

Opinnäytetyö (AMK)

Hammasteknikko (AMK)

2021

Dmitrii Grabarchuk

**SEKOITUSMENETELMÄN  
VAIKUTUS  
ERIKOISKOVAKIPSIN  
PURISTUSLUJUUTEEN JA  
LAAJENEMISEEN**

Dmitrii Grabarchuk

# SEKOITUSMENETELMÄN VAIKUTUS ERIKOISKOVAKIPSIN PURISTUSLUJUUTEEN JA LAAJENEMISEEN

Erikoiskovakipsi on käytetyin apumateriaali hammasproteesien valmistuksessa. Tässä työssä erikoiskovakipsi GC FUJIROCK EP Classic Line on valittu tutkittavaksi, koska se on yksi maailman suosituimmista erikoiskovakipseista ja hyvin tunnettu hammasteknikoiden keskuudessa.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on lisätä tietoutta erikoiskovakipsin sekoitusmenetelmästä ja tutkia, miten sekoitusmenetelmän muuttuminen vaikuttaa erikoiskovakipsin ominaisuuksiin. Opinnäytetyön pääpaino oli materiaalien mekaanisessa testaamisessa.

Työssä testattiin erikoiskovakipsin puristuslujuutta ja laajenemista. Puristuslujuuden testikappaleita testattiin kuivana kahden tunnin valmistamisen jälkeen. Jokaisessa testiryhmässä valmistettiin kuusi testikappaletta. Testausta suoritettiin rasiuskoneella (puristustesti). Testikappaleiden laajeneminen mitattiin millimetreinä työntömitalla ja muutos laskettiin prosentteina. Jokaisessa ryhmässä oli neljä testikappaletta.

Puristuslujuustestauksin tulosten mukaan kaikki saadut näytteet vastasivat ISO 6873:2013 -standardin mukaisiin vaatimuksiin eli niiden puristuslujuus oli enemmän kuin 35 MPa. Suurin arvo oli ryhmällä, jossa käytettiin hanavettä ja se sekoitettiin käsin ja kovettiin ilman vakuumia (55.9 MPa) ja pienin arvo oli ryhmällä, joka tehtiin hanavettä käyttäen ja sekoitettiin vakuumissa ja kovettiin paineessa (46.8 MPa).

Käytetyn nesteen määrää muutettaessa saatiin seuraavat laajenemisarvot 2 tunnin valamisen kuluttua: 19 ml tislattua vettä - 0,04%, 20 ml - 0,06%, 21 ml - 0,07%, 22 ml - 0,10%; 19 ml hanavettä - 0,05%, 20 ml - 0,07%, 21 ml - 0,08%, 22 ml - 0,11%, ja edelleen käytetyn nesteen määrää muutettaessa saatiin seuraavat laajenemisarvot 24 tunnin valamisen kuluttua: 19 ml tislattua vettä - 0,12%, 20 ml - 0,12%, 21 ml - 0,15%, 22 ml - 0,20%; 19 ml hanavettä - 0,14%, 20 ml - 0,19%, 21 ml - 0,21%, 22 ml - 0,23%.

Vakuumisekoitus vaikutti positiivisesti puristuslujuuteen, kun taas painekovetus laski puristuslujuutta. Vesilaadulla ei ollut merkitystä puristuslujuuteen. Tislattua vedestä tehdyt näytteet laajenivat vähemmän kuin hanavedestä tehdyt ja veden määrän lisääminen kasvatti laajenemista, kuin myös säilytysaika (2 h vs. 24 h).

## ASIASANAT:

Erikoiskovakipsi, Fujirock, sekoitusmenetelmä, puristuslujuus, laajeneminen

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Dental Technology

2021 | 36 pages, 3 pages in appendices

Dmitrii Grabarchuk

# EFFECT OF THE MIXING METHOD ON THE COMPRESSION STRENGTH AND EXPANSION OF DENTAL STONE

Dental stone is the most used auxiliary material in the manufacture of dentures. Dental stone GC FUJIROCK EP Classic Line has been chosen for examination in this work, because it is one of the most popular dental stone in the world and well known to every dental technician.

The aim of this thesis is to increase knowledge about the mixing method of dental stone and to study how the change of the mixing method affects the properties of dental stone. The main emphasis of the thesis was on mechanical testing of materials.

In this work the compressive strength and expansion of dental stone were tested. The compression test pieces were tested dry after two hours of preparation. Six test pieces were prepared in each test group. Testing was performed with a stress machine (compression test). The expansion of the test pieces was measured in millimeters by micrometer and then the value of the changes was calculated as a percentage. There were four test pieces in each group.

According to the results of compressive strength tests, all the obtained samples met the requirements of the ISO 6873: 2013 standard, i.e. their compressive strength was more than 35 MPa. The highest value was for the group using tap water and it was mixed by hand and cured without vacuum (55.9 MPa) and the lowest value was for the group made using tap water and mixed in vacuum and cured under pressure (46.8 MPa).

By changing the amount of liquid used, the following expansion values were obtained after 2 hours of pouring: 19 ml distilled water - 0,04%, 20 ml - 0,06%, 21 ml - 0,07%, 22 ml - 0,10%; 19 ml tap water - 0,05%, 20 ml - 0,07%, 21 ml - 0,08%, 22 ml - 0,11%. After 24 hours of pouring following expansion values were obtained: 19 ml distilled water - 0,12%, 20 ml - 0,12%, 21 ml - 0,15%, 22 ml - 0,20%; 19 ml tap water - 0,14%, 20 ml - 0,19%, 21 ml - 0,21%, 22 ml - 0,23%.

Vacuum mixing had a positive effect on compressive strength, while pressure curing decreased compressive strength. Water quality had no effect on compressive strength. Samples made from distilled water expanded less than samples from tap water. Raising the amount of water increased the expansion, as did the storage time (2h vs. 24 h).

KEYWORDS:

Dental stone, Fujirock, mixing method, compression strength, expansion

# SISÄLTÖ

<b>KÄYTETYT LYHENTEET JA SANASTO</b>	<b>7</b>
<b>1 JOHDANTO</b>	<b>8</b>
<b>2 OPINNÄYTETYÖN TAVOITE JA TAUSTAT</b>	<b>10</b>
2.1 Erikoiskovakipsin tuotanto	10
2.2 Kipsin kovettuminen	10
2.3 Kipsin luokittelu ominaisuuksien mukaan	11
2.4 Kipsin ominaisuudet ja niiden vaikutus työhön	12
<b>3 TUTKIMUSMATERIAALIT JA -RYHMÄT</b>	<b>14</b>
3.1 Tutkimusryhmät ja testikappaleet	14
3.1.1 Puristuslujuus	16
3.1.2 Testikappaleet kipsin laajenemisen mittaamista varten	18
<b>4 TUTKIMUSMENETELMÄT</b>	<b>20</b>
4.1 Puristuslujuus	20
4.2 Laajeneminen	22
<b>5 TULOKSET JA ANALYYSI</b>	<b>24</b>
5.1 Puristuslujuus	24
5.2 Laajeneminen	27
<b>6 POHDINTA</b>	<b>31</b>
6.1 Vakuumisekoituksen ja painekattilakovetuksen vaikutus kipsin puristuslujuuteen	31
6.2 Käytetyn nesteen vaikutus kipsin puristuslujuuteen ja laajenemiseen	31
6.3 Vesimäärän muutoksen vaikutus kipsin laajenemiseen	32
<b>7 EETTISYYS JA LUOTETTAVUUS</b>	<b>34</b>
<b>8 JOHTOPÄÄTÖKSET</b>	<b>35</b>
<b>LÄHTEET</b>	<b>36</b>

## LIITTEET

Liite 1. Testauksien tulokset

## KAAVAT

Kaava 1. Kipsin puristuslujuus (ISO 6873:2013).	22
Kaava 2. Ympyrän pinta-ala.	22
Kaava 3. Kipsin laajeneminen.	22

## KUVAT

Kuva 1. Laajenemista mittaava laite ("extensometer").	9
Kuva 2. Kipsin kalsinointi.	10
Kuva 3. Kipsin kovettumisen reaktio.	11
Kuva 4. GC FUJIROCK EP Classic Line - erikoiskovakipsi.	14
Kuva 5. Testikappaleet ja silikonimuoti.	17
Kuva 6. Puristuslujuustestikappaleet.	17
Kuva 7. Muovikappale ja silikonimuotti.	18
Kuva 8. Testikappaleet laajenemisen mittaamista varten.	19
Kuva 9. Rasituskone Shimadzu.	20
Kuva 10. Testikappaleen asennus testauskoneeseen.	21
Kuva 11. Testikappaleen murtuminen puristustestauksessa.	21

## KUVIOT

Kuvio 1. Testikappaleiden keskimääräiset puristuslujuudet ryhmittäin.	24
Kuvio 2. Puristuslujuuden arvojen erot kipsin valmistajan arvoon verrattuna.	25
Kuvio 3. Testikappaleiden keskimääräiset puristuslujuuden arvot veden mukaan.	26
Kuvio 4. Testikappaleiden keskimääräiset puristuslujuudet sekoitustekniikan mukaan.	26
Kuvio 5. Testikappaleiden keskimääräiset laajenemiset (käytettiin tislattua vettä).	27
Kuvio 6. Testikappaleiden keskimääräiset laajenemiset (käytettiin hanavettä).	28
Kuvio 7. Laajenemisten erot kontrolliryhmään verrattuna (2 tuntia).	29
Kuvio 8. Laajenemisten erot kontrolliryhmään verrattuna (24 tuntia).	30

## TAULUKOT

Taulukko 1. Kipsin laajeneminen ja puristuslujuus kipsin ISO 6873:2013 -standardin mukaan.	12
Taulukko 2. Puristuslujuustestit (n=36).	15
Taulukko 3. Laajenemistestit (n=32).	16

# KÄYTETYT LYHENTEET JA SANASTO

## LYHENTEET

ISO	International Organization for Standardization
MPa	Megapascal, paineen yksikkö SI-järjestelmässä
TCBC	Turun Kliininen Biomateriaalikeskus
V/J	Vesi/jauhe-suhde

## SANASTO

Blender-CAD	maksuton 3D-ohjelmisto, jolla voi suunnitella 3D-mallinnusta
Kalsinointi	veden poistaminen aineesta sitä kuumentamalla
Kipsin laajeneminen	materiaalin kykyä laajentua kovettumisvaiheessa ja sen jälkeen, mitataan prosenteina
Kipsistandardi	ISO 6873:2013
Puristuslujuus	materiaalin kykyä vastustaa voimaa, joka puristaa kappaletta kaasaan pystysuunnassa pyrkien saamaan kappaleen antamaan periksi, mitataan megapascalina

# 1 JOHDANTO

Erikoiskovakipsi on käytetyin apumateriaali hammasproteesien valmistuksessa. Siitä tehdään kruunu- ja siltatöiden malleja, rankaproteesien malleja ja purentakiskomalleja. Ne ovat edullisia, helppokäyttöisiä, nopeasti kovettuvia ja riittävä tarkkoja (Ukhanov & Ryakhovsky 2010).

