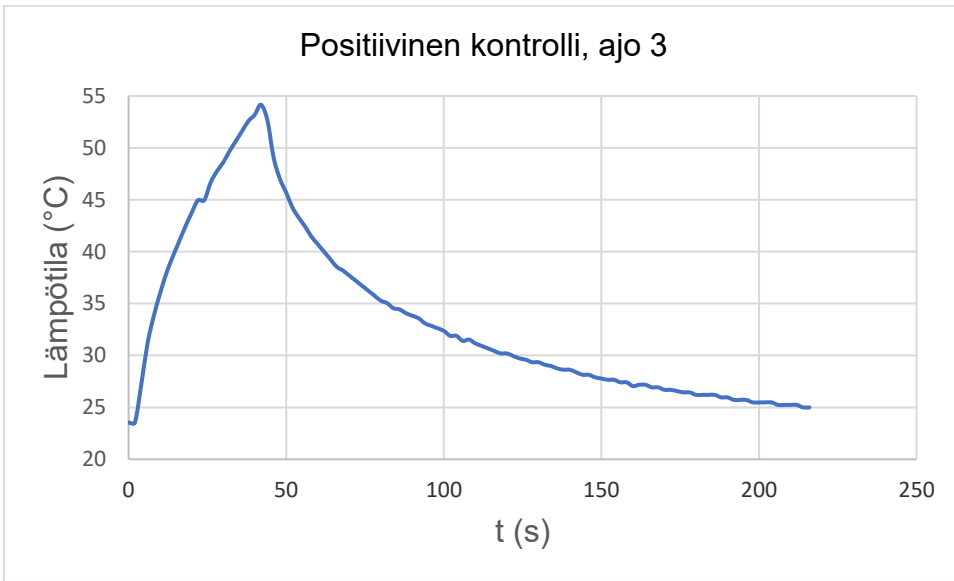
Dependent Variable: t2

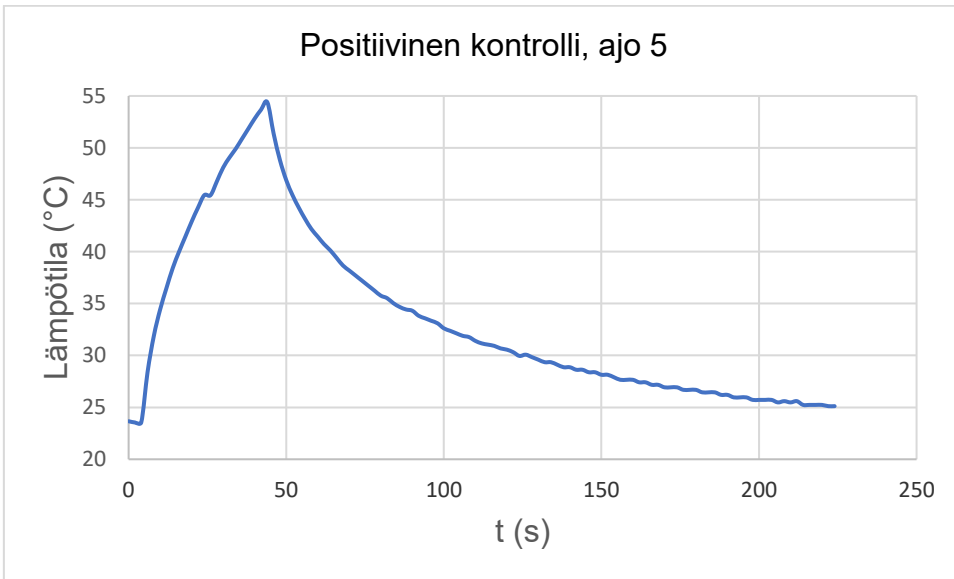
| Source | Type III Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
|-----------------|-------------------------|----|-------------|-----------|------|
| Corrected Model | 2,945 ^a | 1 | 2,945 | 2,881 | ,141 |
| Intercept | 10606,960 | 1 | 10606,960 | 10374,119 | ,000 |
| GROUP | 2,945 | 1 | 2,945 | 2,881 | ,141 |
| Error | 6,135 | 6 | 1,022 | | |
| Total | 11229,100 | 8 | | | |
| Corrected Total | 9,080 | 7 | | | |

a. R Squared = ,324 (Adjusted R Squared = ,212)

