Kiinalainen Chun ja häränverilasite
Chun and Sang de boeuf Glazes

Taideteollinen korkeakoulu
Materiaalitutkimus
Airi Hortling

Kaasu-uunissa poltettu dreijattu kulho. Kuvion yli on maalattu kuparioksidilla värjätyllä lasitteella. Hortling 2008

Sisältö

Chun ja häränverilasitteet

Chun lasitteiden raaka-aineet (1991-96)

CAH1-7 Chun lasitteet ja poltetut näytteet

CAH 8-13 Chun lasitteet ja poltetut näytteet

CAH14-19, Häränveri lasitteet, Sang de boeuf, ja poltetut näytteet

CAH20-24 Häränveri lasitteet, Sang de boeuf ja poltetut näytteet

CAH25-29, Chun lasitteet ja poltetut näytteet

CAH30-31, Chun lasitteet ja poltetut näytteet

Chun ja häränverilasitteet

Vaalean vihreästä, rautaoksidin pelkistyslasitteesta, Celadon lasitteesta, joita kutsutaan Song dynastian kaudella Lung-chyan yao, kehittyy aikaa myöten eri puolilla Kiinaa siniharmaasävyisiä lasitteita, niitä kutsun chun lasitteiksi. Lasitteiden raaka-aineena on käytetty puu- tai kasvituhkaa sulattajana, ja se muuttaa paksun lasitekerroksen maitomaiseksi (opaaliksi), erilaisiksi vaalean sinertävän sävyiksi. Lasitteiden pinnassa syntyy lasin sulamisen aikana liikettä ja valumajälkiä, jotka kuvioituvat tuhkan sisältämän rautaoksidin ja fosfaatin yhteisvaikutuksesta sinivioletiksi. Lasitteita on värjätty kuparia sisältävillä mineraaleilla sinipunertaviksi ja punaisiksi. Pelkistyksellä aikaansaadaan sinertävästä sävystä punaista ja violettia lasitetta, jota kutsutaan Kiinassa lang yao. Euroopassa pelkistyksessä värinsä saaneita kuparioksidilla värjättyjä lasitteita kutsutaan sang de boeuf nimellä Ranskassa, missä lasitteiden värien polttosalaisuudet selvitti Ernest Chaplet 1800-luvun alussa. Poltossa valumalla kuvioituvia pelkistyneitä punaisia lasitteita kutsutaan Suomessa häränverilasitteiksi, joita Song kauden innoittamana käytettiin keramiikkataiteen ilmaisussa Arabian tehtaan taiteilija-ateljeissa. Ateneum-rakennuksessa keramiikkataiteen opetuksessa ylläpidettiin jatkuvaa häränverilasitteiden värien tutkimusta sukupolvesta toiseen. Edelleen kahden tai useamman keramiikan tekijän kohdatessa keramiikkauunin ja puupolttotapahtuman vetovoimasta eri puolilla maapalloa, synnyttävät häränverilasitteet esteettisiä elämyksiä, jotka kehittyvät yhteisöllisinä kokemuksina myyttisiksi ilmiöiksi.

Häränverilasitteen tutkimusnäytteitä ja puu-uunissa poltettu, dreijattu vati, johon kuvio on maalattu sinivihreän chun lasitteen alle. Hortling 1997. Kuva R. Träskelin

CAH 1-7 Chun lasitteet ja poltetut näytteet

Tutkimuksen tavoitteena on selvittää chun lasiteväriin, sinertävästä punaiseen, vaikuttavia tekijöitä. Tutkitaan empiirisesti tuhkan vaikutusta väreihin ja lasitteen sulattajana. Lasitteissa käytetään kvartsia ja maasälpää. Männyn tuhkan lisäksi sovelletaan eri raaka-aineita, joissa on alkaleja. Eri uuneissa ja lämpötiloissa poltetuilla näytteillä selvitetään lasitteen värin muutoksia pelkistyksessä. Lasitteissa ei ole savea, punasavea tai kaoliinia, jotta alumiinioksidin määrä pysyy alhaisena. Kuparioksidin viirun avulla tarkastellaan värin muutoksia näytteissä, kun sulattava raaka-aine vaihtuu. Lasitteista esitetään empiiriset kaavat sekä poltetut näytteet ja lisäksi joitakin suurennoksia, mikroskooppikuvia.

Raaka-aineet (1991- 96)

Maasälpä FFF
Lasitenäytteitä valmistettaessa on raaka-aineena käytetty suomalaista pegmatiitista vaahdottamalla erotettua maasälpää FFF (Finnish Flotation Feldspar), joka sisältää natriumoksidia kaliumoksidin lisäksi.

Maasälpä FFF, Kemiö, ja teoreettinen kalimaasälpä analyysit

Oksidi	Maasälpä FFF	$K_2O\ Al_2O_3\ 6SiO_2$ kalimaasälpä
SiO_2	68,4 %	64,75 %
Al_2O_3	18,2 %	18,30 %
Fe_2O_3	0,2 %	-
CaO	0,7 %	-
K_2O	7,8 %	16,90 %
Na_2O	4,7 %	-

Suomalaisessa maasälvässä FFF on teoreettiseen kaavaan ($K_2O\ Al_2O_3\ 6SiO_2$) verrattuna natriumoksidin osuus melkein yhtä suuri kuin kaliumoksidin, mikä madaltaa maasälvän pehmenemis- ja sulamislämpötilaa. Maasälpä FFF:n koostumuksella on hyvä eutektinen sulaminen.

Maasälpä, FFF, empiirinen kaava
0,48 K_2O
0,46 Na_2O 0,99 Al_2O_3 6,4 SiO_2
0,07 CaO

Teoreettinen kalimaasälvän kaava
$K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$

Wollastoniitti, $CaSiO_3$
Wollastoniitti on kalsiumsilikaattimineraali ja yleinen, mutta suurina löydöksinä melko harvinainen. Suomesta löytyvä wollastoniitti on kalkkipitoinen ja sen rautapitoisuus on alhainen ja sulamislämpötila on 1390-1410°C.

Wollastoniitti, Lappeeranta, kemiallinen analyysi (1991)

SiO_2	52,00
CaO	43,20
Al_2O_3	1,00
MgO	1,00
Na_2O	max. 0,20
K_2O	max. 0,20
Fe_2O_3	max. 0,25
S	0,02
P	0,02
Polttohäviö	max. 1,20

Nefeliinisyeniitti
Norjassa on suuri esiintymä.

Nefeliinisyeniitin analyysi 1991, Norja, Elkem Oy

Oksidi	Nefelinisyeniitti[1])
SiO_2	56
Al_2O_3	24,2
Fe_2O_3	0,12
CaO	1,2
MgO	-
Na_2O	7,8
K_2O	9,1
BaO	0,3
SrO	0,3
P_2O_3	0,1
Polttohäviö CO_2	0,9

Kvartsi, SiO_2
Suomalainen kvartsi on erittäin puhdasta. Kvartsia käytetään kotimaan teollisuudessa sekä keramiikan että lasin valmistuksessa.

Kvartsi FFQ, Kemiö, kemiallisen analyysin vaihtelun rajat

SiO_2	98,50	-	99,00
K_2O	0,15	-	0,25
Na_2O	0,12	-	0,20
Al_2O_3	0,50	-	0,80
Fe_2O_3		max.	0,035
CaO	0,02	-	0,04

Tuhka

Kiinalaisen Chun lasitteen raaka-aineena käytetään erilaisia kasvi- ja puutuhkia, jotka ovat arvokkaita sulattajia. Tuhkat sisältävät myös kalsiumia ja alkaleja sekä vähän rautaa, jonka määrä vaihtelee kasvin mukaan, mikä on merkityksellistä poltetun lasitteen värisävyn kehitykselle. Mitä korkeampaan lämpötilaan (1280-1300°C) lasite poltetaan, sitä enemmän lasitteessa syntyy sulaa lasiainetta, jossa alumiinioksidin ja piidioksidin suhteella (Al_2O_3:SiO_2) on vaikutusta väreihin. Jos uuni jäähdytetään nopeasti värit säilyvät heleinä ja kirkkaina. Tuhkan sisältämä alkali- ja kalsiumoksidit yhdessä rautaoksidin kanssa muuntavat lasitteen värisävyä vaalean sinertävästä siniviolettiin ja kuparioksidin lisäyksestä punaiseksi.

Tuhkat jaetaan koviin ja pehmeisiin tuhkiin. Kovat tuhkat sisältävät piidioksidia (SiO_2) enemmän kuin pehmeät tuhkat, jotka sisältävät kalsiumoksidia (CaO) enemmän. Heinien ja olkien tuhkat kuuluvat koviin tuhkiin (vaatii korkeamman polttolämpötilan kuin pehmeät). Kiinassa on kuivien kasvien kanssa poltettu murskattua kalkkikiveä, jota on valmistettu raaka-aineeksi. Hedelmiä tuottavien puiden ja pensaiden tuhkat kuuluvat pehmeisiin. Jos verrataan omenapuun ja mäntypuutuhkan analyysejä keskenään havaitaan että omenapuutuhka on hyvin kalsiumoksidipitoinen. Puun rungon, oksien ja lehtien tuhkat eroavat toisistaan. Saman puulajin tai kasvin osan tuhkan koostumus muuttuu sen kasvupaikan mineraalien ja rapautumisen sekä maantieteellisen paikan mukaan. Esimerkiksi suomalaisen ja australialaisen koivun tuhkassa voi olla vähän eroja. Näytteissä käytetään mäntypuun tuhkaa, jota saadaan keramiikan polttouunista.