Kipsin mekaaniset ominaisuudet ja tarkkuus ovat tärkeitä mallien ja valmistetun hammasproteesin laatuun vaikuttavia tekijöitä. Siksi on tärkeää, että jokaisella hammasteknikolla on selkeä käsitys kipsin ominaisuuksista ja erilaisista sekoitustekniikoista.

Opinnäytetyössä tutkittiin GC FUJIROCK EP Classic Line -erikoiskovakipsin puristuslujuutta ja laajenemista. Nämä ominaisuudet on valittu tutkittaviksi, koska nämä perusominaisuudet määrittävät kipsin luokan ja kaikki valmistajat ilmoittavat ne pakkauksissa. Näitä ominaisuuksia analysoidessa hammasteknikko saa selkeän käsityksen kipsin laadusta ja luokasta. Kipsiluokka määritetään sen perusteella, vastaavatko nämä ominaisuudet ISO 6873:2013 -standardin vaatimuksia. Tutkimuksen aihe on ajankohtainen ja merkittävä, koska kipsi on edelleen tärkein materiaali mallien tekemisessä hammaslaboratoriossa. GC FUJIROCK EP Classic Line -erikoiskovakipsin tuotemerkki on valittiin tutkittavaksi, koska se on yksi maailman suosituimmista erikoiskovakipseista ja myös hyvin tunnettu hammasteknikoiden keskuudessa.

Tässä opinnäytetyössä tehdään testikappaleita, joita testataan rasituskoneella (puristus-testi) ja mitataan mikrometrillä (laajeneminen). Tulokset analysoidaan tutkimuskysymysten pohjalta. Puristuslujuus (engl. compression strength) kertoo materiaalin kyvystä vastustaa puristavia voimia. On tärkeää tutkia hammasteknisiä materiaaleja puristuskuormitettuna, koska suurin osa purupaineista on puristusluonteista. Tämä testi soveltuu parhaiten hauraiden materiaalien vertailuun, koska niillä on suhteellisesti matala puristuslujuus. Sen vuoksi tätä testiä käytetään komposiittimateriaalien, jäljennösmassojen, valumassojen ja kipsien vertailussa (Wang et al. 2003, 164). ISO 9917 -standardin mukaan puristuslujuustestauksia varten valmistetaan sylinterimäisiä näytteitä. Kappaleiden pituuden ja halkaisijan suhteen tulisi olla 2:1. Tämän osuuden ylittäminen voi johtaa näytteen epätoivottuun taipumiseen (Wang et al. 2003, 164). ISO 6873:2013-standardin mukaan kipsin laajeneminen mitataan erikoislaitteella, englanniksi "extensometer" (kuva 1).





Kuva 1. Laajenemista mittaava laite ("extensometer").

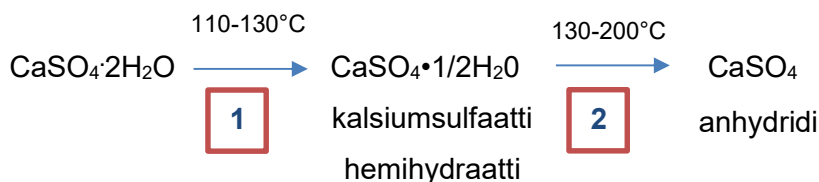
Kipsin laajeneminen (engl. expansion) kertoo materiaalin kyvystä laajentua kovettumisen aikana ja sen jälkeen. Kipsin laajenemisen mittaamisessa käytetään kahden tyyppisiä laitteita: laitteita, joilla on V- tai neliön muotoinen kouru kipsin valamiseen. V-muotoinen kolmikulmainen poikkileikkauskouru on valmistettu ruostumattomasta metallista (kuten alumiinista, ruostumattomasta teräksestä tai messinkiseoksesta) näytteen valmistukseen, jonka pituus on  $100,0 \pm 0,1$  mm. Laitteessa on väline, joka mittaa pituuden muutoksen  $0,01$  mm:n tarkkuudella ja antaa enintään  $0,8$  N mittausvoiman. Kourun sisäinen poikkileikkaus on tasakylkinen kolmio, jonka kulma on  $90^\circ$  ja sivujen pituudet ovat  $30 \pm 1$  mm. Kourun toinen pää on suljettu liikkumattomalla päätyosalla ja toinen liikkuvalla päätyosalla, jonka massa on  $190 \pm 1$  g. On myös mahdollista käyttää laitetta, jonka poikkileikkaus on neliömäinen ja jossa kipsinäytteen mitat ovat seuraavat: pituus -  $100,0 \pm 0,1$  mm, leveys  $20,0 \pm 0,1$  mm, korkeus  $20,0 \pm 0,1$  mm.

## 2 OPINNÄYTETYÖN TAVOITE JA TAUSTAT

Kipsin ominaisuudet muuttuvat riippuen siitä, kuinka hyvin valmistajan ohjeita noudatetaan ja millä tavalla kipsi sekoitetaan. Tämän tutkimuksellisen opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää, kuinka erikoiskovakipsin mekaanisiin ominaisuuksiin voidaan vaikuttaa käyttäen erilaisia sekoitustekniikoita, vesilaatuja sekä painekattilakovetusta.

### 2.1 Erikoiskovakipsin tuotanto

Kaikki kipsilaadut valmistetaan kalsiumsulfaatti dihydraatista ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ). Kalsiumsulfaatti dihydraatti on rikkihapon kalsiumsuola, joka esiintyy normaalisti kiteytyneenä sisältäen tällöin kidevettä. Kidevesi on kiteeseen kemiallisesti sitoutunut ja se voidaan sopivissa olosuhteissa saada poistetuksi kiteestä. Kidevettä poistetaan kalsiumsulfaatti dihydraatista, kun sitä pidetään  $110\text{-}130^\circ\text{C}$  lämpötilassa. Tämä vastaa reaktion alkuvaiheeseen (kuva 2). Kipsipohjaisten tuotteiden pääaine on kalsiumsulfaattit hemihydraatit [ $(\text{CaSO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$  tai  $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2 \text{H}_2\text{O}$ ]. Tuloksina olevat partikkelit ovat hienojen kiteiden kuitumainen konglomeraatti, jolla on kapillaarihuokosia. Lämpötilan noustessa edelleen siitä tulee anhydridi (lopetusvaihe). Tämä prosessi tunnetaan kalsinointina. (Anusavice et al. 2013, 183). Jos kalsinointi tapahtuu paineen alla 30% kalsiumkloridiliuoksessa tai yli 1%: n natriumsukkinaatin läsnä ollessa, tuloksina olevat hemihydraattikiteet ovat lyhyempiä ja paksumpia kuin autoklavoiduilla hemihydraateilla (kovakipsi). Jäännöskalsiumkloridi tai natriumsukkinaatti poistetaan pesemällä jauhetta kuumalla vedellä (Anusavice et al. 2013, 183-184).

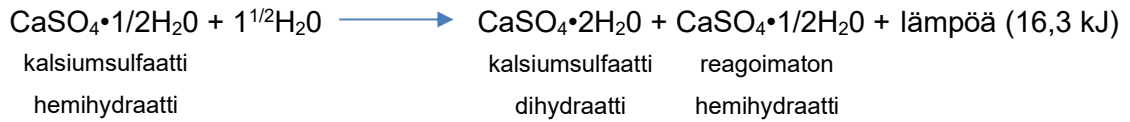


Kuva 2. Kipsin kalsinointi.

### 2.2 Kipsin kovettuminen

Kipsituotteiden (hemihydraatien) ja veden välisen reaktion tuloksena on kiinteä (kovettunut) kipsi. Kovettumisreaktion aikana vapautuu hemihydraatin energia, joka vastaa alun

perin kalsinointia varten käytettyä energiaa. Kovettumisreaktio ei todennäköisesti koskaan saavuta 100%:n muuntumista ellei se ole pitkään kosteassa. Siksi kovettuneeseen kipsiin jää aina reagoimattomia hemihydraatteja (kuva 3).



Kuva 3. Kipsin kovettumisen reaktio.

Tämä reaktio on tullut mahdolliseksi, koska hemihydraatin liukoisuus vedessä on neljä kertaa suurempi kuin dihydraatin huoneen lämmössä. Alla on kovettumisreaktion kuvaus (Anusavice et al. 2013, 183-184).

1. Hemihydraatti veteen sekoitettuna aiheuttaa suspension.
2. Hemihydraatin liukeneminen etenee, kunnes seoksesta tulee ionien  $\text{Ca}^{2+}$  ja  $(\text{SO}_4)^{2-}$  kyllästetty liuos.
3. Kun kyllästetty hemihydraattiliuos on ylikyllästetty dihydraatin liukoisuuden suhteen, dihydraatti alkaa saostua.
4. Dihydraatin saostuessa hemihydraatti jatkaa liuottamista. Prosessin jatkaminen johtuu uusien kiteiden muodostumisesta tai olevien kiteiden kasvusta. Se kestää, kunnes dihydraatin saostuminen loppuu.

### 2.3 Kipsin luokittelu ominaisuuksien mukaan

Kipsin laatu määritetään sen perusteella, miten se vastaa kipsistandardin vaatimuksia. ISO 6873:2013 kipsistandardin perusteella kipsi luokitellaan kahden mekaanisen ominaisuuden (puristuslujuuden ja laajenemisen) mukaan (Taulukko 1). Kipsin standardin mukaan laajenemista mitataan 2 ja 24 tuntia kipsin kovettumisen jälkeen. Kipsin puristuslujuus mitataan tunnin kovettumisen jälkeen. Jotta erikoiskovakipsi vastaisi kipsin standardin vaatimuksiin, sen puristuslujuus pitäisi olla enemmän kuin 35 MPa ja laajeneminen korkeintaan 0,15% (2 tuntia) ja 0,18% (24 tuntia). Valmistajan mukaan GC FU-JIROCK EP Classic Line - erikoiskovakipsin puristuslujuus on 53 MPa (1 tunti

kovettumisen jälkeen) ja laajenemista on vähemmän kuin 0,09% (2 tuntia kovettumisen jälkeen). Näiden indikaattorien mukaan tämä kipsi ylittää kipsistandardin vaatimukset.

Taulukko 1. Kipsin laajeneminen ja puristuslujuus kipsin ISO 6873:2013 -standardin mukaan.