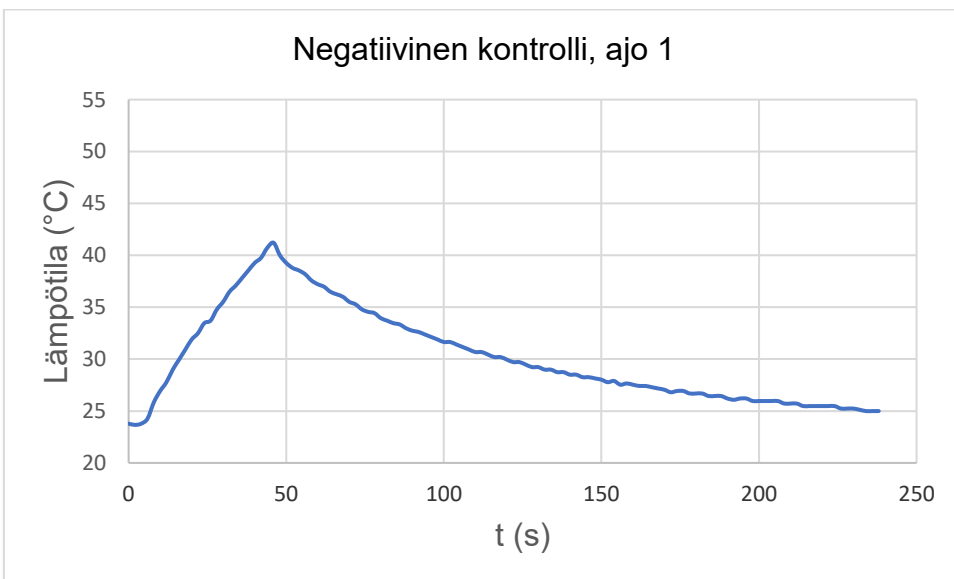
Lämpötilamittausten kuvaajat
Positiivinen kontrolli (ilmalla täytetty kaviteetti).



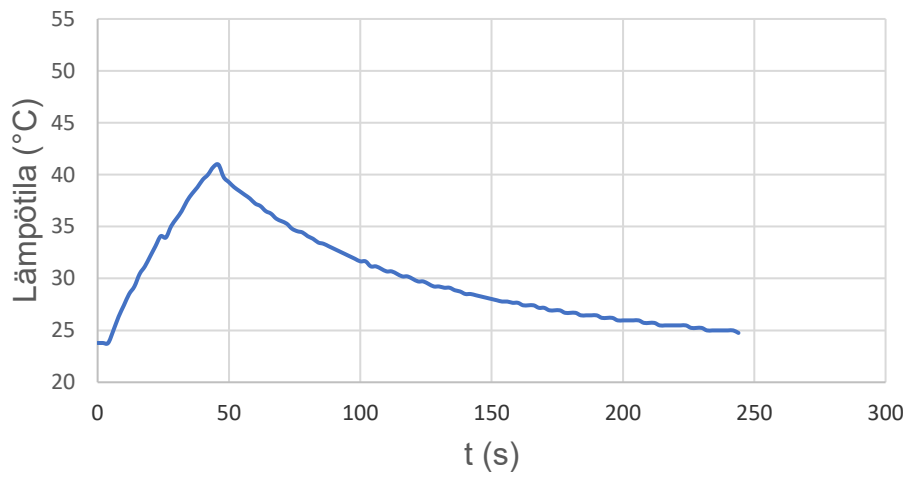




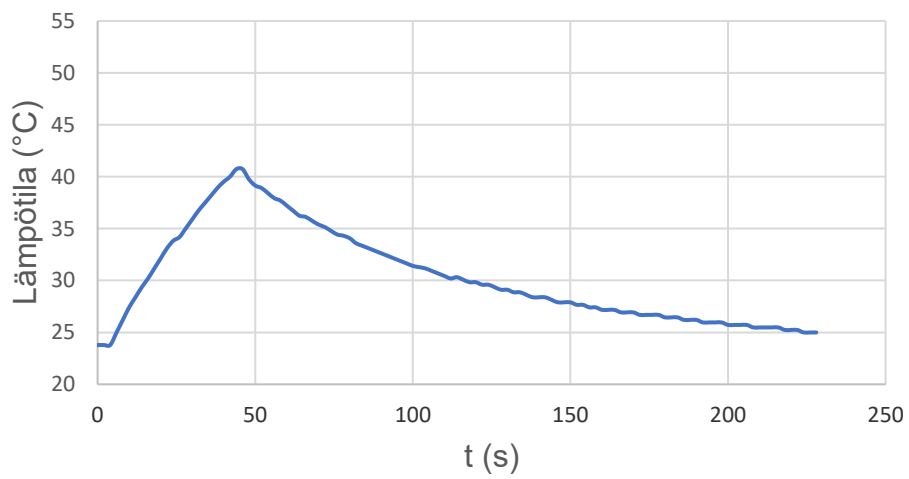
Negatiivinen kontrolli (valmiiksi kivetetty everX Flow Bulk Shade 4 mm).