Eri tuhkien analyysit

Oksidi %	Omenapuu*	Riisiolki	Mänty**	Koivu**	Japanil. puu
SiO_2	2.65	71.96	8.4	2.0	34
Al_2O_3	1.98	0.63	-	-	4.38
P_2O_5	1.59	0.42	2.8	14.7	3.93
Fe_2O_3	0.70	0.28	4.8	0.9	0.49
CaO	54.20	15.95	46.1	29.0	47.71
K_2O	0.89	0.84	10.1	23.6	2.51
Na_2O	-	8.29	10.6	2.3	0.06
MgO	3.25	1.57	13.5	16.5	5.99
MnO	-	-	-	8.7	0.33
C	34.69	-	34.69	-	-

*Leach **Tichane

Tuhkan pesu

Joissakin tapauksissa on tarpeellista pestä tuhkaa.Tuhka on alkalista ja siinä olevia veteen liukenevia aineita vähennetään pesemällä. Japanilainen kirjallisuus puhuu ”tuhkan pesijän ammattikunnasta”. He keräsivät tuhkaa tynnyreihin ja liottivat tuhkaa vedessä, ja sitten heittivät veden pois. Veden vaihtoa voi tapahtua useita kertoja. Tuhkaa pestiin yksi kerta, tai kaksi kertaa jne. Tuhkan pesijä seuloi tuhkan karkealla seulalla, suurimmat kekäleet pois, pienemmät saivat jäädä ja sen jälkeen tuhka kuivattiin auringossa ja oli valmis käyttöön lasitteen raaka-aineena. Sen mukaan miten monta kertaa tuhkaa liotettiin (pestiin), muuttui tuhkan alkalisuus, joka vähensi vaikutusta sulattajana. Jos tuhka pestiin useita kertoja, se soveltui raaka-aineeksi korkeisiin polttolämpötiloihin.

Kokemukseni mukaan suomalaista mäntypuutuhkaa, samoin pihlajan, koivun ja omenapuun tuhkaa, ei tarvitse pestä, jos tuhkaa käytetään lasitteissa, joita poltetaan 1200-1250°C. Tuhkaa voi käyttää sellaisenaan sulattajana myös tuhkalasitteissa, joissa tuhkan määrä voi olla huomattavasti enemmän kuin chun lasitteissa. Tuhka aiheuttaa nopeita sulamisreaktioita, joita on vaikea hallita, siitä syystä tuhkaa ei suosita sarjatuotannossa. Jos tuhkalasitteita poltetaan 1300-1380°C, tuhka kannattaa pestä vähintään yksi kerta.

Sulatevalmisteet
Litiumsulate sisältää litium(Li_2O)- ja bariumoksidia(BaO), hankinta Varnia OY Low Expansion frit Potterycrafts, sisältää litiumoksidia, koostumus ei ole julkinen, hankinta, Kerapro

Booraksisulatteen P2953 empiirinen kaava (vanha) (Potterycrafts 1990-2009 tuote) (**Tuotteen koostumus on muutettu alkaen 2009**.

0,369 Na_2O		
0,074 K_2O	0,506 Al_2O_3	1,955 SiO_2
0,556 CaO		0,848 B_2O_3

Sulatteen pehmenemis- ja sulamisalue on maahantuojan ohjeen mukaan lämpötila-alueelle 900-1000°C. Sulate P2953, on selvästi hitaampi reagoimaan kuin F37025.

Litium-mineraalit
Spodume ja petaliitti ovat litiumoksidia (Li_2O) sisältäviä mineraaleja

Näytteiden valmistus
Lasitteet kastetaan lasitteeseen kaksi kertaa. Ensin lasitetaan koko levy kerran ja sen jälkeen toinen kerros päälle. Kuparioksidiviiru vedetään lasitteen päälle, oikealle puolelle. Testipaloissa kuparioksidi viiru leviää kaasuna värjäten aluetta noin kolminkertaisesti. Lasitenäytteet poltettiin massan 3b:n päällä, joka on valkoinen kivitavaramassa ja sintraantuu polttolämpötilassa 1280°C. Näytteet poltettiin kaasu-uunissa pelkistävässä polttoatmosfäärissä. Näytteitä esitetään useita, koska lasite muuntuu herkästi ladontapaikan lämpötilan ja pelkistyksen mukaan. Väriin vaikuttaa myös jäähtymisvaiheessa uunin lämpötilan nopea tai hidas laskeminen. Poltettuja näytteitä tarkasteltaessa voi havaita alhaisen ja korkean polttolämpötilan vaikutuksen eron.

CAH1-7 chun lasitteet ja poltetut näytteet

Kaikissa lasitteissa CAH1-7 toistuu sama pohja, neljä samaa raaka-ainetta, maasälpä FFF, kvartsi FFQ ja puutuhka. Näytteissä testataan, miten eri alkaliset raaka-aineet vaikuttavat sulattavasti ja muuttavat väriä pelkistyspoltossa saman raaka-ainekoostumuksen kanssa. Muutosta testataan kuparioksidiviirujen värien muutoksina.

Taulukko 1: CAH1-7 lasitteiden raaka-aineet

Raaka-aine CAH	1	2	3	4	5	6	7
Maasälpä FFF Feldspar FFF	58	58	58	58	58	58	58
Kvartsi FFQ Quartz FFQ	14	14	14	14	14	14	14
Mäntytuhka, Pine ash	14	14	14	14	14	14	14
Booraksisulate Borax frit P2953	14	-	-	-	-	-	-
Nefeliinisyeniitti	-	14	-	-	-	-	-
Low Expansion frit	-	-	14		-	-	-
Spodumene Spodumen	-	-		14	-	-	-
Petaliitti Petalite	-	-	-	-	14	-	-
Litiumsulate Lithium frit	-	-	-	-	-	14	-
Wollastoniitti Wollastonite	-	-	-	-	-	-	14

Taulukko 2: Lasitteiden CAH1-7 empiiriset kaavat

CAH	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	Li_2O	P_2O_5	Fe_2O_3	B_2O_3	Al_2O_3	SiO_2
1	0,426	0,133	0,180	0,240	-	0,008	0,013	0,136	0,353	2,733
2	0,395	0,123	0,201	0,262	-	0,007	0,012	0,126	0,413	2,862
3	0,422	0,132	0,179	0,238	0,010	0,007	0,013	0,135	0,383	2,766
4	0,391	0,123	0,168	0,222	0,077	0,007	0,013	0,125	0,417	2,856
5	0,402	0,125	0,170	0,226	0,057	0,007	0,012	0,129	0,390	3,034
6*	-	-	-	-		-	-	-	-	-
7	0,566	0115	0,145	0,156	-	0,006	0,011	-	0,234	2,364

*CAH6 lasitteesta ei ole laskettu empiiristä kaavaa, ei tiedossa sulatteen koostumus.

Koska värin muodostukseen vaikuttaa alumiinioksidin ja piidioksidin suhde, on se esitetty lasitteista CAH1-7 (Taulukko 3)

Taulukko 3: CAH1-7 lasitteiden alumiinioksidin ja piidioksidin (Al_2O_3:SiO_2) suhde

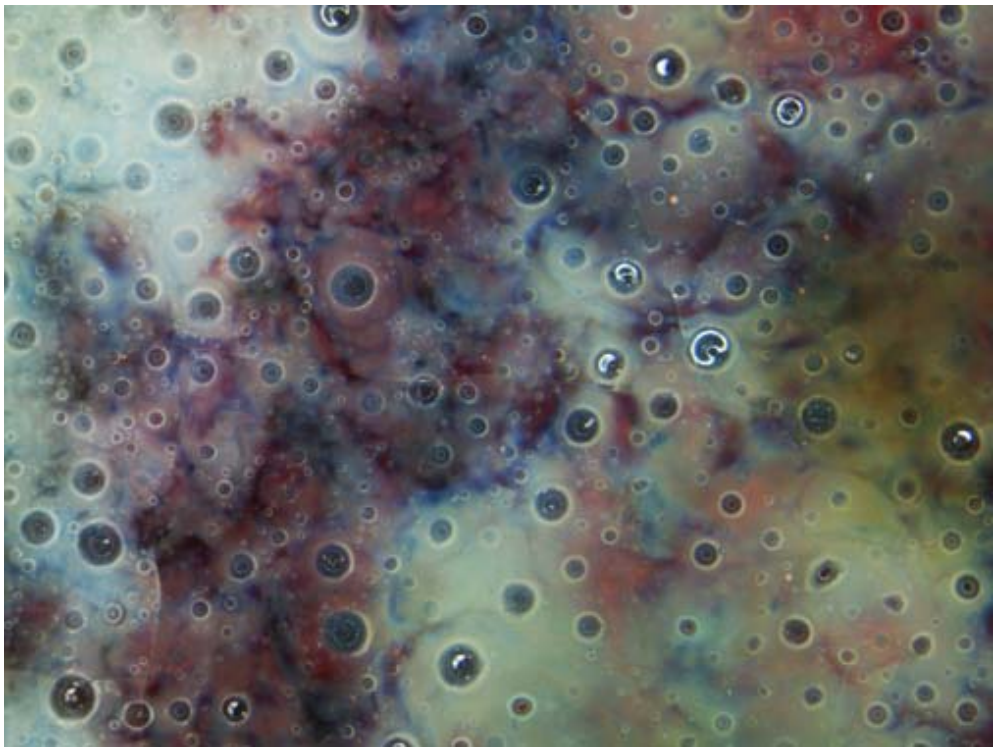
CAH	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**
Al:Si	7,75	6,93	7,22	6,85	7,78	-	10,08

Lasite CAH1

Lasite CAH1 on sulanut mutta jäänyt reikäiseksi. ja savuiseksi. Kuparioksidiviiru värjäytyy sinivioletiksi tuhkan vaikutuksesta. Mikroskoopilla otetussa kuvassa näkyy lasitteen sulamisessa tapahtuva liikehdintä kupariviirun kohdalla.