Tyyppi	Kipsin laajeneminen, %				Puristuslujuus, MPa	
	2 t		24 t		1 t	
	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
1	0,00	0,15	-	-	4,0	8,0
2 (class 1)	0,00	0,05	-	-	9,0	-
2 (class 2)	0,06	0,30	-	-	9,0	-
3	0,00	0,20	-	-	20,0	-
4	0,00	0,15	0,00	0,18	35,0	-
5	0,16	0,30	-	-	35,0	-

#### 2.4 Kipsin ominaisuudet ja niiden vaikutus työhön

Erikoiskovakipsin tärkeimmät vaatimukset ovat lujuus, kovuus ja minimaalinen laajeneminen. Kovapinta on välttämätön kipsin ominaisuus, koska hampaan pilari peitetään vahalla ja veistetään tasaisesti muotin reunoilla. Tähän tarkoitukseen käytetään teräviä instrumentteja; sen vuoksi kipsin on oltava kulutusta kestävä (Anusavice et al. 2013, 191). Mittatarkkuus ja stabiilisuus ovat kiinteän protetiikan tärkeät ominaisuudet. Lineaarinen laajeneminen hemihydraatista dihydraattiin siirtyessä riippuu monista muuttujista ja voi huomattavasti vaikuttaa valun tai muotin tarkkuuteen, mikä vaikuttaa suoraan valun sovittamiseen ja purentaan. (Heshmati et al. 2002, 27). Kipsin laajeneminen kovetuessaan voi kuitenkin aiheuttaa merkittävän mallin vääristymisen ja vaikuttaa proteesin sovituksen tarkkuuteen. Lisäksi mallin heikko lujuus johtaa joskus kipsin murtumiin jäljennöksestä poistamisessa, mallien purentaan sovittamisessa ja proteesin valmistamisessa (Uhanov & Ryahovsky 2010).

Kaksoistislattu tai tislattu vesi soveltuu parhaiten kipsin sekoittamiseen ja suurimman lujuuden ja kovuuden saavuttamiseen. Veden kovuus vähentää kipsin lujuutta ja kovuutta merkittävästi. Mitä enemmän vesipitoista V/J sekoitussuhdetta käytetään, sitä hitaammin kovettuminen edistyy ja sitä heikoimmaksi kipsin kovuus ja vahvuus jäävät

(Jayaprakash et al. 2014, 75). Puristus- ja vetolujuudet ovat yleisimpiä laboratoriotestimenetelmiä, jotka kuvaavat kipsien mekaanisia ja fysikaalisia ominaisuuksia. Jørgensen ja Kono osoittivat, että vakuumisekoitus lisäsi erikoiskovakipsin puristuslujuutta 20%:lla johtuen siitä, että kipsin huokoisuus vähenee (Azer et al. 2008, 737).

### 3 TUTKIMUSMATERIAALIT JA -RYHMÄT

Opinnäytetyössä tutkittiin GC FUJIROCK EP Classic Line - erikoiskovakipsin (kuva 4) puristuslujuutta ja laajenemista. Tässä työssä tutkittiin näiden ominaisuuksien muuttamista eri kipsin sekoitusmenetelmillä. Tämän työn tutkimuskysymykset olivat:

1. Vaikuttavatko vakuumisekoitus ja painekattilakovetus kipsin puristuslujuuteen?
2. Vaikuttaako kipsin valmistamiseen käytetty neste (hanavesi/tislattu vesi) kipsin puristuslujuuteen ja laajenemiseen?
3. Vaikuttaako vesimäärän muutos kipsin laajenemiseen?



Kuva 4. GC FUJIROCK EP Classic Line - erikoiskovakipsi.

#### 3.1 Tutkimusryhmät ja testikappaleet

Tässä tutkimuksessa oli 14 tutkimusryhmiä ja niissä oli kaiken kaikkiaan yhteensä 68 testikappaleita (n=68). Kontrolliryhmän testikappaleiden kipsi valmistettiin kipsinvalmistajan ohjeiden mukaan vakuumisekoituslaitteessa. Muut tutkimuskappaleet valmistettiin kahdella tavalla:

1. V/J suhdetta muuttamatta tai
2. muuttamalla V/J suhdetta.

Kun V/J suhdetta ei muutettu, käytettiin 20 ml hana- tai tislattua vettä ja 100 g kipsiä. Tutkimusryhmät erosivat toistaan sekoitustavan mukaan:

- käsisekoitus vibraattoria käyttäen,
- vakuumisekoituslaitteessa,
- vakuumisekoituslaitteessa ja painekattilakovetus.

Käsimenetelmällä kipsiä sekoitettiin vibraattorille asetetussa muovikulhossa yhden minuutin aikana. Vakuumisekoitusmenetelmällä kipsi sekoitettiin käsin 20 sekuntia ennen vakuumisekoituslaitteeseen laittamista. Sitten vakuumisekoituslaitteessa kipsiä sekoitettiin myös 1 minuutin aikana. Painekovetus suoritettiin painekattilassa välittömästi kipsinäytteiden valamisen jälkeen. Kipsinäytteitä pidettiin 2 baarin paineessa 1 tunnin ajan. Kaikki nesteen ja kipsin punnitukset suoritettiin Zubler Vario Balance-vaa'alla 0,1 ml / 0,1 g tarkkuudella. Ne testiryhmät jotka tehtiin erilaisilla V/J suhteilla valmistettiin vakuumisekoituslaitteessa.

Tutkimuksen ensimmäisessä vaiheessa muodostettiin 6 testattavaa ryhmää. Jokaisessa testiryhmässä oli 6 testikappaletta, jotta valmistuksessa ja testauksessa mahdollisesti sattuvien poikkeamien vaikutus testituloksiin saataisiin minimoitua. Puristuslujuustestejä varten tehtiin yhteensä 36 testikappaletta. Testattavat ryhmät on lueteltu Taulukossa 2.

Taulukko 2. Puristuslujuustestit (n=36).

<b>Hanavesi</b> (V/J – 20ml: 100g)	<b>Tislattu vesi</b> (V/J – 20ml: 100g)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Käsisekoitus vibraattoria käyttäen, ei vakuumia tai painetta</li> <li>• Käsi- ja vakuumisekoitus, ei painetta</li> <li>• Käsi- ja vakuumisekoitus ja painekattila kovetus</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Käsisekoitus vibraattoria käyttäen, ei vakuumia tai painetta</li> <li>• Käsi- ja vakuumisekoitus, ei painetta (kontrolliryhmä)</li> <li>• Käsi- ja vakuumisekoitus ja painekattila kovetus</li> </ul>

Tutkimuksen toisessa vaiheessa muodostettiin 8 testattavaa ryhmää. Jokaisessa testiryhmässä oli 4 testikappaletta. Siten 32 testikappaletta otettiin kipsin laajenemisen testaamiseksi. Testattavat ryhmät on lueteltu Taulukossa 3. Testikappaleita valmistettiin käyttäen vakuumisekoitusmenetelmää. Näidne ryhmien kipsi kovetettiin ilman painetta.

Taulukko 3. Laajenemistestit (n=32).

Hanavesi	Tislattu vesi
V/J – 19ml : 100g	V/J – 19ml : 100g
V/J – 20ml : 100g	V/J – 20ml : 100g (kontrolliryhmä)
V/J – 21ml : 100g	V/J – 21ml : 100g
V/J – 22ml : 100g	V/J – 22ml : 100g

### 3.1.1 Puristuslujuus

ISO 6873:2013 -standardin mukaan testikappaleiden halkaisijan on oltava 20 mm ja pituuden 40 mm. Puristuslujuutta testattaessa tällaisiin kipsinäytteisiin on kohdistettava yli 11000 N:n puristusvoimalla. Tätä tutkimusta varten oli käytettävissä laite, joka antoi puristusvoimaa maksimissaan 10000 N. Tämän vuoksi testinäytteen halkaisija ja pituus puolitettiin, halkaisija oli 10 mm ja pituus 20. Testikappaleiden valmistamista varten tehtiin silikoni muotti (kuva 5). Muotin valmistamista varten suunniteltiin muovisyylinteri Blender-CAD-ohjelmistolla. Muovisyylinterien halkaisija oli 10,1 mm ja pituus 22 mm. Syylinterien pituutta lisättiin 2 mm verrattuna puolitettuun kipsistandardin vaatimuksiin, jotta muotissa tehtyjen kipsisten testikappaleiden ylä- ja alapinta voitiin tahkota samansuuntaiseksi. Muovisyylinterit tulostettiin Phrozen Sonic Resin LCD 3D -tulostimella 100 µm tarkkuudella. Saatujen kappaleiden halkaisija oli 10,18 mm (kuva 5). Valmiit muovisyylinterit jäljennettiin duplikointisilikonilla.





Kuva 5. Testikappaleet ja silikonimuoti.

Kipsinäytteet valmistettiin valamalla kipsiä silikonimuottiin. Muotissa pystyi tekemään 6 testikappaletta kerralla. Kuvassa 6 on puristuslujuuden testauksia varten erikoiskovakipsistä valmistettiin sylinterimäisiä testikappaleita, joiden halkaisijat olivat 10,1 mm ( $\pm 0,1$  mm) ja pituudet 19,4 mm ( $\pm 0,7$  mm). Testikappaleita säilytettiin huoneenlämmössä kaksi tuntia ennen testaamista.



Kuva 6. Puristuslujuustestikappaleet.

### 3.1.2 Testikappaleet kipsin laajenemisen mittaamista varten

Johdannossa esiteltyjä kipsin laajenemista mittaavia laitteita ei ollut saatavilla. Sen takia kipsinäytteiden laajenemisten mittaamista varten testikappaleet valmistettiin silikonimuottilla. Tätä tarkoitusta varten suunniteltiin Blender-CAD-ohjelmistolla 2 suorakulmaista särmiötä, joiden pituus oli 100,2 mm, leveys 20,2 mm ja korkeus 20,2 mm. Suunnitellut kappaleet tulostettiin Phrozen Sonic Resin LCD 3D -tulostimella 100  $\mu$ m tarkkuudella. Saatujen kappaleiden mitat olivat 100,1 mm x 20,1 mm x 20,1 mm. Tämän jälkeen muovikappaleet jäljennettiin duplikointisilikonilla (kuva 7). Kipsinäytteet valmistettiin valamalla kipsiä silikonimuottiin, jossa oli 2 suorakulmaista särmiötä. Erikoiskovakipsistä valmistettujen testikappaleiden mitat olivat 100,1 mm ( $\pm$  0,3 mm) x 20,1 mm ( $\pm$  0,2 mm) x 20,1 mm ( $\pm$  0,2 mm).



Kuva 7. Muovikappale ja silikonimuotti.

Saadut kipsinäytteet poistettiin silikonimuotista 20 minuutin kuluttua kipsin valamisesta ja mitattiin ensimmäisen kerran (kuva 8). Tämä pituus otettiin lähtökohdaksi.



Kuva 8. Testikappaleet laajenemisen mittaamista varten.