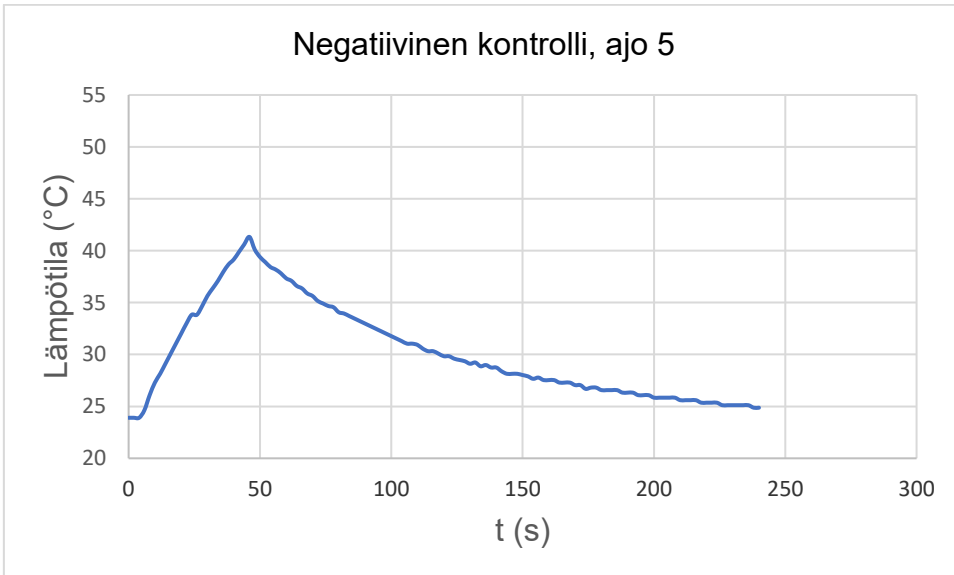
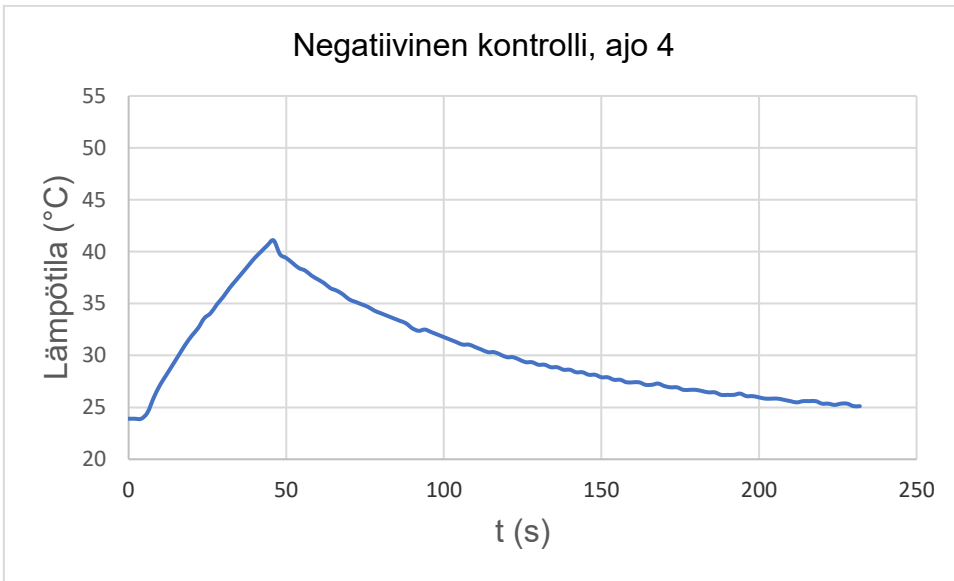