Lasite CAH1

Raaka-aine CAH	**1**
Maasälpä FFF, Feldspar FFF	58
Kvartsi FFQ, Quartz FFQ	14
Mäntypuutuhka, Pine wood ash	14
Booraksisulate, Borax Frit P2953	14

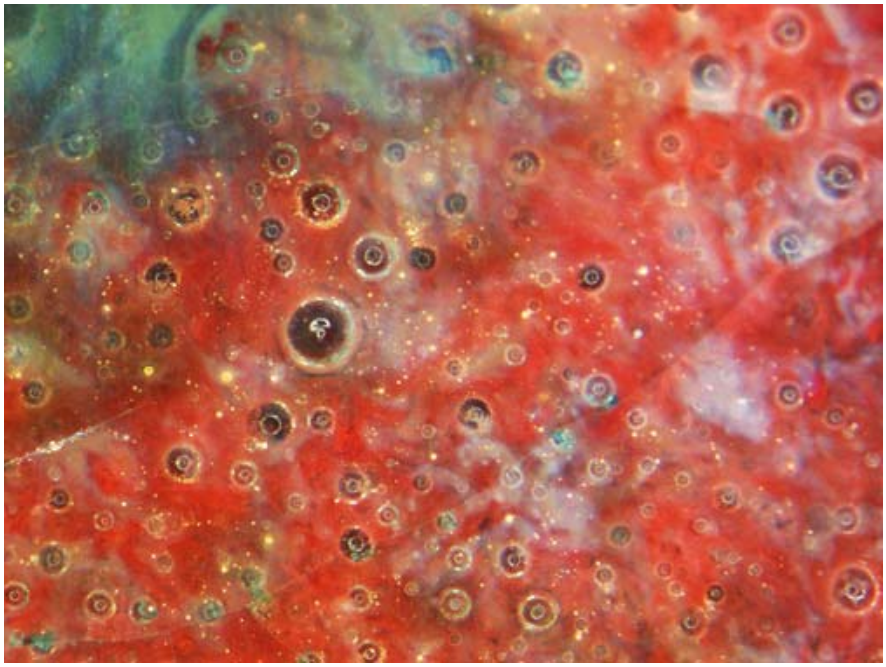


Lasite CAH1 kupariviirun reunasta suurennos 11.2 kertaa.

Lasite CAH2

Raaka-aine CAH	**2**
Maasälpä FFF Feldspar FFF	58
Kvartsi FFQ, Quartz FF	14
Mäntypuutuhka, Pine wood ash	14
Nefeliinisyeniitti, Nepheline syenite	14

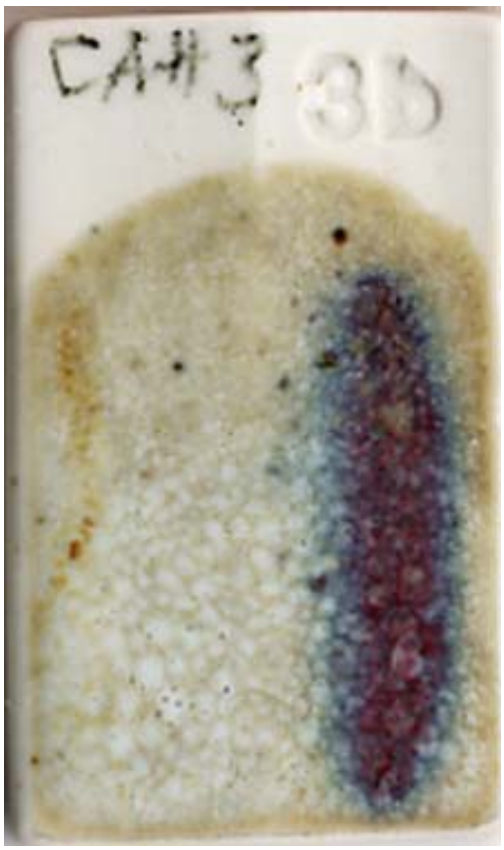
Lasite CAH2 on himmeä. Kuparioksidin viiru on kaasuuntunut leveälle alueelle. CAH2 lasitteessa kuparin väri on voimakkaampi kuin CAH1 lasitteessa.



Mikroskooppikuva lasite CAH2 kupariviirun reunasta suurennos 16 kertaa. Vihreän raja-alueella lasitteen suuret kuplat ilmaisevat että lasite sulaa enemmän kuin alueella jossa on pieniä kuplia. Stereomikroskoopilla näkyy massan ja lasitteen rajapinnassa (kostutusalue) pientä ja tiheää kuplaa. Tuhka aiheuttaa valkoista huntua pintaan. Empiirisessä kaavassa kalium- ja natriumoksidien määrä nousee suhteessa CaO:n määrään RO- ryhmässä. Piidioksidin ja alumiinioksidin määrät nousevat, mutta suhde pienenee verrattuna CAH1. Kupari voi liikkua kaasuna herkemmin ja muuttuu punaiseksi.

Lasite CAH3

Raaka-aine CAH	**3**
Maasälpä FFF, Felspar FFF	58
Kvartsi FFQ, Quartz FFQ	14
Mäntytuhka, Pine wood ash	14
Low Expansion frit	14



Lasite CAH3 on läikikäs, reikäinen ja savuinen. Litiumsulate muodostaa kaksi faasisen lasin lasitteen sisällä muiden alkalien ja piidioksidin kanssa. Sinipunainen kuparioksidiviiru on myös läikällinen. Sinipunaista, kiinalaista chun, lasitteen väriä kutsuvat taidehistorioitsijat aubergiinin violetiksi.

Lasite CAH4

Raaka-aine CAH	**4**
Maasälpä FFF, Feldspar FFF	58
Kvartsi FFQ, Quartz FFQ	14
Mäntypuutuhka, Pine wood ash	14
Spodumene	14

Lasite CAH4 on sulanut, tasoittuva ja himmeä. Kuparioksidin viiru alue leviää laajalle paksussa kaksikertaisessa lasitteessa. Se muodostaa sinipunaista ja punertavaa häränverilasitteen punaista väriä. CAH2 lasite on paremmin sulanut kuin CAH4 jos vertaa viirujen kaasujen liukumista.

CAH5 lasitteen empiirisessä kaavassa RO- ryhmässä on alkaleja enemmän lasitteessa CAH4 (0,467ekv) kuin CAH5:ssä (0.453ekv). Piidioksidia on enemmän suhteessa alumiinioksidiin CAH5:ssä mutta alkaleja (kalium-, natrium- ja litiumoksidit) yhteen laskettuna vähemmän.

Lasite CAH5

Raaka-aine CAH	**5**
Maasälpä FFF Feldspar FFF	58
Kvartsi FFQ, Quartz FFQ	14
Mäntytuhka, Pine ash	14
Petaliitti, Petalite	14

Lasite CAH5 muodostaa reikäisen pinnan ja huonosti tasoittuvan pinnan. Lasitenäyte jää myös savuiseksi ja likaisen ruskehtavaksi. Kuparioksidi pelkistyy sinertävän punaiseksi paksussa lasitekerroksessa.

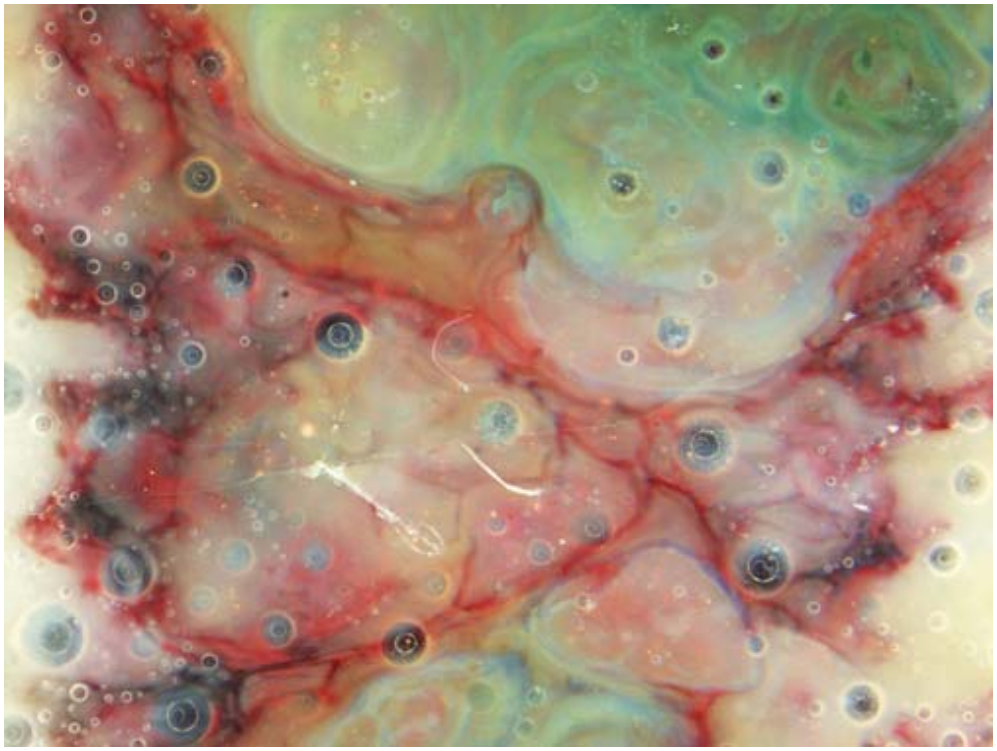
Empiirisen kaavan RO- ryhmässä on alkaleja enemmän lasitteessa CAH4 (0,467ekv) kuin CAH5:ssä (0.453ekv). Piidioksidia on enemmän suhteessa alumiinioksidiin CAH5:ssä mutta alkaleja (kalium-, natrium- ja litiumoksidit) yhteen laskettuna vähemmän.

Lasite CAH6

Litiumsulatetta on käytetty lasitteen CAH6 raaka-aineena. Lasite sulaa pinnalta laikukkaaksi kaksifaasiseksi (kaksi toisiinsa sekoittumatonta lasia) lasiksi samoin kuin lasite CAH3. Kuparioksidiviiru on myös laikullinen, vihreitä alueita punaisen kanssa sekaisin, mikä näkyy mikroskooppikuvassa selkeästi. Lasitteen pintarakenne on kokonaan neulanreikäinen.