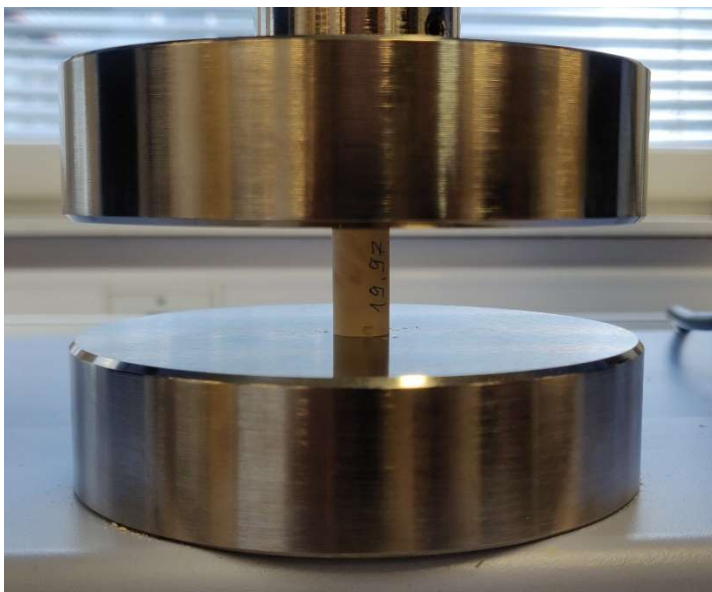
## 4 TUTKIMUSMENETELMÄT

### 4.1 Puristuslujuus

Testikappaleita testattiin rasituskoneella (kuva 9) TCBC:n tiloissa Turussa. Tulokset analysoitiin ensimmäisen ja toisen tutkimuskysymysten pohjalta. Testikappaleet asetettiin kalibroituun universaaliin testauslaitteeseen yksitellen peräkkäin kahden kovametallitu-kilohkon väliin (kuva 10), jotka puristivat testikappaleita. Testit suoritettiin testiryhmittäin peräkkäisinä sarjoina. Peräkkäin suoritettuina testiolosuhteet pysyivät vakiona, millä pyrittiin varmistamaan testien vertailukelpoisuutta.

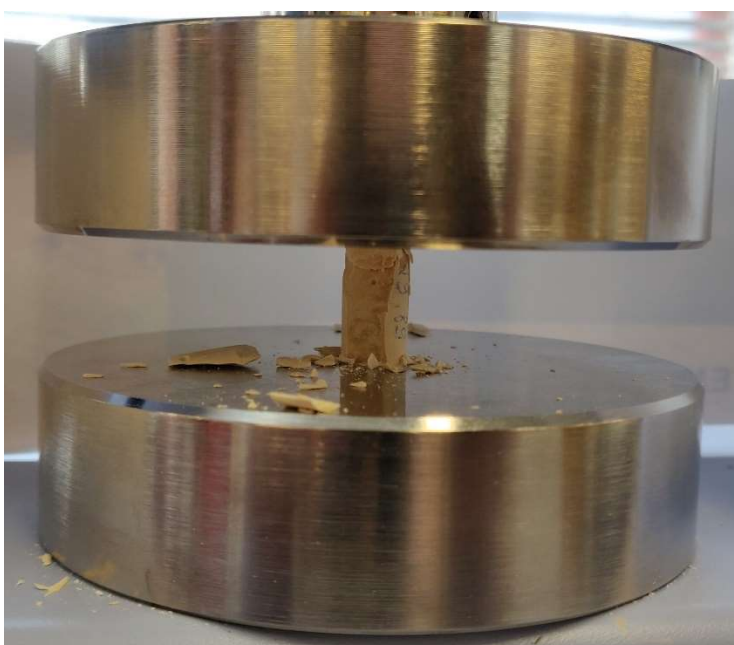


Kuva 9. Rasituskone Shimadzu.



Kuva 10. Testikappaleen asennus testauskoneeseen.

Testilaitteistoon syötettiin jokaisen kappaleen mitat, joiden perusteella laitteisto määrittä jokaiselle kappaleelle vertailukelpoiset tulokset. Puristuslujuus laskettiin saatujen tulosten perusteella. Näytteiden suurin puristuslujuus määritettiin käytetyn puristusvoiman arvolla, jolla näytteisiin ilmestyi halkeamia tai näyte murtui (kuva 11).



Kuva 11. Testikappaleen murtuminen puristustestauksessa.

Puristuslujuus ilmaistaan megapascalina (MPa) ja lasketaan ISO 6873:2013 -standardin määrittämän yhtälön avulla (Kaava 1).

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

Kaava 1. Kipsin puristuslujuus (ISO 6873:2013).

jossa

$\sigma$  = puristuslujuus (MPa)

F = suurin kappaleeseen kohdistava voima (N)

S = kappaleen pinta-ala (m<sup>2</sup>)

Kappaleen pinta-ala lasketaan yhtälön avulla (Kaava 2), koska se on ympyrä.

$$S = \pi r^2$$

Kaava 2. Ympyrän pinta-ala.

#### 4.2 Laajeneminen

Testikappaleiden laajenemista mitattiin millimetreinä työntömitalla, jolla on tarkkuus 0,01 mm. Muutosten arvo laskettiin prosentteina ISO 6873:2013 -standardin mukaan. Tulokset analysoitiin toisen ja kolmannen tutkimuskysymysten pohjalta.

Mittaukset tehtiin työntömitalla 20 minuutin, 2, 10 ja 24 tunnin kuluttua kipsin valamisesta. Mittaustarkkuuden lisäämiseksi kontrollipisteet merkittiin kummallekin päätypuolelle tussikynällä. Mittaukset tehtiin näiden kahden pisteen välillä (kuva 8). Kipsin laajeneminen ilmaistaan prosentteina ja lasketaan yhtälön avulla (Kaava 3).

$$e = \left( \frac{l_2}{l_1} - 1 \right) * 100\%$$

Kaava 3. Kipsin laajeneminen.

jossa

$e$  = laajeneminen (%)

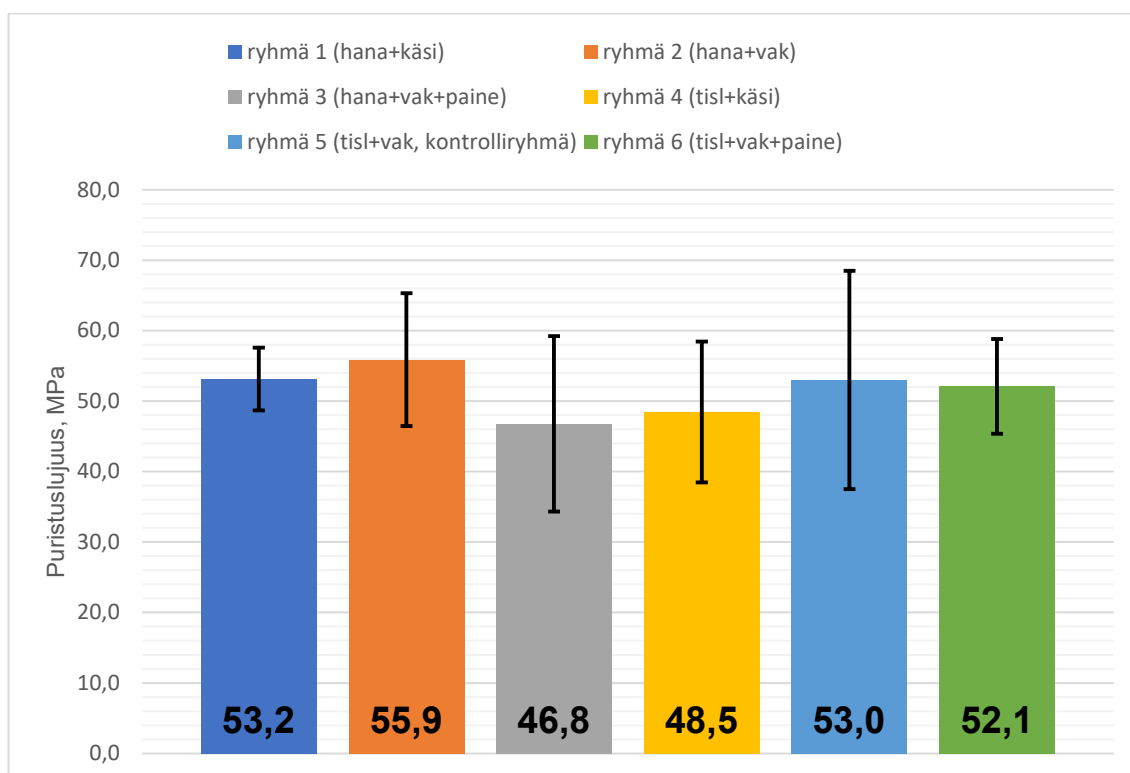
$l_1$  = kontrollipisteiden välillä mitattu alkuperäisen näytteen pituus (mm)

$l_2$  = kontrollipisteiden välillä mitattu näytteen pituus 2 tunnin / 10 tunnin / 24 tunnin kulluttua kipsin valamisesta

## 5 TULOKSET JA ANALYYSI

### 5.1 Puristuslujuus

Kuviossa 1 on esitetty testikappaleiden keskimääräiset puristuslujuuden arvot ryhmittäin. Palkin jana kertoo testikappaleiden keskihajonnan. Pieni keskihajonta kertoo testikappaleiden tasalaatuisuudesta. Suuri keskihajonta viittaa siihen, että testattujen kappaleiden suurimmat ja pienimmät puristuslujuudet poikkeavat toisistaan runsaasti.

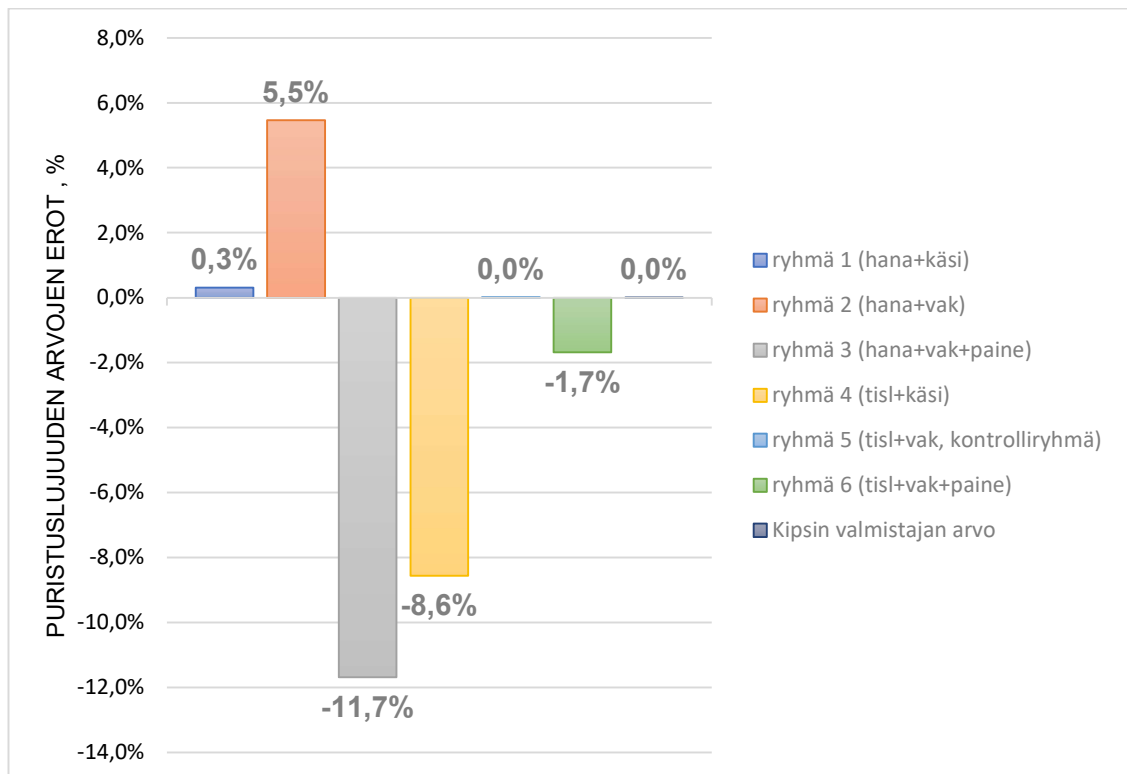


Kuvio 1. Testikappaleiden keskimääräiset puristuslujuudet ryhmittäin.