Negatiivinen kontrolli, ajo 2

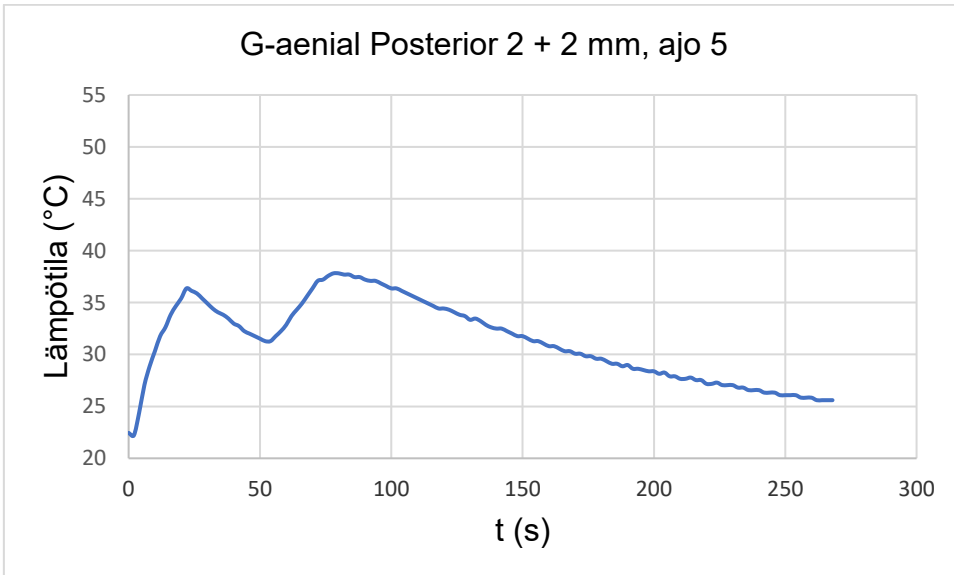
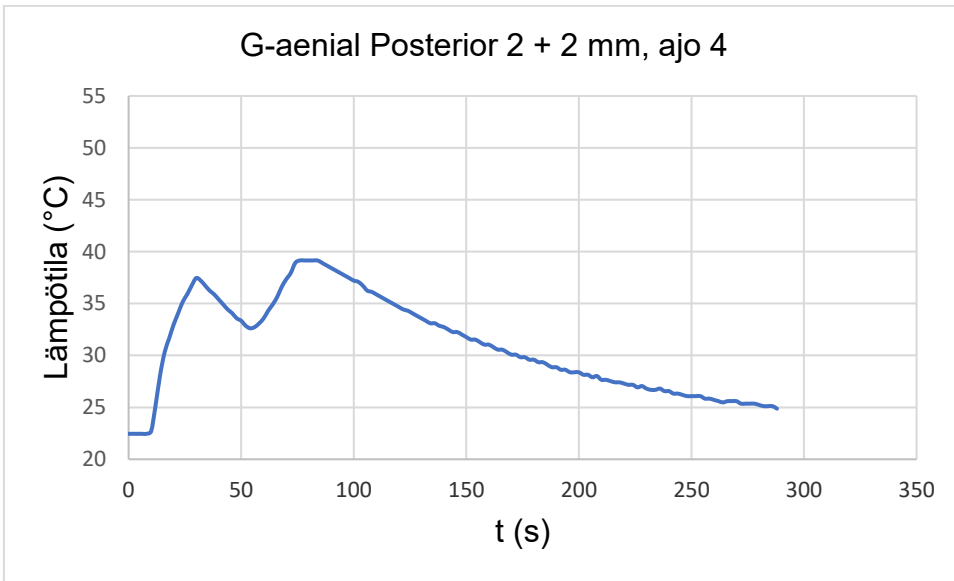