CAH6*

Raaka-aine CAH	**6**
Maasälpä FFF, Feldspar FFF	58
Kvartsi FFQ, Quartz FFQ	14
Mäntytuhka, Pine wood ash	14
Litiumsulate, Lithium frit	14

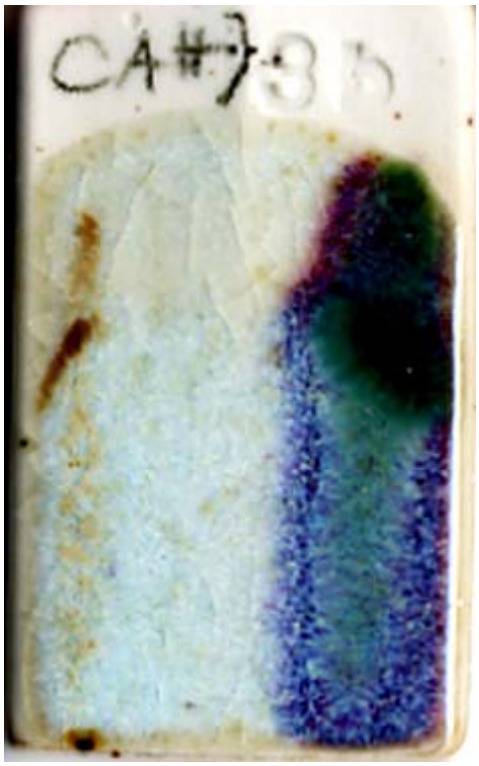


Lasite CAH6 kupariviirun reunasta suurennos 16 kertaa. Mikroskooppikuvassa lasitteessa CAH6 näkyy pienistä ja suurista kuplista muodostuvia alueita. Suurikuplaiset alueet ovat sulavampaa lasia. Punainen väri seuraa suuria kuplia. Litiumoksidi muodostaa alueita (lasia toisen lasiaineen sisään) joiden välissä kuparioksidi reagoi.

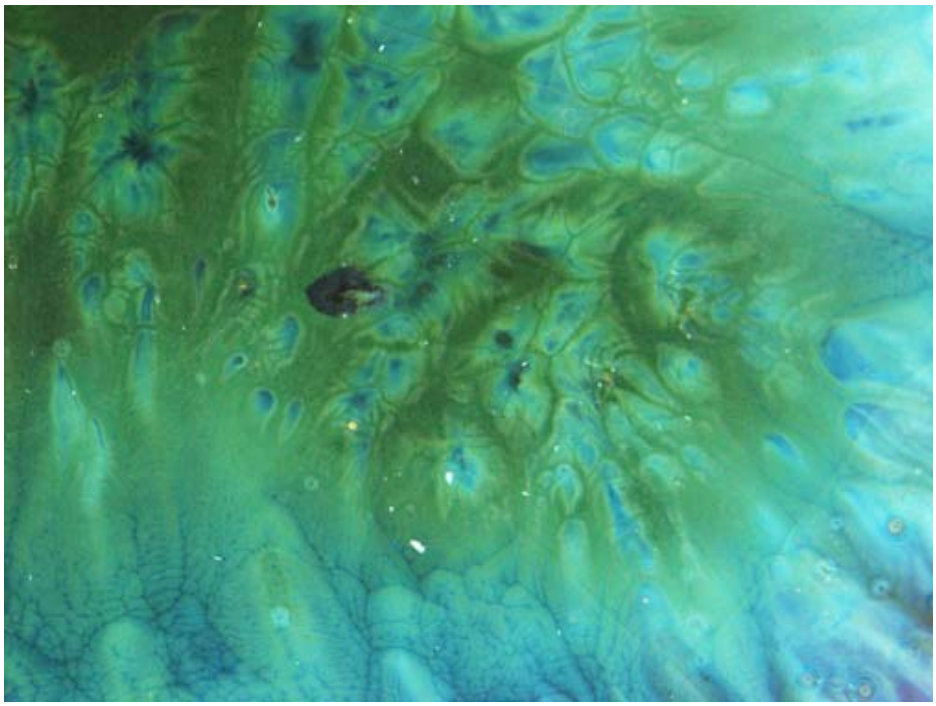
Lasite CAH7

Raaka-aine CAH	**7**
Maasälpä FFF, Feldspar FFF	58
Kvartsi FFQ, Quartz FFQ	14
Mäntytuhka, Pine wood ash	14
Wollastoniitti, Wollastonite	14

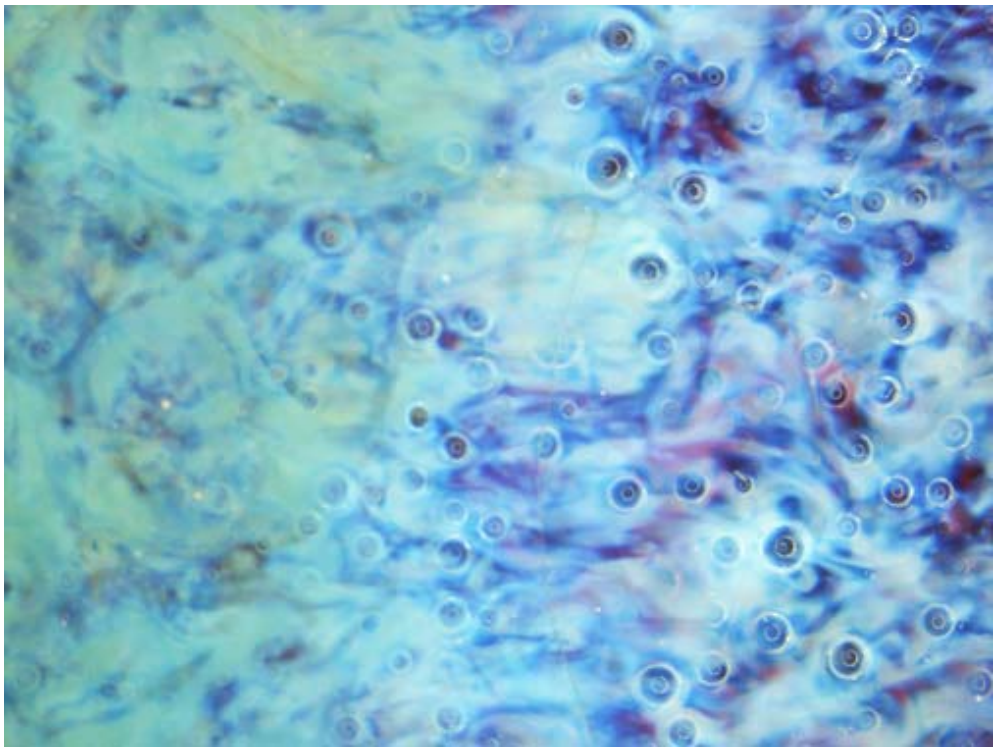
Wollastoniitti alkaa vaikuttaa sulattavasti vasta 1100°C korkeammissa polttolämpötiloissa. Wollastoniitin käyttö raaka-aineena lisää aina kalsiumoksidia ja piidioksidia. Kalsiumoksidia tulee myös tuhkasta. Wollastoniitti muodostaa kiteitä kun alhainen alumiinioksidin ja piidioksidin määrä mahdollistavat sen. Lasitteella CAH7 on kaikkein korkein Al:Si suhdeluku (10.10) verrattuna muihin CAH1-7 lasitteisiin.



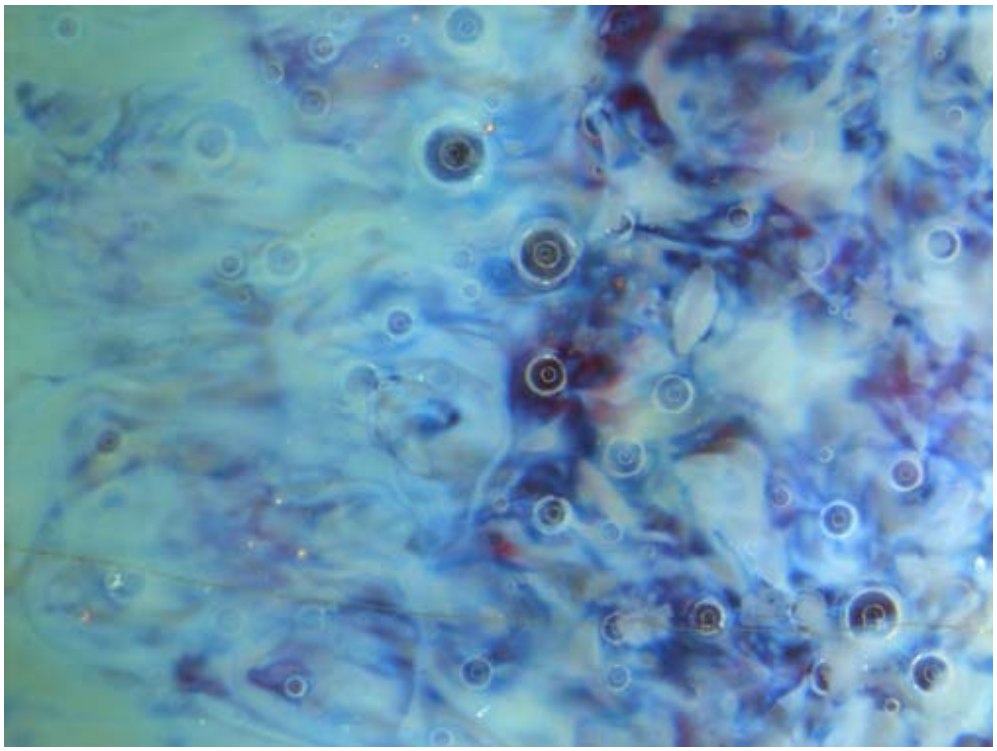
Lasitteessa CAH7 on suuri määrä kalsiumoksidia, yli puolet RO- ryhmän sulatteista. Kuparioksidiviirun sisällä on väri vihreä, mikroskooppikuva. Ohuessa lasitteessa väri muuttuu reunoilta punertavaksi. Paksummalla alueella viiru muuttuu sinipunaiseksi ja sinivioletti turkoosiksi, joka on tyypillistä sinertävässä chun lasitteessa.



Lasite CAH7 kupariviirun keskeltä suurennos 11.2 kertaa. Kuparioksidi höyrystyessään ja sulautuessaan lasiin muuttaa värisävyä.