Tutkimuksen tulosten mukaan, kaikki saadut näytteet vastasivat kipsistandardin vaatimukseen eli niiden puristuslujuus oli enemmän kuin 35 MPa, mutta vain ryhmä 1, ryhmä 2 ja ryhmä 5 vastasivat valmistajan ilmoittamiin puristuslujuuden tietoihin (53 MPa tunnin kuluttua). Vahvin oli kuitenkin ryhmä 2 (hanavesi, käsisekoitus vibraattoria käyttäen) ja heikoin ryhmä 3 (hanavesi, vakuumisekoituslaite ja painekattilakovetus). Isoin keskihajonta oli 15,5 MPa (tislattu vesi, vakuumisekoituslaite) ja pienin keskihajonta oli 4,4 MPa (hanavesi, käsisekoitus vibraattoria käyttäen).

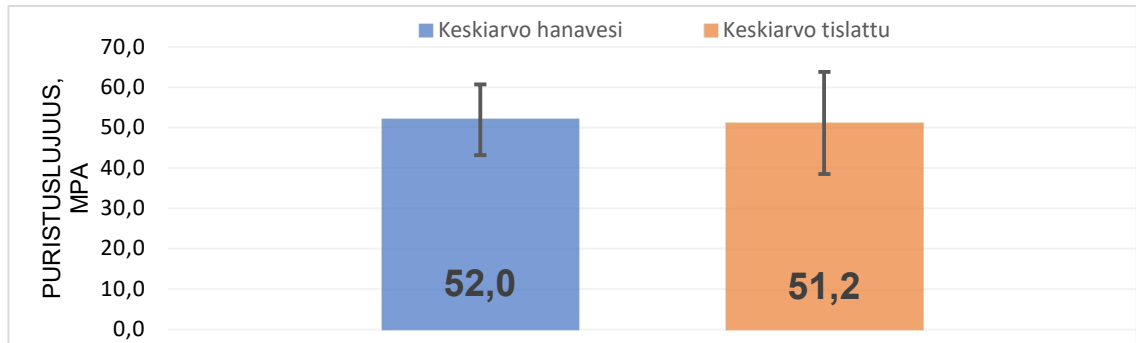


Ryhmä 1 (hanavesi, käsisekoitus vibraattoria käyttäen) oli 9,7% vahvempi kuin ryhmä 4 (tislattu vesi, käsisekoitus vibraattoria käyttäen). Ryhmä 2 (hanavesi, vakuumisekoituslaite) oli 5,5% vahvempi kuin ryhmä 5 (tislattu vesi, vakuumisekoituslaite, kontrolliryhmä). Ryhmä 3 (hanavesi, vakuumisekoituslaite ja painekattilakovetus) oli 11,3% heikompi kuin ryhmä 6 (tislattu vesi, vakuumisekoituslaite ja painekattilakovetus). Testiryhmien puristuslujuuden arvojen vertailu kipsin valmistajan puristuslujuuden arvoon on esitetty kuviossa 2. Kipsin valmistajan puristuslujuuden arvoksi otettiin "0", jotta testiryhmien keskimääräisiä puristuslujuusarvoja voitaisiin verrata siihen.



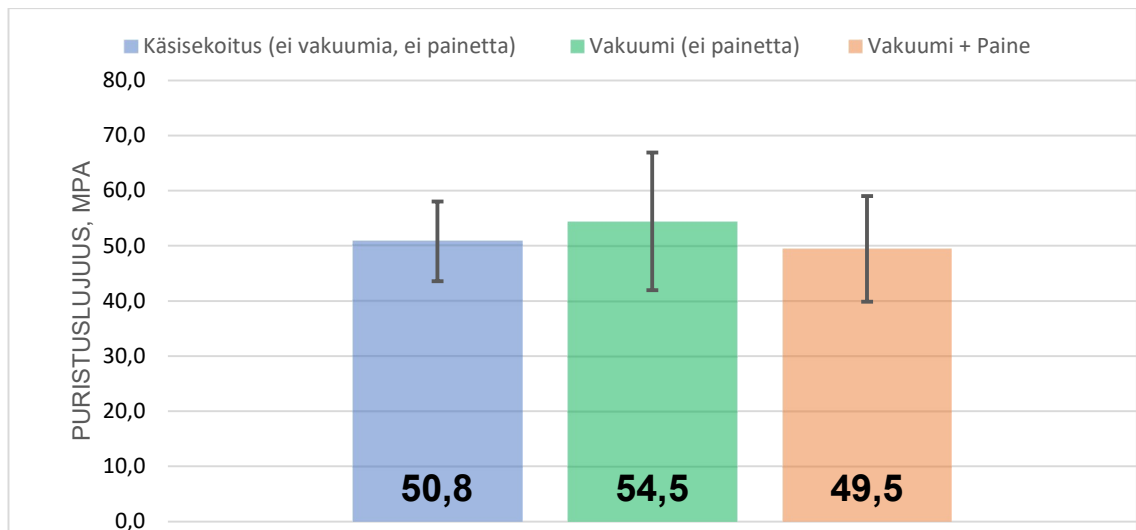
Kuvio 2. Puristuslujuuden arvojen erot kipsin valmistajan arvoon verrattuna.

Kuvion 2 mukaan kontrolliryhmän (ryhmä 5) puristuslujuuden arvo oli samalla tasolla, kuin kipsin valmistajan puristuslujuuden arvo. Ryhmän 1 ja kontrolliryhmän puristuslujuuden arvot olivat melkein samalla tasolla. Vain ryhmä 2 oli 5,5% vahvempi kuin kontrolliryhmä. Ryhmä 3, ryhmä 4 ja ryhmä 6 olivat vastaavasti 11,7%, 8,6% ja 1,7% heikommat kuin kontrolliryhmä. Hanavesi ja tislattu vesi ryhmien puristuslujuus oli samalla tasolla (kuvio 3), kun kaikki hanavesi ja tislattu vesi ryhmät laskettiin yhteen. Eli hanaveden ryhmien keskiarvo oli 52,0 MPa (keskihajonta - 8,8 MPa) ja tislattun veden ryhmien keskiarvo oli 51,2 MPa (keskihajonta - 12,6 MPa).



Kuvio 3. Testikappaleiden keskimääräiset puristuslujuuden arvot veden mukaan.

Kuviossa 4 on esitetty testikappaleiden keskimääräiset puristuslujuuden arvot sekoitustekniikan mukaan. Vakuumisekoitettujen (ei painetta) testikappaleiden puristuslujuus oli 7,2% vahvempi kuin käsisekoitettujen (ei vakuumia, ei painetta). Toisaalta keskihajonta oli suurempi vakuumisekoitetuissa testiryhmissä 72,5%, kuin käsisekoitusta käyttäen.

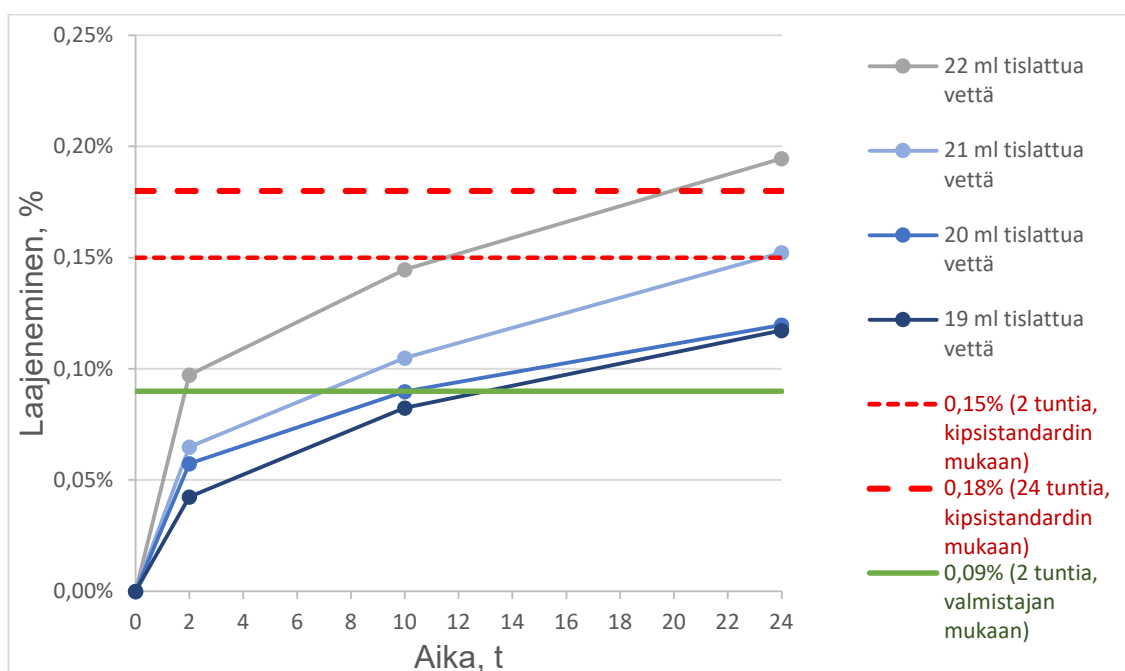


Kuvio 4. Testikappaleiden keskimääräiset puristuslujuudet sekoitustekniikan mukaan.

Paineessa kovetetut testikappaleet olivat heikompia 9,2% kuin ilman painetta kovetetut testikappaleet (vakuumisekoituslaitteessa) ja 2,7% heikompia kuin käsisekoitustekniikassa (ei vakuumia, ei painetta). Toisaalta keskihajonta oli suurempi vakuumisekoitetuissa testiryhmissä 23,1%, kuin paineessa kovetetussa ryhmässä. Käsisekoituksessa ryhmän keskihajonta oli 24,6% pienempi, kuin paineessa kovetetussa ryhmässä.