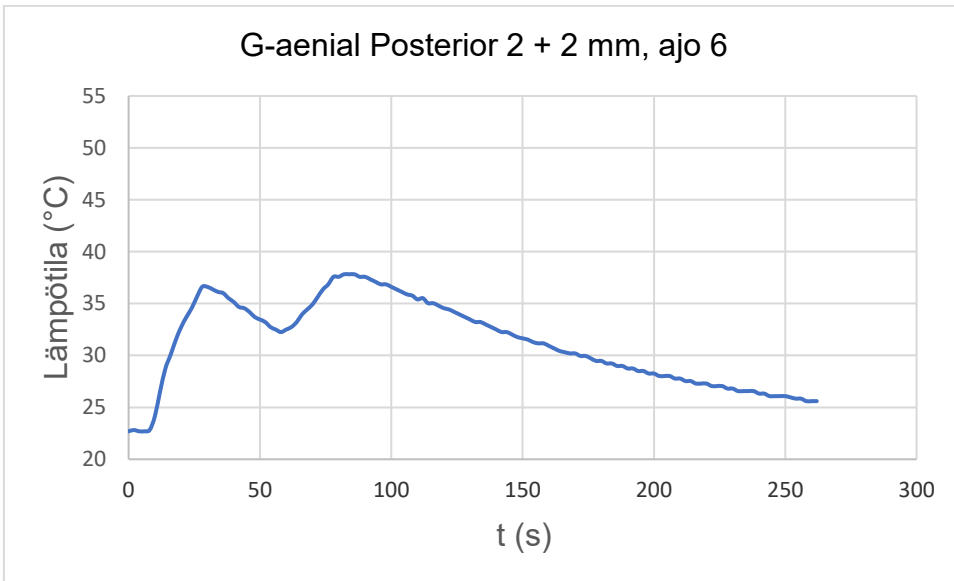
Negatiivinen kontrolli, ajo 3



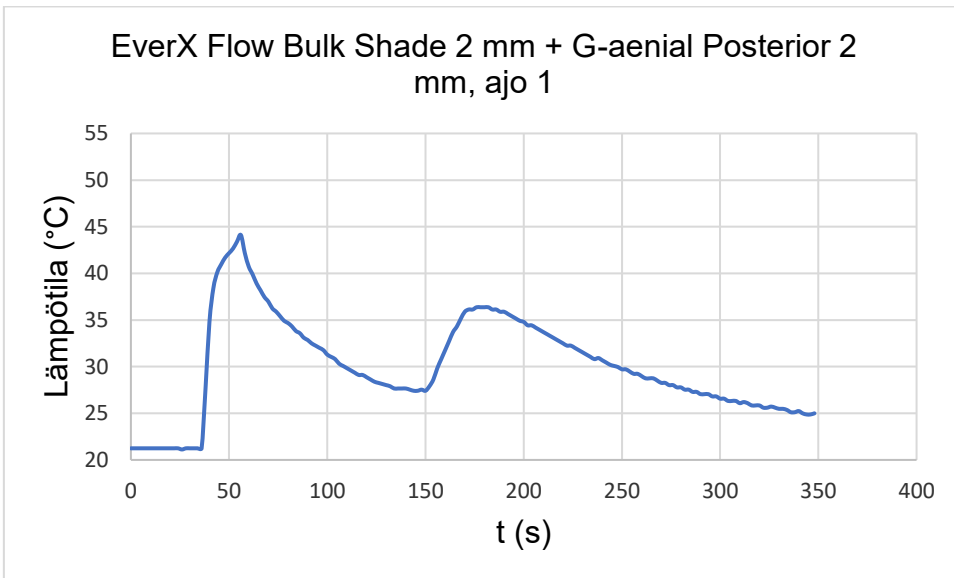


Koeasetelma 1: G-aenial posterior P-A3 2 + 2 mm.