Lasite CAH7 kupariviirun reuna-alueelta suurennos 11.2 kertaa. Sulassa lasimassassa tapahtuu voimakasta liikettä. Alemmassa kuvassa näkyy kuinka wollastoniitti muodostaa kiteitä kun alhainen alumiinioksidin ja piidioksidin määrä mahdollistavat sen.



Lasite CAH7 kupariviirun reunasta suurennos 11.2 kertaa. Pseudowollastoniittikiteitä, vaaleat täsmälliset valkoiset kiteet muodostuvat suurten kuplien vierellä. Punainen väri alkaa kehittyä.

CAH8-13 Chun lasitteet ja poltetut näytteet

Chun lasitteiden CAH8-13 suunnittelussa pidetään lähtökohtana käyttää luonnon mineraaleja, sellaisia raaka-aineita, joita on ollut mahdollista käyttää alkuperäisten kiinalaisten lasitteiden valmistuksessa. Lasitteet suunnitellaan kalsiumpitoisiksi ja natriumoksidia käytetään mahdollisimman helposti reagoivassa muodossa veteen liukenevana natriumkarbonaattina, jota ei yleensä käytetä keramiikan valmistuksessa. Tuhkaksi valitaan mäntypuutuhka, se on myös havupuuna sopivampi valinta kuin koivun tuhka.

Lasitteissa tulee olla vähän alumiinioksidia ja paljon piidioksidia. Tämä tarkistettiin empiiristen kaavojen avulla, jotka laskettiin Insight laskenta ohjelmalla. Mäntypuutuhkan analyysistä laskettu empiirinen kaava sijoitettiin laskentaohjelman raaka-aineeksi. Puilla poltettaessa lämpötila alue on noin 1250-1280°C. Raaka-aineiden lisäksi polttolämpötilan vaihteluilla on suuri vaikutus värisävyjen ja läpikuultavuuden muutoksiin lasitteissa.

Taulukko 4: CAH8-13 lasitteet, (1260-1280°C)

Raaka-aine CAH	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**
Maasälpä FFF, Feldspar FFF	56	53	64	64	55	54
Kvartsi FFQ, Quartz FFQ	12	14	10	10	14	17
Mäntytuhka Pine wood ash	12	10	5	14	-	-
Natriumkarbonaatti Soda ash	5	4	14	16	16	19
Nefeliinisyeniitti Nepheline syenite	-	15	-	-	-	-
Wollastoniitti Wollastonite	15	4	7	10	15	10

Taulukko 5: CAH8-13 lasitteiden empiiriset kaavat

CAH	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	Fe_2O_3	P_2O_5	Al_2O_3	SiO_2
8	0.521	0.094	0.130	0.241	0.009	0.005	0.216	2.144
9	0.361	0.102	0.199	0.321	0.010	0.006	0.375	2.936
10	0.292	0.047	0.155	0.498	0.006	0.003	0.298	2.532
11	0.379	0.089	0.122	0.396	0.009	0.005	0.201	1.775
12*								
13*								

* Näytteistä ei ole laskettu empiiristä kaavaa

Näytteiden valmistus

Punnittiin 100gr koelasitetta ja lisättiin lasitteeseen 0,5gr kuparioksidia ja 1,5 gr tinaoksidia. Kaikissa näytteissä on kaksi erilaista viirua. Viirun värin vaihtelut syntyvät hyvin vähäisestä lämmönvaihtelusta ja lasitteen vahvuudesta sekä oksidin

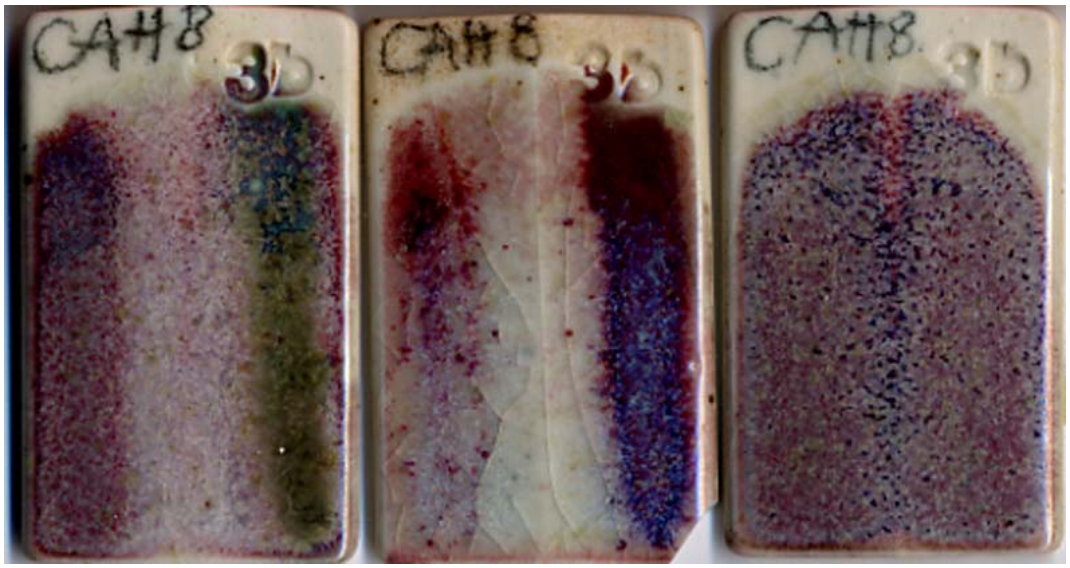
määrästä riippuvaisia. Vasemman puoleinen kuparioksidin viiru sisälsi tinaoksidia noin 1,5%. Selvästi tinaoksidi tasaannuttaa (stabiloi) reagoinnin herkkyyttä, millä kuparioksidin väri muuntuu. Tuloksissa on kuvattu useita näytteitä, jotta tulee näkyviin lasitteen värin pysyvyys tai herkkyys polttotapahtuman aikana. Suunniteltua tulosta ja tavoitetta muistutti eniten lasitteen CAH9:n viiruvärit.

CAH8-13 näytteet poltettiin kaasu-uunissa. Kaasu-uunipoltoissa vaikutti pelkistävä atmosfääri ja kuparioksidiviirut värjäytyivät punaisiksi polttolämpötiloissa 1260-1280°C.

Lasite CAH8

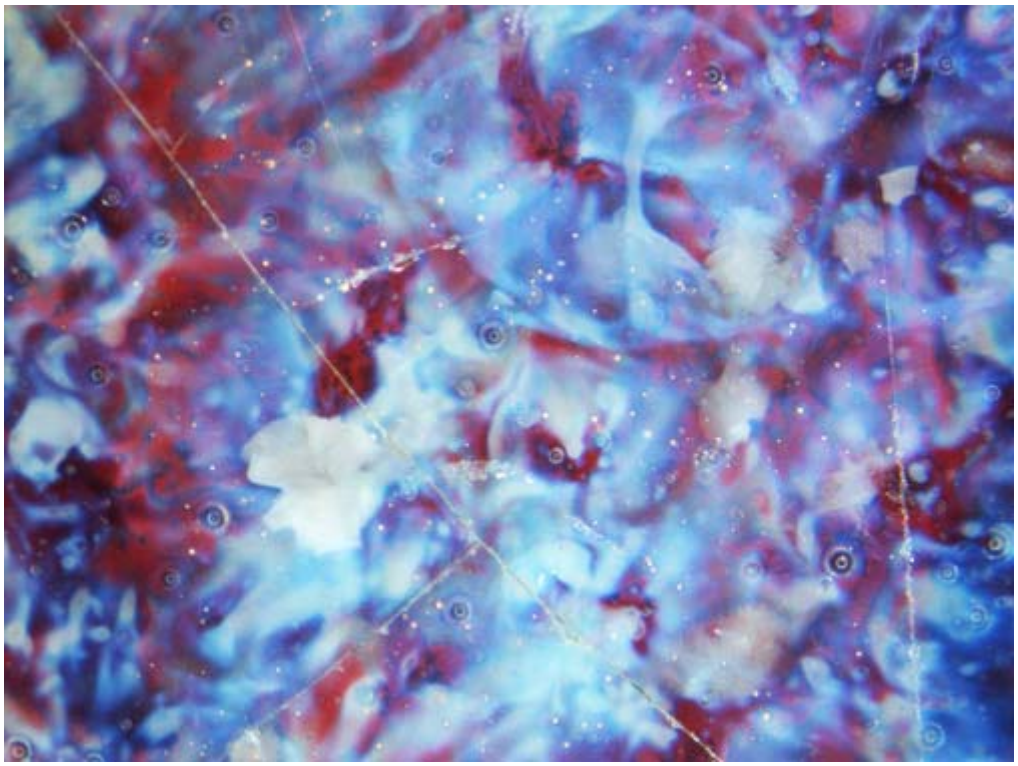
CAH8 1260-1280°C, kaasu-uuni

Raaka-aine CAH	**8**
Maasälpä FFF, Feldspar FFF	56
Kvartsi FFQ, Quartz FFQ	12
Mäntytuhka, Pinewood ash	12
Natriumkarbonaatti, Soda ash	5
Wollastoniitti, Wollastonite	15



Lasite CAH8 vasemman puolen viiru on kupari- ja tinaoksidi yhdiste ja oikean puoleinen puhdas kuparioksidi.

Lasite CAH8 sulaa heikommin kuin seuraava lasite CAH9. Pinta on kiteinen. Wollastoniitti muodostaa valkoisia kiteitä, jotka ryhmittyvät, niiden peittämä pinta on puolihimmeä. Kuparin punainen väri kehittyy sulaan lasiin kiteiden lomaan ja alapuolelle.