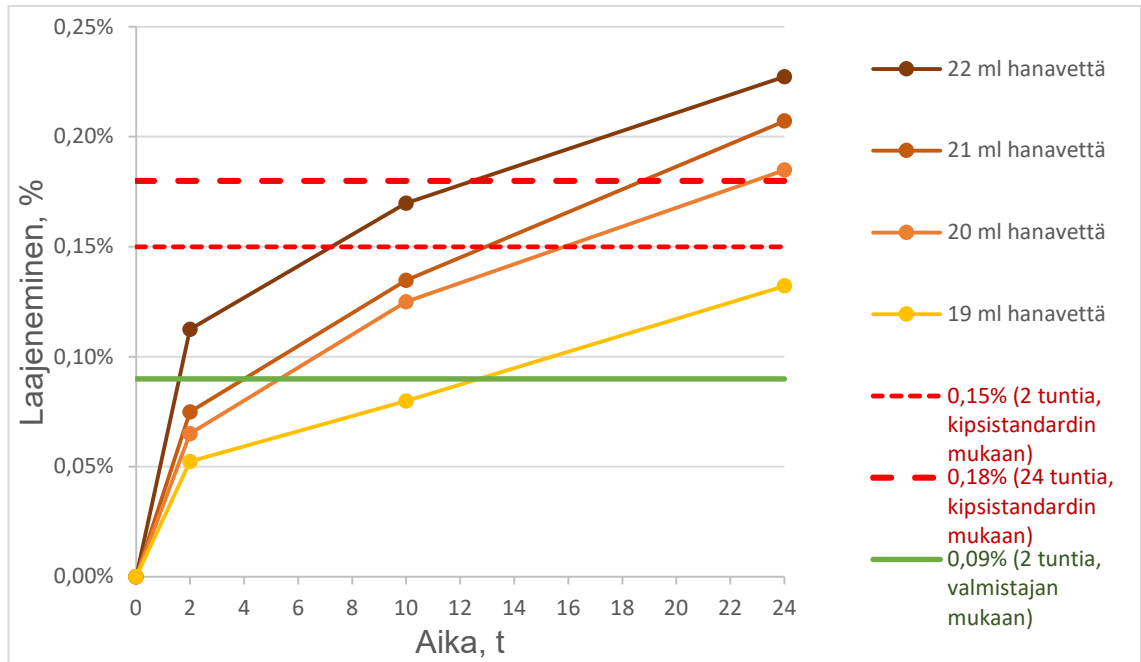
## 5.2 Laajeneminen

Kuvioissa on esitetty käyrät, jotka kuvaavat kipsin laajenemisen keskiarvoja 2 tunnin / 10 tunnin / 24 tunnin kuluttua kipsin valamisesta; laajenemisarvot, jotka tulee olla kipsistandardin mukaisia erikoiskovakipsillä 2 ja 24 tunnin kuluttua kipsin valamisesta sekä laajenemisarvot 2 tunnin kuluttua kipsin valamisesta kipsivalmistajan tietojen mukaan. Tislattun veden laajenemistestien tuloksien mukaan (kuvio 5) tislattulla vedellä sekoitettujen näytteiden laajenemisten keskiarvot kipsivalamisen jälkeen 2 tunnin kuluttua olivat 0,04%, 0,06%, 0,07% ja 0,10%. Kipsinäytteiden keskimääräiset laajenemisarvot 24 tunnin kuluttua olivat 0,12%, 0,12%, 0,15% ja 0,20%.



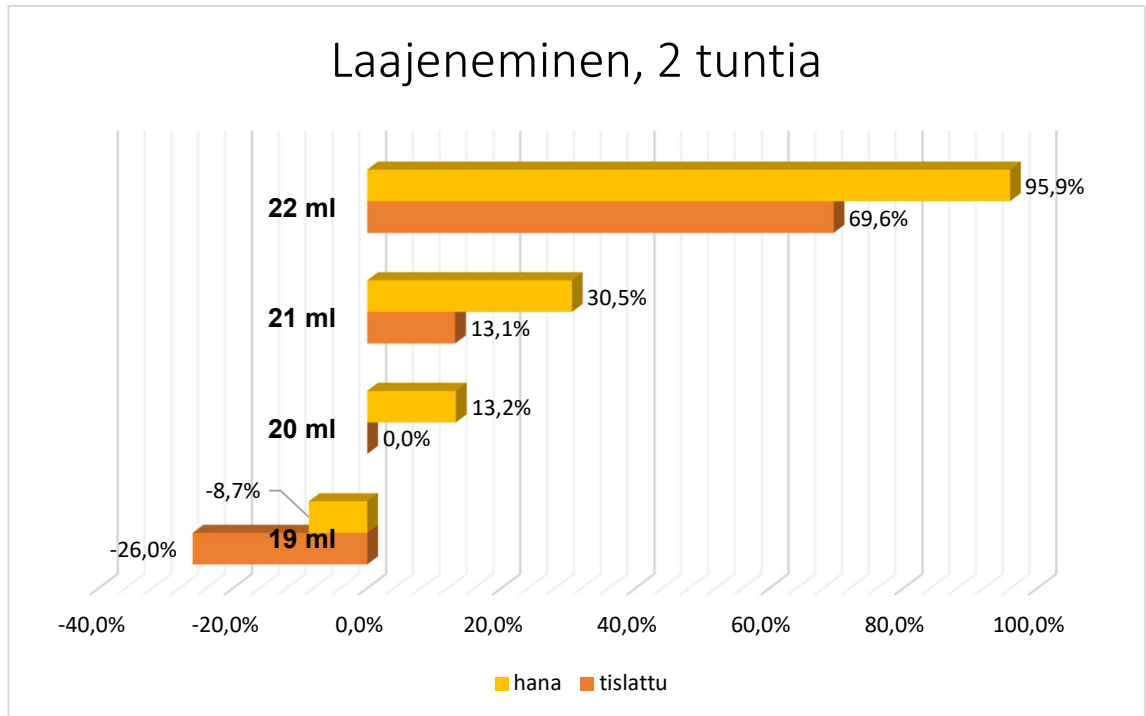
Kuvio 5. Testikappaleiden keskimääräiset laajenemiset (käytettiin tislattua vettä).

Hanaveden laajenemistestien tuloksien mukaan (kuvio 6) tislattulla vedellä sekoitettujen näytteiden laajenemisten keskiarvot kipsivalamisen jälkeen 2 tunnin kuluttua olivat 0,05%, 0,07%, 0,08% ja 0,11%. Kipsinäytteiden keskimääräiset laajenemisarvot 24 tunnin kuluttua olivat 0,14%, 0,19%, 0,21% ja 0,23%.



Kuvio 6. Testikappaleiden keskimääräiset laajenemiset (käytettiin hanavettä).

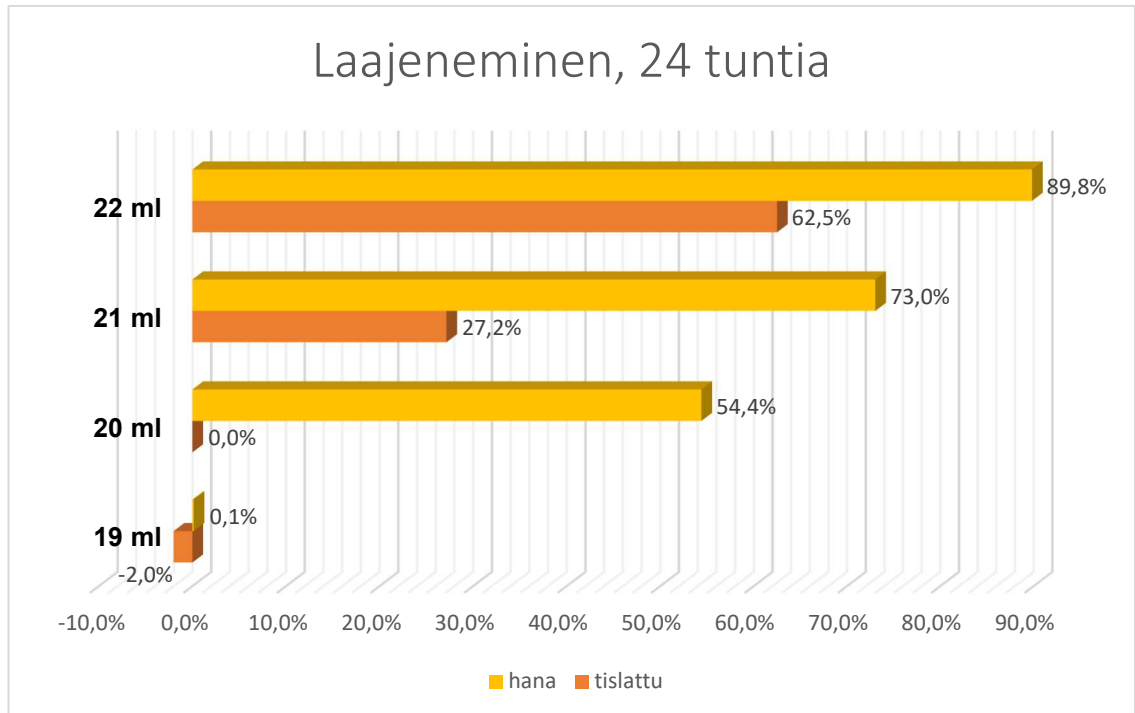
Visuaalista esitystä varten kuviossa 7 esitetään tiedot laajenemisen keskiarvoista, jotka saatiin 2 tunnin valamisen jälkeen. Testinäytteitä, jotka saatiin sekoittamalla 20 ml tislattua vettä ja 100 g erikoiskovakipsiä, pidettiin kontrolliryhmänä. Tämän ryhmän laajenemisen keskiarvoksi otettiin "0", jotta jäljellä olevien ryhmien keskimääräisiä laajenemisarvoja voitaisiin verrata kontrolliryhmään.



Kuvio 7. Laajenemisten erot kontrolliryhmään verrattuna (2 tuntia).

Kuviosta 7 selkeästi näkyy, että kipsin laajenemisen keskiarvot 2 tunnin kuluttua kaikissa ryhmissä (sekä hana- että tislattu vesi) olivat suuremmat kuin kontrolliryhmässä. Ainoana poikkeuksena olivat kahden ryhmän näytteet, jotka saatiin käyttämällä 19 ml hanavettä ja 19 ml tislattua vettä. Tässä tapauksessa keskimääräinen laajeneminen oli 8,7% ja 26% vastaavasti pienempi kuin kontrolliryhmässä.