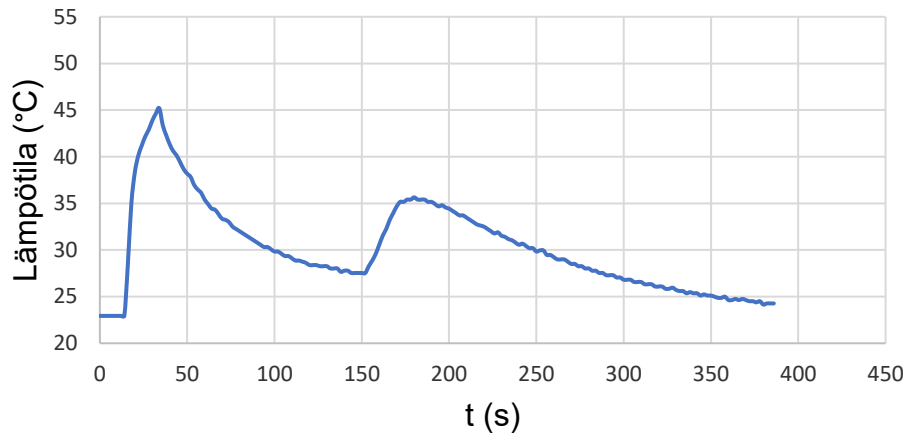




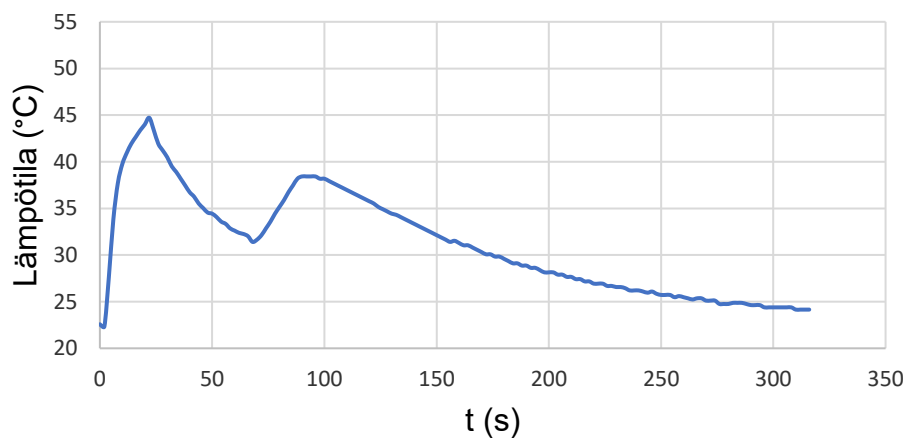
Koeasetelma 2: EverX Flow Bulk Shade 2 mm + G-aenial posterior P-A3 2 mm

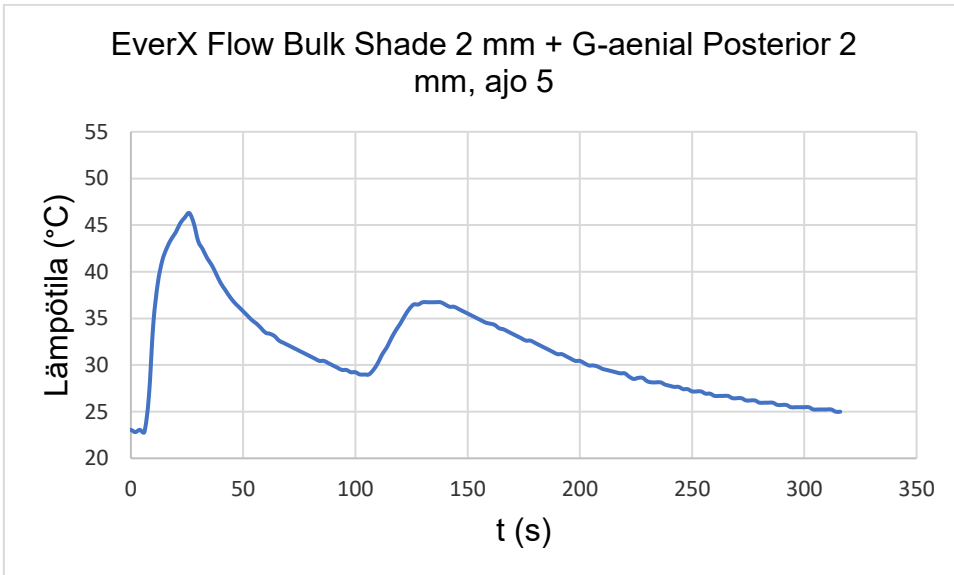
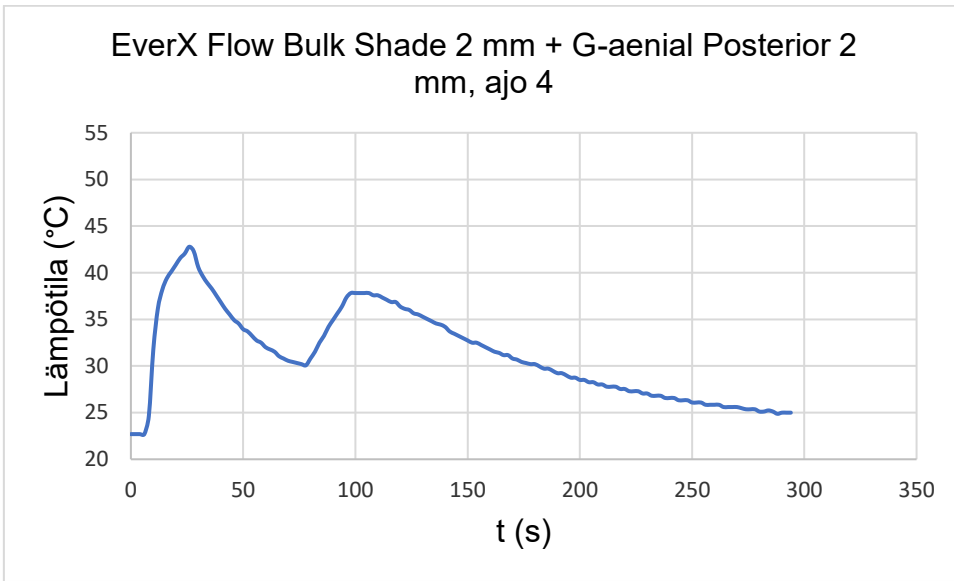