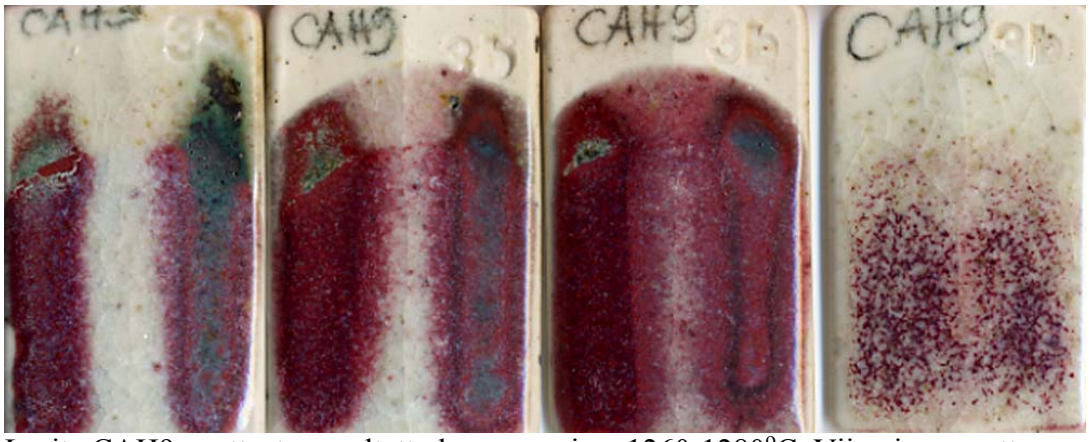
CAH8 suurennos 11.2 kertaa. Mikroskooppikuva on kolmesta CAH8 lasitteen keskimmäisestä näytteestä kuparioksidin viirusta. Valkoisia wollastoniitin muodostamia kiteitä pinnassa. Sinertävä väri syntyy tuhkan rautaoksidin reaktioista lasiaineessa.

Lasite CAH9

Lasite CAH9, 1260-1280°C

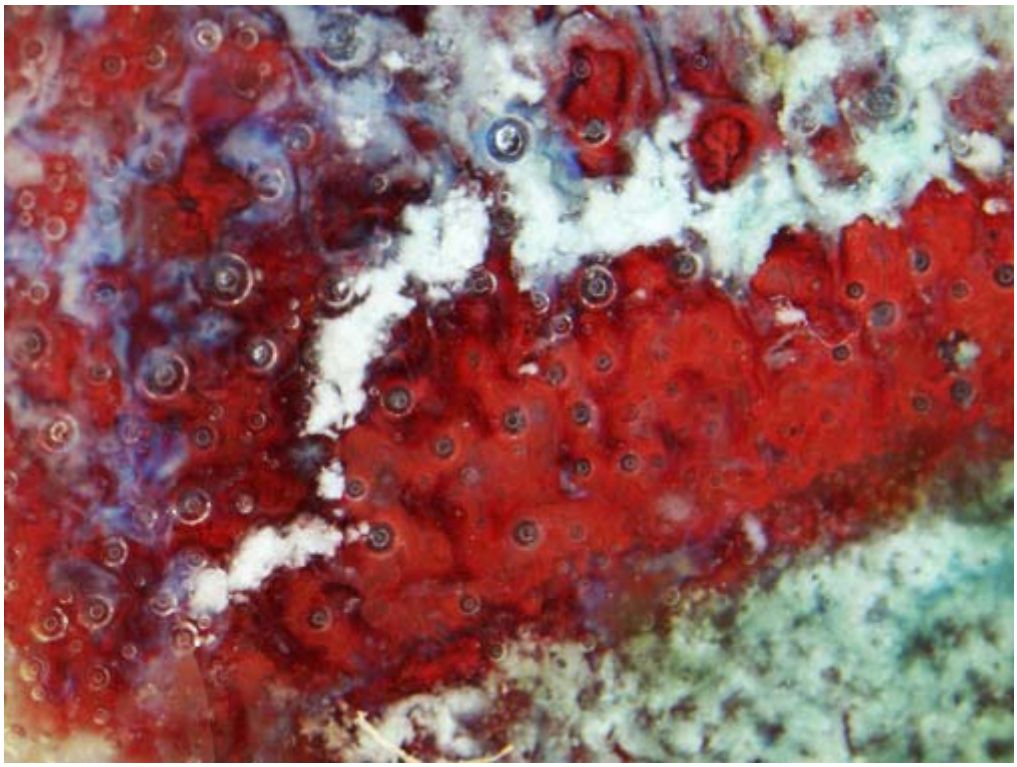
Raaka-aine CAH	**9**
Maasälpä FFF, Feldspar FFF	53
Kvartsi FFQ, Quartz FFQ	14
Mäntytuhka, Pine wood ash	10
Natriumkarbonaatti, Soda ash	4
Nefeliinisyeniitti, Nepheline syenite	15
Wollastoniitti, Wollastonite	4

Lasite CAH9 on onnistunein kolmen testituloksen mukaan. Se on kaikissa näytteissä sulanut tasaisesti. Lasitteen kerroksen on oltava paksu. Jos lasite on ns. normaali n.0.5mm vahvuinen hyvin peittävä lasite kerros, se ei ole riittävä. Lasitteen paksuuden on oltava vähintään kaksinkertainen. Lasite elää ja valuu omasta painostaan sulana, niin se on riittävän paksu kerros ja pelkistyy.

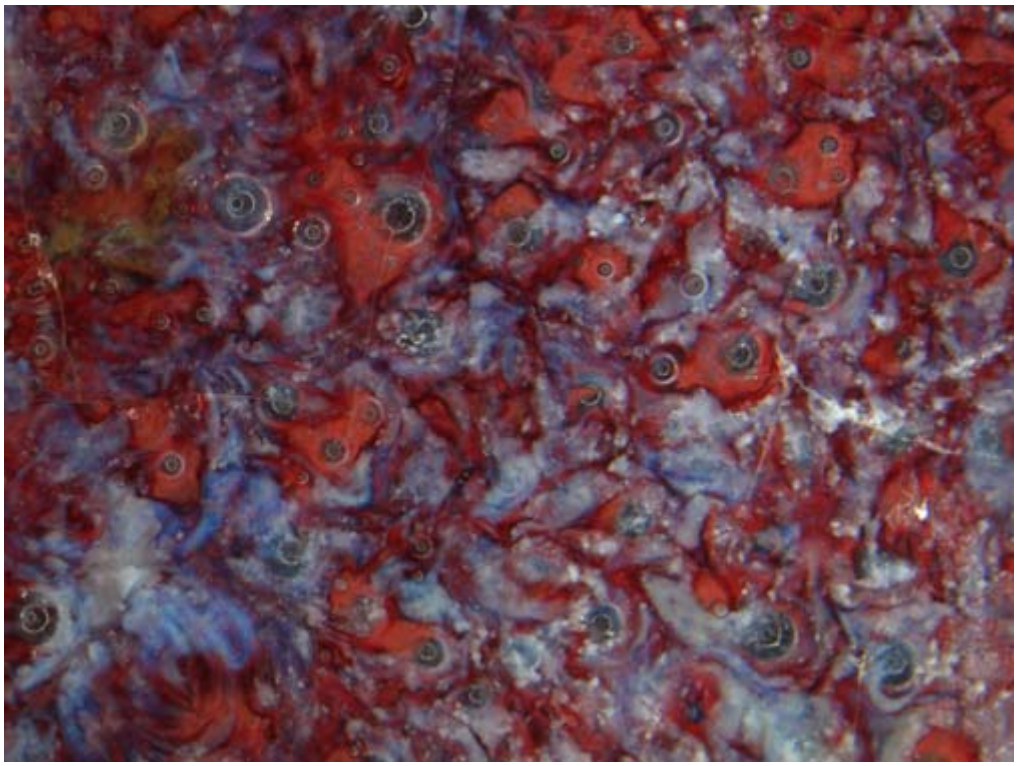


Lasite CAH9 näytteet on poltettu kaasu-uunissa 1260-1280°C. Viimeisen näytteen väri on palanut pois, se on ollut myös kaikkein korkeimmassa polttolämpötilassa. Vasemmalla on kupari- ja tinaoksidin yhdiste, joka värjäytyy punaisemmaksi kuin oikealla pelkkä kuparioksidin viiru.

Mikroskooppikuvia (2 kuvaa) CAH9 lasitteen pinnasta.



Lasitteesta CAH9 suurennus on 11.2 kertaa. Lasitteessa on tiheä valkoinen kuplaisuus. Kuparioksidi aiheuttaa nopean sulamisen ja värjäytyy pelkistyessään. Kuva on otettu viirun ja lasitteen raja-alueelta.

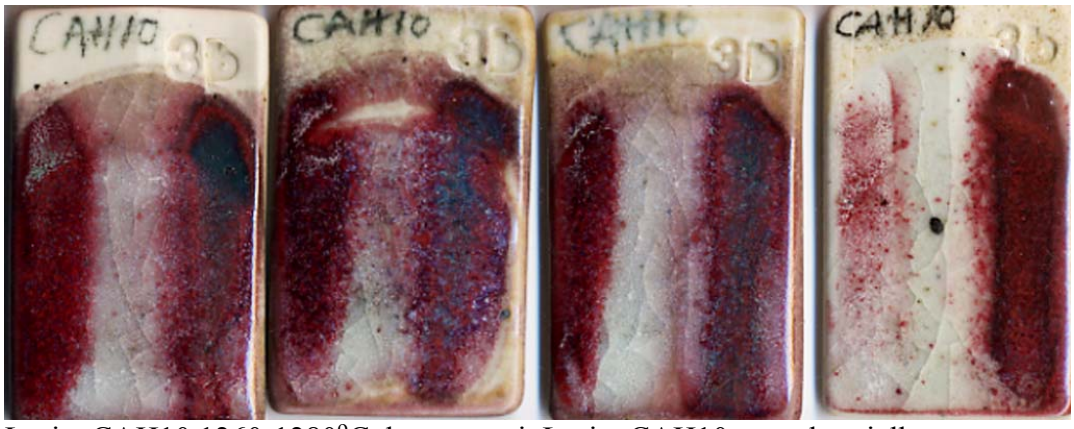


Lasitteesta CAH9 suurennus on 11.2 kertaa. Kuva on otettu kupari- ja tinaoksidin viirun keskeltä.