Kuvio 8 esittää 24 tunnin valamisen jälkeen saadut tiedot. Testinäytteitä, jotka saatiin sekoittamalla 20 ml tislattua vettä ja 100 g erikoiskovakipsiä, käytettiin kontrolliryhmänä. Tämän ryhmän laajenemisen keskiarvoksi otettiin "0", jotta jäljellä olevien ryhmien keskimääräisen laajenemisen arvoja voitaisiin verrata kontrolliryhmään.



Kuvio 8. Laajenemisten erot kontrolliryhmään verrattuna (24 tuntia).

Kuvio 8 osoittaa, että kipsin laajenemisen keskiarvot 24 tunnin kuluttua kaikissa ryhmissä (sekä hana- että tislattu vesi) olivat korkeammat kuin kontrolliryhmässä. Ainoa poikkeus oli ryhmän näytteet, jotka saatiin käyttämällä 19 ml tislattua vettä. Tässä tapauksessa keskimääräinen laajeneminen oli 2% pienempi kuin kontrolliryhmässä. 19 ml hanavettä ryhmän näytteiden laajenemisen keskiarvot olivat melkein samanlaisia kuin kontrolliryhmän.

## 6 POHDINTA

### 6.1 Vakuumisekoituksen ja painekattilakovetuksen vaikutus kipsin puristuslujuuteen

Testituloksien mukaan (kuvio 4) vakuumisekoitus selkeästi parantaa puristuslujuutta verrattuna käsisekoitukseen kummallakin vesilaadulla (tislattun ja hanaveden puristuslujuus kasvoi keskimäärin 7,2%). Tämä tulos on hyvin samansuuntainen kuin Azerin tutkimuksen tulos (Azer et al. 2008, 740). Azerin tutkimuksessa saatiin seuraavat puristuslujuuden arvot: käytettäessä käsisekoitusta erikoiskovakipsin puristuslujuus oli 31,8 +/- 6,5 MPa (Snap-Stone erikoiskovakipsi) ja 31,0 +/- 4,0 MPa (Silky-Rock erikoiskovakipsi); vakuumisekoituslaitetta - 32,2 +/- 3,4 MPa (Snap-Stone erikoiskovakipsi) ja 34,4 +/- 2,1 MPa (Silky-Rock erikoiskovakipsi). Vakuumisekoitusta käytettäessä puristuslujuus kasvoi 1,3-11,0%.

Paineen ja vakuumin yhteisvaikutuksella ei ollut positiivista vaikutusta puristuslujuuden kasvuun verrattuna pelkästään vakuumin käyttöön (kuvio 4). Paineessa kovettettujen testikappaleiden puristuslujuus oli matalin muiden sekoitustekniikkaan verrattuna (kuvio 4). Oli mahdotonta verrata näitä tuloksia muiden tekemiin tutkimuksiin, koska ei mitään painekattilassa kovetuksesta kertovia lähteitä löytynyt.

### 6.2 Käytetyn nesteen vaikutus kipsin puristuslujuuteen ja laajenemiseen

Suoritettujen puristuslujuustutkimusten perusteella ei ollut havaittu puristuslujuuteen merkittävää vesityypin vaikutusta (kuvio 3). Nämä tulokset ovat Jayaprakashin (Jayaprakash et al. 2014) ja Proençan (Proença et al. 2015) kanssa ristiriidassa.

Jayaprakashin tutkimuksessa esitettiin että vesityyppi vaikuttaa erikoiskovakipsin puristuslujuuteen. Puristuslujuus hanavettä käytettäessä oli 48,32 +/- 1,056 MPa ja 46,4 +/- 0,477 MPa, tislattua vettä käytäessä vastaavasti 64,14 +/- 0,618 MPa ja 61,47 +/- 0,434 MPa. Proençan tutkimuksessa saatiin seuraavat tulokset: hanavettä käytettäessä erikoiskovakipsin puristuslujuus oli 990,28 kgf/cm<sup>2</sup> (97,1 MPa) ja tislattua vettä - 1135,18 kgf/cm<sup>2</sup> (111,3 MPa). Tislattua vettä käytettäessä puristuslujuus kasvoi vastaavasti 24,5-32,7% Jayaprakashin sekä 14,6% Proençan tutkimuksessa.

Tislattua vettä käytettäessä sekoitetuilla näytteillä oli kuitenkin suurempi puristuslujuuden keskihajonta (kuvio 3). Puristuslujuuteen tislattun veden vaikutuksen arvioimiseksi kannattaa tehdä lisätestaukset käyttämällä 15 - 20 näytettä kussakin ryhmässä.

Käytetty neste vaikutti kipsinäytteiden laajenemiseen. Tislattua vettä käytettäessä kaikkien näytteiden laajeneminen oli pienempää kuin hanaveteen sekoitettujen näytteiden laajenemisen (kuvio 5 ja kuvio 6). Kontrolliryhmän laajenemisen testitulokset (kuvio 5) ovat hyvin samansuuntaiset kuin Heshmatin (Heshmati et al. 2002) tutkimuksessa. Heshmatin tutkimuksessa oli käytetty 20 ml tislattua vettä ja 100 g FujiRock-erikoiskovakipsiä ja saatiin seuraavat laajenemistestauksien tulokset: kahden tunnin kuluttua – 0,07% +/- 0,01%, 24 tunnin kuluttua – 0,15% +/- 0,01%.

Tislattun veden vaikutus laajenemiseen (kuvio 5) oli myös yhdenmukainen Uhanovin & Ryahovskyn (Uhanov & Ryahovsky 2009) tutkimuksen kanssa. Uhanovin & Ryahovskyn tutkimuksessa erikoiskipsinäytteiden laajeneminen käytettäessä tislattua vettä oli 12 ja 24 tunnin kuluttua vähäisempää, kuin hanavettä käytettäessä. Kipsin laajenemisen keskiarvot 12 tunnin kuluttua tislattun veden ryhmässä oli 0,14% ja hanaveden ryhmässä oli 0,16%; 24 tunnin kuluttua tislattun veden ryhmässä oli 0,18% ja hanaveden ryhmässä oli 0,20%.

Voidaan todeta, että laajenemistestaukset oli suoritettu hyvin laadukkaasti huolimatta siitä, että ISO 6873:2013 -standardin laajenemismittauksien vaatimukset eivät täysin täytyneet. Lisäksi tule huomioida, että tässä esitettyjen vesi laatuun liittyvien tutkimusten ero toisiinsa ja nyt tehtyyn tutkimukseen voi johtua hanavesien erilaisesta laadusta eri paikoissa.

### 6.3 Vesimäärän muutoksen vaikutus kipsin laajenemiseen

Sekoittamiseen käytetyn nestemäärän muutoksella oli merkittävä vaikutus kipsinäytteiden laajenemisen suuruuteen. Kipsin laajenemisen tutkimustulokset paljasivat sekä käytetyn nesteen määrän että tyypin vaikutuksen näytteiden laajenemiseen. Käytetyn nestemäärän lisääntyessä kipsin laajenemisarvot lisääntyivät. Hanavettä käytettäessä laajeneminen nousi huomattavasti enemmän kuin tislattua vettä käytettäessä (kuvio 5 ja kuvio 6).

Käytetyn nestemäärän vähentyessä (19 ml nestettä) kipsin laajenemisarvot alenivat. Tislattua vettä käytettäessä kipsin laajeneminen oli vähäisempää kuin kontrolliryhmässä



sekä 2 tunnin että 24 tunnin jälkeen. Hanavettä käytettäessä kipsin laajeneminen oli vähäisempää kuin kontrolliryhmässä 2 tunnin valamisen kuluttua, mutta 24 tunnin jälkeen oli sama kuin kontrolliryhmässä (kuvio 5 ja kuvio 6).

Laajenemistutkimusten tuloksien mukaan käytetyn nesteen määrän kasvaessa kipsinäytteiden laajenemisarvot kasvoivat. Tämä oli ristiriidassa Anusavicen tietojen kanssa (Anusavice et al. 2013), joiden mukaan korkeammalla V/J: lla kiteytymiskeskuksien määrä on tilavuusyksikköä kohti pienempi verrattuna alempaan V/J: hin. Tämä selitetään siten, että kun kiteiden välillä on suurempi tila, niiden vuorovaikutus vähenee ja vastaavasti kipsin laajeneminen alentuu. Tarkemmin nesteen määrän laajenemiseen vaikutuksen arviointi edellyttää lisätestauksia käyttämällä 5 - 10 näytettä kussakin ryhmässä.

## 7 EETTISYYS JA LUOTETTAVUUS

Kaikki nesteen ja kipsin punnitukset suoritettiin yhtä vaaka käyttäen (Zubler Vario Balance-vaaka). Kipsiä sekoittaessa vakuumisekoituslaitteessa käytettiin samaa ohjelmaa. Laitteena käytettiin Renfert Twister -vakuumisekoituslaitetta. Käsisekoitusmenetelmässä kipsiä sekoitettiin kumikulhossa yhden minuutin ajan. Kipsin V/S suhteita ja sekoitusmenetelmiä seurattiin huolellisesti käyttäen samoja laitteita.

Näytteiden testaaminen kipsistandardin vaatimukset huomioon ottaen osoittautui mahdolliseksi useista syistä. Puristuslujuuden testaamista varten oli tarpeen tuottaa kipsisylinterit, joiden halkaisija oli 20 mm ja pituus 40 mm. Tällaiset erikoiskovakipsinäytteet on puristettava yli 11 kN:n voimalla. Testikone puristi testikappaleen korkeintaan 10 kN:n voimalla. Oli tarpeen käyttää tehokkaampaa laitetta. Testikone, jolla on voimaa enemmän kuin 10 kN ei ollut saatavilla. Siksi päätettiin käyttää puoliiksi pienennettyjä näytteitä, joiden halkaisija oli 10 mm ja pituus 20 mm. Kontrolliryhmän puristuslujuus oli yhtenevä sekä ISO 6873:2013-standardin vaatimukseen, että valmistajan tietoihin perustuen. Tämä osoittaa tarkkaa näytteiden valmistusta.

Kipsinäytteiden laajenemisen mittaaminen kipsistandardin vaatimusten mukaisesti oli tehtävä erityisellä laitteella (kuva 1). Tämä laite ei ollut saatavilla. Siksi päätettiin mitata laajeneminen työntömitalla. Tässä tutkimuksessa käytetty mittausten menetelmä näytti kontrolliryhmän kipsilaajenemisen arvon, joka vastasi sekä kipsistandardin vaatimukseen että valmistajan tietoihin. Nämä tulokset todistivat, että näytteiden laajenemisten mittaukset olivat hyvin tarkkoja.

Testit suoritettiin testiryhmittäin peräkkäisinä sarjoina. Näin testiolosuhteet pysyivät vakiona, millä pyrittiin varmistamaan testien vertailukelpoisuutta. Opinnäytetyön tutkimuksessa käytetyt menetelmät tehtiin tieteellisen tutkimuksen käytännön mukaisesti. Tutkimuksessa käytettiin tarkkoja mittausten menetelmiä. Tietojen kerääminen oli objektiivista. Tutkimustulokset täydentävät olemassa olevaa tietoa uudella tiedolla. Lähdeviittaukset ovat asianmukaisia.