EverX Flow Bulk Shade 2 mm + G-aenial Posterior 2 mm, ajo 2



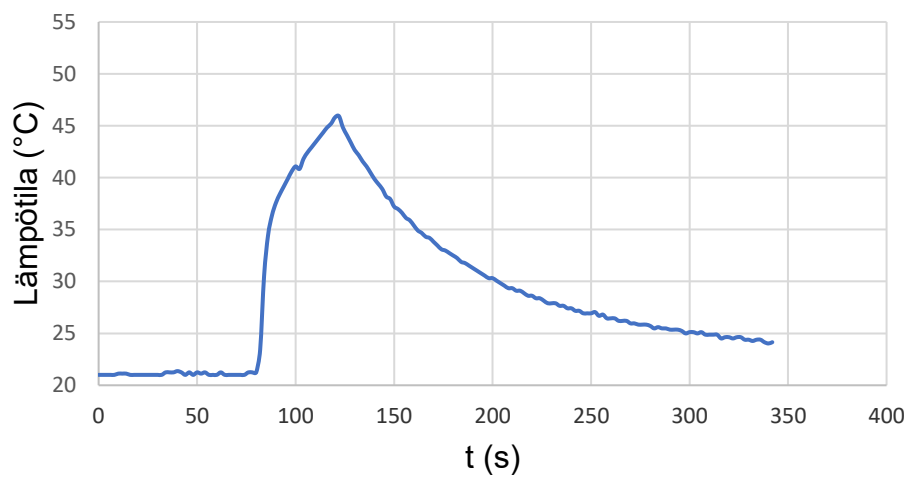
EverX Flow Bulk Shade 2 mm + G-aenial Posterior 2 mm, ajo 3



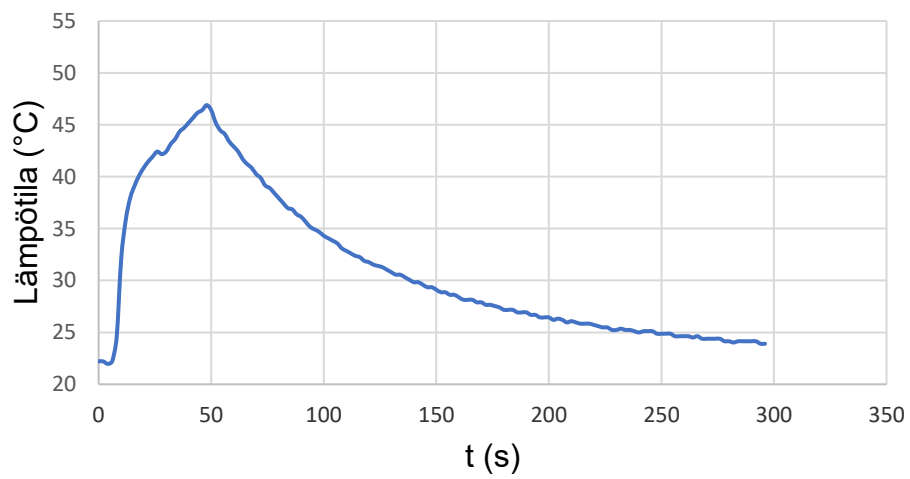


Koeasetelma 3: EverX Flow Bulk Shade 4 mm.