Lasite CAH10

Lasite CAH10 1260-1280°C

Raaka-aine CAH	**10**
Maasälpä FFF, Feldspar FFF	64
Kvartsi FFQ, Quartz FFQ	10
Mäntytuhka, Pine wood ash	5
Natriumkarbonaatti, Soda ash	14
Wollastoniitti, Wollastonite	7



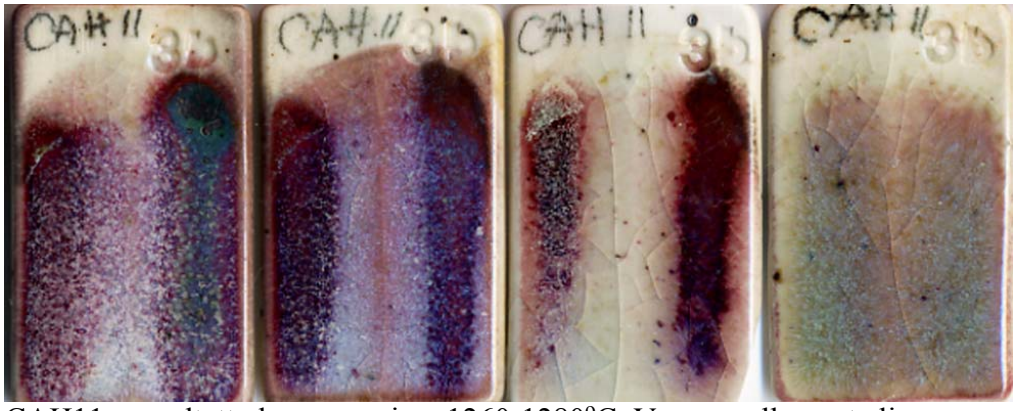
Lasite CAH10 1260-1280°C, kaasu-uuni. Lasite CAH10 on polton jälkeen heikommin sulanut kuin CAH9. Se on kuplaisempi ja värin sävytys on hieman sinivivahteinen. Kupari- ja tinaoksidiviiru on punainen vasemmalla.

Lasite CAH10 sulaa ja siinä muodostuu tiheää kuplaa, joka on tyypillistä chun lasitteille. Korkeampaan lämpötilaan poltettaessa kuplaisuus häviää ja näyte kirkastuu punaisemmaksi. Kuvassa uloin näyte oikealla. Lasitteessa CAH10 on tuhkan määrää vähennetty ja lisätty natriumkarbonaattia verrattuna lasitteeseen CAH9. CAH10 lasitteen empiirisessä kaavassa alkalisuus (natriumoksidi) kasvaa ja kalsiumoksidi vähenee RO- ryhmässä

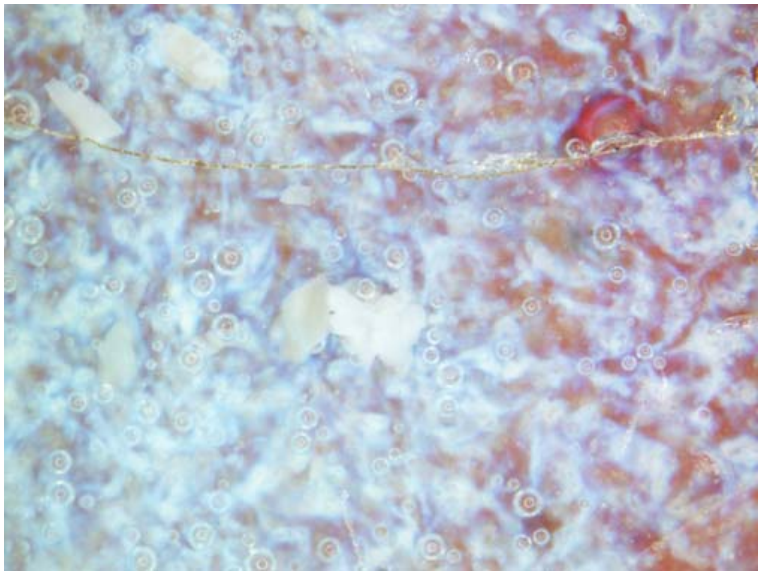
Lasite CAH11

Lasite CAH11 1260-1280°C

Raaka-aine CAH	**11**
Maasälpä FFF, Feldspar FFF	64
Kvartsi FFQ, Quartz FFQ	10
Mäntytuhka, Pine wood ash	14
Natriumkarbonaatti, Soda ash	16
Wollastoniitti, Wollastonite	10

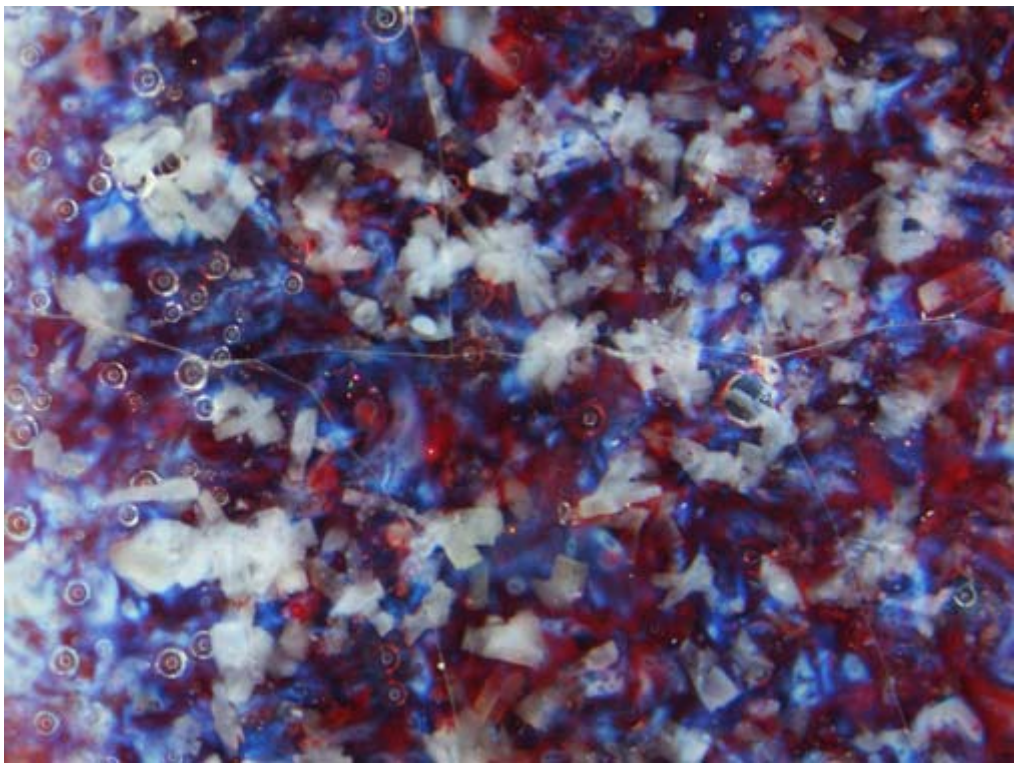


CAH11 on poltettu kaasu-uunissa 1260-1280°C. Vasemmalla ovat alimmassa lämpötilassa sulaneet näytteet ja oikealla korkeammissa lämpötiloissa sulaneet. Sinipunaisuus häviää lasitteen sulamisen mukaan.

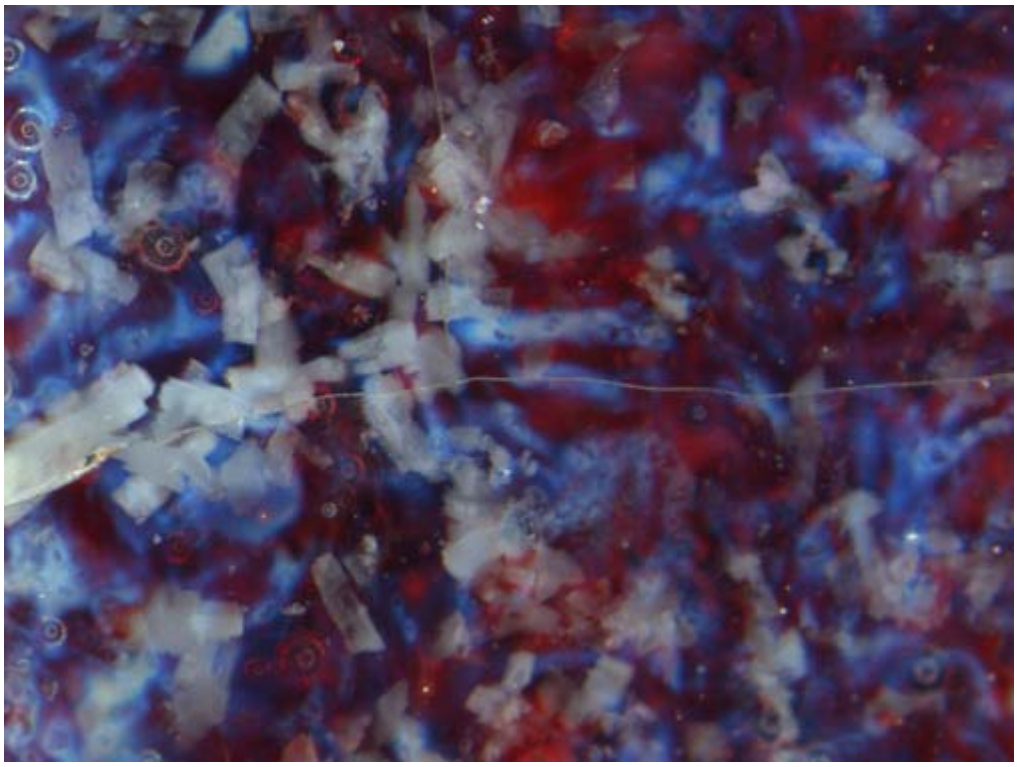


Lasite CAH11 näyte vasemmalla vähemmän sulanut kuin muut, suurennos 11.2 kertaa. Tiheä kuplaisuus.