## 8 JOHTOPÄÄTÖKSET

Testattujen näytteiden laajenemista ja puristuslujuutta koskevien tutkimustulosten perusteella on mahdollista antaa erikoiskipsin sekoituksen suosituksia. Optimaalisin sekoitusmenetelmä oli vakuumisekoituslaitetta käyttäen sekoitustekniikka ilman painekoveutusta. On myös mahdollista suositella tislattun veden käyttöä valmistajan suosittelimina määrinä, koska siinä tapauksessa kipsin laajeneminen sujuu kipsistandardin vaatimusten mukaisesti. Pienennetyn nestemäärän (19 ml) käyttö johti kipsin paksuuntumiseen. Tällaista kipsiä on vaikea valaa silikonimuottiin edes vibraattorin suurta voimaa käyttäen, joten on mahdotonta suositella alle valmistajan suositusten mukaista V/J-suhteiden käyttöä työmallien valmistuksessa.

## LÄHTEET

Alander, P. 2018. Lehtori. Turun ammattikorkeakoulu. Keskustelut 2020-2021.

Anusavice K.J., Shen C., Rawls H.R. 2013. Phillips' science of dental materials, 12th edition. Elsevier Saunders 2013, 182-193.

Azer S.S., Kerby R.E., Knobloch L.A. 2008. Effect of mixing methods on the physical properties of dental stones. *Journal of dentistry* 36 (2008), 736–744.

Dentistry. Gypsum products. ISO 6873:2013 (vahvistettu 2013-06-17).

Fujirock EP leaflets. Julkaisu Europe GC Dentalin verkkosivuilta. Viitattu 27.04.2020. [https://europe.gc.dental/sites/europe.gc.dental/files/products/downloads/fujirock/leaflet/LFL\\_Fujirock\\_EP\\_en.pdf](https://europe.gc.dental/sites/europe.gc.dental/files/products/downloads/fujirock/leaflet/LFL_Fujirock_EP_en.pdf)

Heshmati R.H., Nagy W. W., Wirth C.G., Dhuru V.B. 2002. Delayed linear expansion of improved dental stone. *THE JOURNAL OF PROSTHETIC DENTISTRY*. Vol. 88, No 1, July 2002, 26-31.

Jayaprakash K., Upadhya P.N., Nandish B.T., Shetty A.N., Shetty K.H.K., Ginjupalli K., Voddy S.B., Prabhu S. 2014. Impact of Water Quality and Water Powder Ratio on the Properties of Type 4 - Die Stones (Gypsum Products) used in Dentistry. *International Journal of Health and Rehabilitation Sciences* Vol 3, No 2, June 2014, 75-81.

Kuva 1. Laajenemista mitattava laite ("extensometer"). Viitattu 25.4.2021. <https://dental-revue.ru/index.php?page=03&subPage=01&artId=47&artNum=2>

Kuva 4. GC FUJIROCK EP Classic Line - erikoiskovakipsi. Viitattu 30.4.2021. [https://www.gcamerica.com/lab/products/GC\\_FUJIROCK\\_EP/](https://www.gcamerica.com/lab/products/GC_FUJIROCK_EP/)

Proença J.dos S., Suzuki M.M., da Costa S.C., Hirata B.S., Lopes M.B., Contreras E.F.R. 2015. Influence of different water types on the physical and mechanical properties of gypsum. *Brazilian Journal of Oral Sciences*, Vol.14, No.3, July/September 2015, 199-203.

Uhanov M., Ryahovsky A. 2009. The study of water composition effect on the class IV plaster expansion. *Journal Panoramic view of orthopedic dentistry*. No 3, 2009, 3 -7.

Uhanov M., Ryahovsky A. 2010. The materials used for the production of sectional dental cast models (literature review). Viitattu 27.04.2021. [https://www.researchgate.net/publication/276020664\\_The\\_materials\\_used\\_for\\_the\\_production\\_of\\_sectional\\_dental\\_cast\\_models\\_literature\\_review\\_Article\\_in\\_Russian](https://www.researchgate.net/publication/276020664_The_materials_used_for_the_production_of_sectional_dental_cast_models_literature_review_Article_in_Russian)

Wang L., D'Alpino P.H.P., Lopes L.G., Pereira J.C. 2003. Mechanical properties of dental restorative materials: relative contribution of laboratory tests. *Journal of Applied Oral Science*, 11(3), 162-167.

## Puristuslujuustestin tulokset (MPa)

testaus	ryhmä 1 (hana+käsi)	ryhmä 2 (hana+vak)	ryhmä 3 (hana+vak+ paine)	ryhmä 4 (tisl+käsi)	ryhmä 5 (tisl+vak, kontrolli- ryhmä)	ryhmä 6 (tisl+vak+ paine)
№	Ryhmä 1	Ryhmä 2	Ryhmä 3	Ryhmä 4	Ryhmä 5	Ryhmä 6
1	61,7	45,8	33,5	39,1	-	46,4
2	53,3	46,2	44,8	61,5	35,8	56,2
3	53,1	53,1	38,8	41,6	70,1	43,8
4	50,8	62,7	61,9	57,0	37,4	57,6
5	49,9	57,9	62,5	53,1	59,5	60,2
6	50,1	69,7	39,3	38,5	62,3	48,5
<b>Keskiarvo</b>	<b>53,2</b>	<b>55,9</b>	<b>46,8</b>	<b>48,5</b>	<b>53,0</b>	<b>52,1</b>
<b>Keskiahajonta</b>	<b>4,4</b>	<b>9,4</b>	<b>12,4</b>	<b>10,0</b>	<b>15,5</b>	<b>6,7</b>

## Laajenemistestin tulokset (%) ryhmittäin

ryhmä 1 (19 ml tislattu vettä + 100 g kipsiä)						
aika (tunti)	mittaukset (mm)				keskiarvo (mm)	muutos (%)
	1	2	3	4		
<b>0</b>	100,29	100,34	99,95	100,02	<b>100,15</b>	<b>0,00</b>
<b>2</b>	100,36	100,39	99,98	100,04	<b>100,19</b>	<b>0,042</b>
<b>10</b>	100,38	100,42	100,04	100,09	<b>100,23</b>	<b>0,082</b>
<b>24</b>	100,42	100,45	100,09	100,11	<b>100,27</b>	<b>0,117</b>

ryhmä 2 (19 ml hanavettä + 100 g kipsiä)						
aika (tunti)	mittaukset (mm)				keskiarvo (mm)	muutos (%)
	1	2	3	4		
<b>0</b>	100,36	100,35	100,1	100,16	<b>100,24</b>	<b>0,00</b>
<b>2</b>	100,43	100,41	100,14	100,20	<b>100,30</b>	<b>0,052</b>
<b>10</b>	100,45	100,44	100,16	100,24	<b>100,32</b>	<b>0,080</b>
<b>24</b>	100,52	100,47	100,2	100,31	<b>100,38</b>	<b>0,132</b>

ryhmä 3 (20 ml tislattu vettä + 100 g kipsiä)						
aika (tunti)	mittaukset (mm)				keskiarvo (mm)	muutos (%)
	1	2	3	4		
<b>0</b>	100,23	100,25	100,26	100,19	<b>100,23</b>	<b>0,00</b>
<b>2</b>	100,28	100,32	100,33	100,23	<b>100,29</b>	<b>0,057</b>
<b>10</b>	100,32	100,35	100,38	100,24	<b>100,32</b>	<b>0,090</b>
<b>24</b>	100,35	100,37	100,42	100,27	<b>100,35</b>	<b>0,120</b>

ryhmä 4 (20 ml hanavettä + 100 g kipsiä)						
aika (tunti)	mittaukset (mm)				keskiarvo (mm)	muutos (%)
	1	2	3	4		
<b>0</b>	100,09	100,2	99,99	100,03	<b>100,08</b>	<b>0,00</b>
<b>2</b>	100,13	100,28	100,07	100,09	<b>100,14</b>	<b>0,065</b>
<b>10</b>	100,22	100,32	100,1	100,17	<b>100,20</b>	<b>0,125</b>
<b>24</b>	100,32	100,38	100,16	100,19	<b>100,26</b>	<b>0,185</b>

ryhmä 5 (21 ml tislattu vettä + 100 g kipsiä)						
aika (tunti)	mittaukset (mm)				keskiarvo (mm)	muutos (%)
	1	2	3	4		
<b>0</b>	100,09	100,13	100,23	100,26	<b>100,18</b>	<b>0,00</b>
<b>2</b>	100,13	100,21	100,28	100,35	<b>100,24</b>	<b>0,065</b>
<b>10</b>	100,2	100,23	100,31	100,39	<b>100,28</b>	<b>0,105</b>
<b>24</b>	100,22	100,28	100,37	100,45	<b>100,33</b>	<b>0,152</b>

ryhmä 6 (21 ml hanavettä + 100 g kipsiä)						
aika (tunti)	mittaukset (mm)				keskiarvo (mm)	muutos (%)
	1	2	3	4		
<b>0</b>	100,23	100,22	100,17	100,03	<b>100,16</b>	<b>0,00</b>
<b>2</b>	100,31	100,34	100,23	100,07	<b>100,24</b>	<b>0,075</b>
<b>10</b>	100,36	100,38	100,32	100,13	<b>100,30</b>	<b>0,135</b>
<b>24</b>	100,43	100,42	100,37	100,26	<b>100,37</b>	<b>0,207</b>

<b>ryhmä 7 (22 ml tislattu vettä + 100 g kipsiä)</b>						
<b>aika (tunti)</b>	<b>mittaukset (mm)</b>				<b>keskiarvo (mm)</b>	<b>muutos (%)</b>
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>		
<b>0</b>	100,25	100,23	100,29	100,17	<b>100,24</b>	<b>0,00</b>
<b>2</b>	100,4	100,31	100,39	100,23	<b>100,33</b>	<b>0,097</b>
<b>10</b>	100,44	100,35	100,45	100,28	<b>100,38</b>	<b>0,145</b>
<b>24</b>	100,48	100,42	100,48	100,34	<b>100,43</b>	<b>0,195</b>

<b>ryhmä 8 (22 ml hanavettä + 100 g kipsiä)</b>						
<b>aika (tunti)</b>	<b>mittaukset (mm)</b>				<b>keskiarvo (mm)</b>	<b>muutos (%)</b>
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>		
<b>0</b>	100,32	100,29	99,86	99,94	<b>100,10</b>	<b>0,00</b>
<b>2</b>	100,43	100,43	99,94	100,06	<b>100,22</b>	<b>0,112</b>
<b>10</b>	100,49	100,46	100,01	100,13	<b>100,27</b>	<b>0,170</b>
<b>24</b>	100,54	100,56	100,05	100,17	<b>100,33</b>	<b>0,227</b>