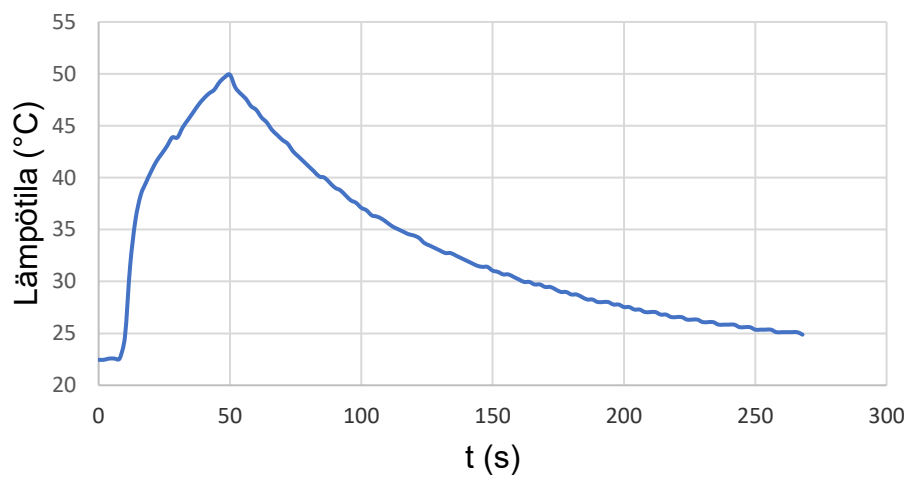
EverX Flow Bulk Shade 4 mm, ajo 1



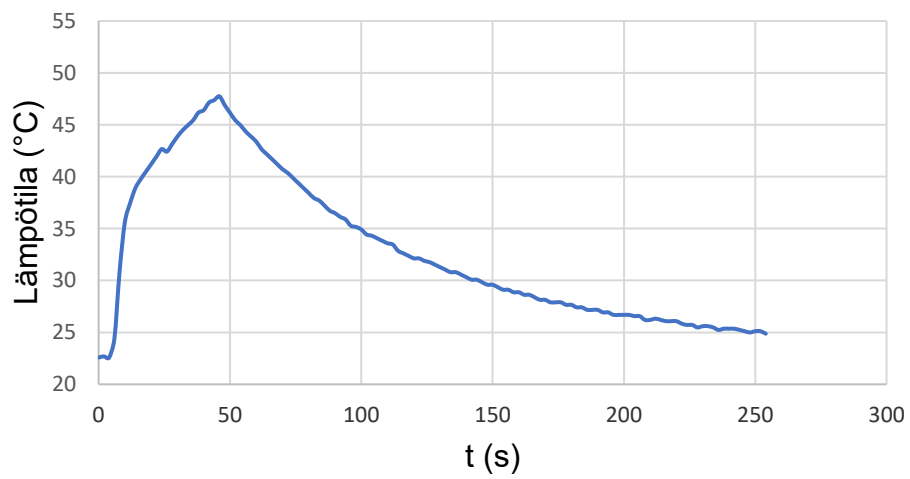
EverX Flow Bulk Shade 4 mm, ajo 2



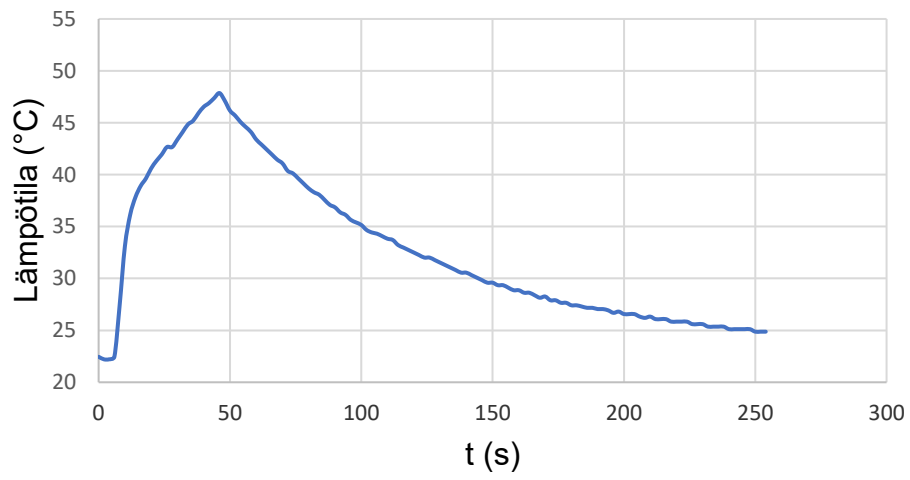
EverX Flow Bulk Shade 4 mm, ajo 3



EverX Flow Bulk Shade 4 mm, ajo 4



EverX Flow Bulk Shade 4 mm, ajo 5



EverX Flow Bulk Shade 4 mm, ajo 6