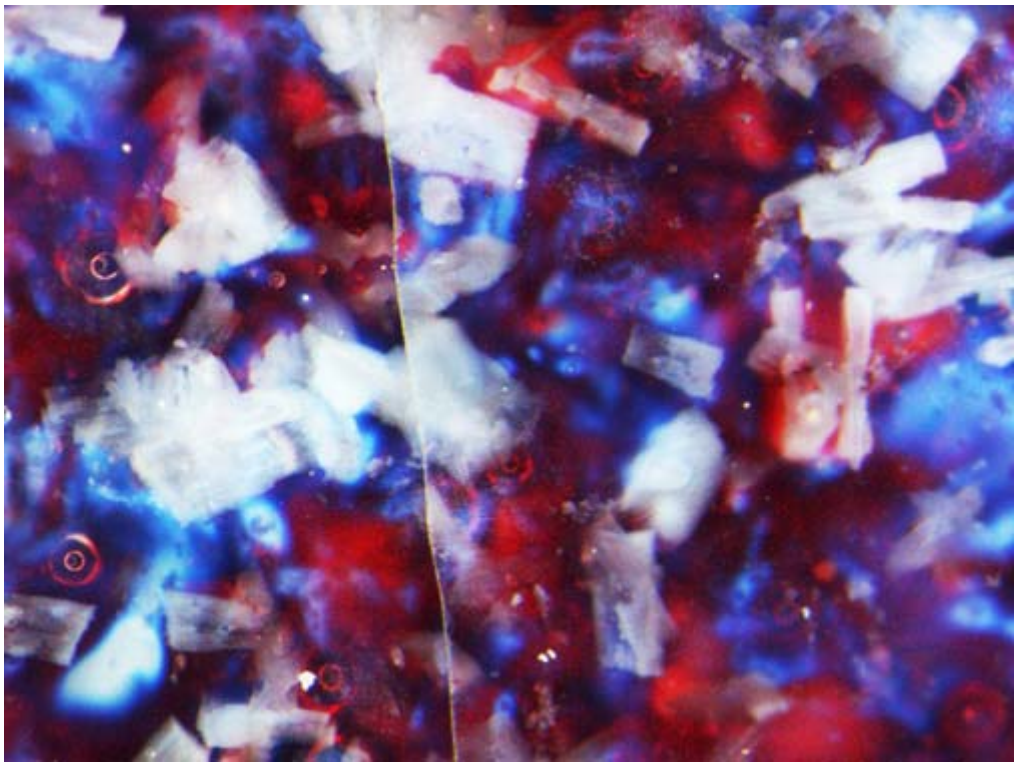
Kolme kuvaa wollastoniitin muodostamista kiteistä.



Lasite CAH11 suurennos 11.2 kertaa. Lasitteessa syntyy pseudowollastoniittikiteitä, pienet valkoiset kiteet liikkuvat sulassa lasissa keskuksia kohti, muodostaen kuvioita.



Lasite CAH11 suurennos 16 kertaa.



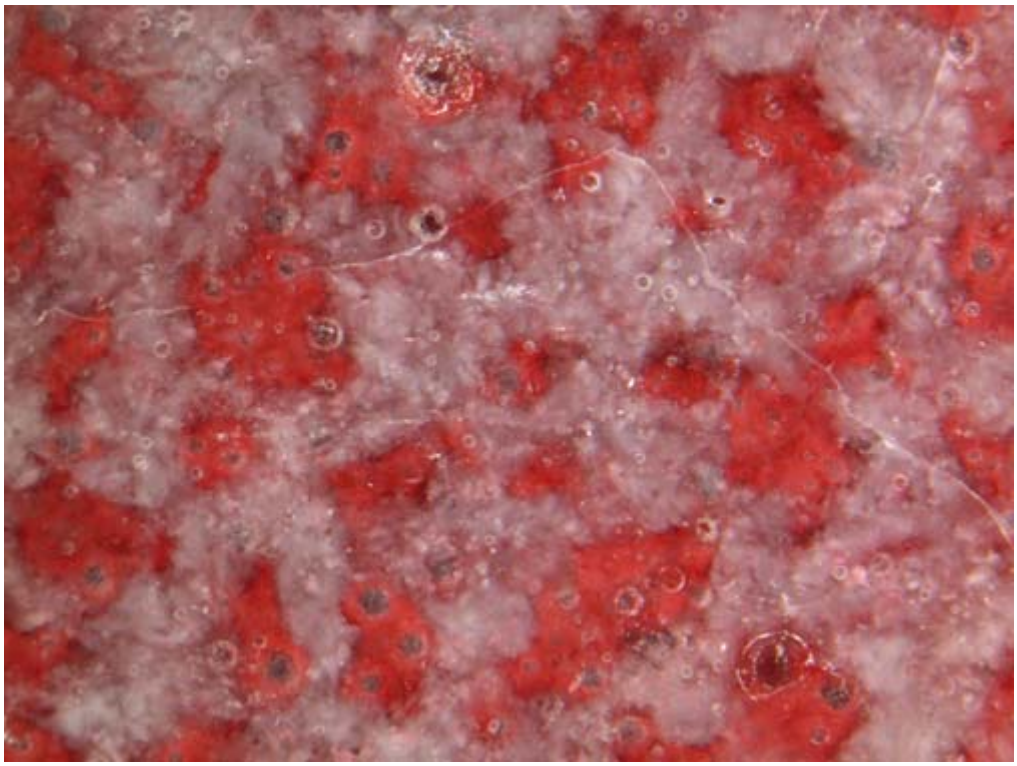
Lasite CAH11 suurennos 25 kertaa.

Lasite CAH12

Lasite CAH12, 1260-1280°C, kaasu-uuni

Raaka-aine CAH	**12**
Maasälpä FFF, Feldspar FFF	55
Kvartsi FFQ, Quartz FFQ	14
Natriumkarbonaatti, Soda ash	16
Wollastoniitti, Wollastonite	15

Lasite CAH12 1260-1280°C, kaasu-uuni. Mikroskooppikuva kertoo värin kehittyvän lasisulassa pinnan alla.

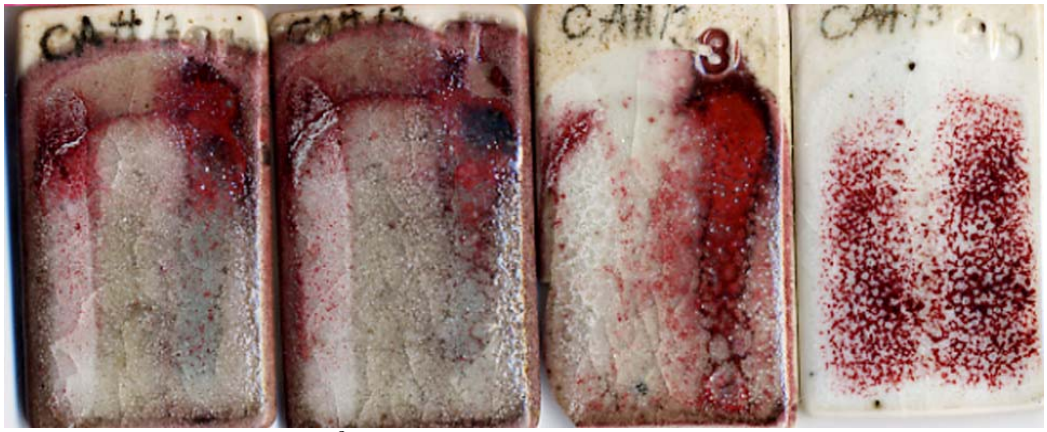


Lasite CAH12 suurennos 11.2 kertaa. Kuva näytteestä toinen vasemmalta, joka on savuinen mutta myös punainen.

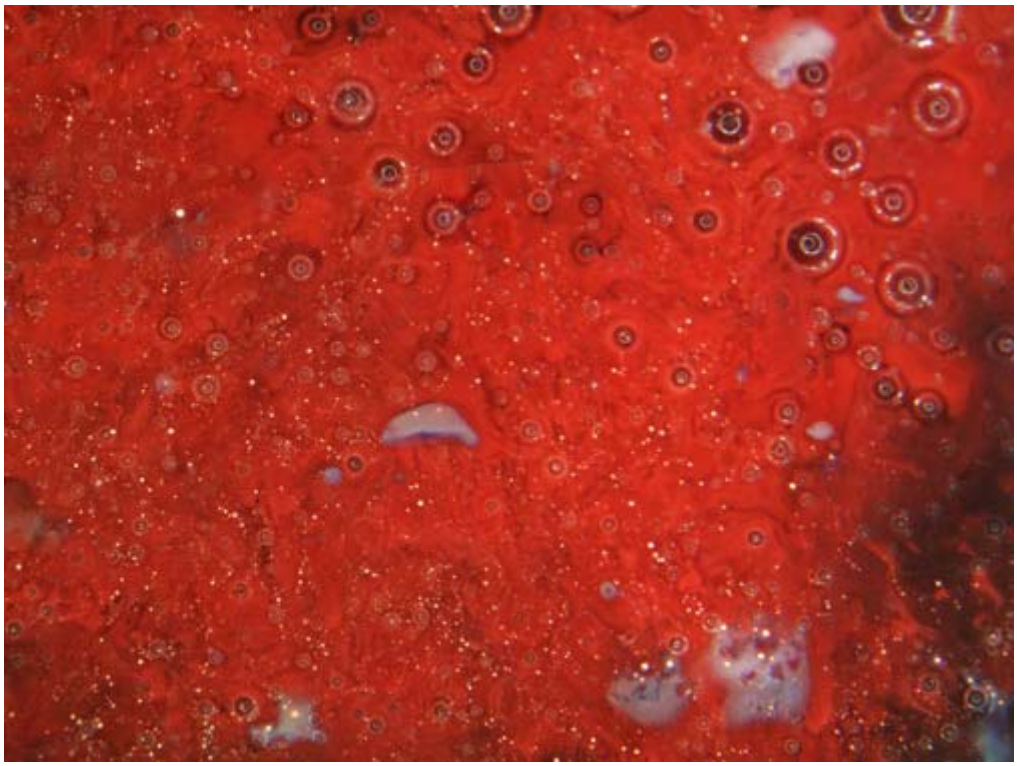
Lasite CAH13

Lasite CAH13, 1260-1280°C

Raaka-aine CAH	**13**
Maasälpä FFF, Feldspar FFF	54
Kvartsi FFQ, Quartz FFQ	17
Natriumkarbonaatti, Soda ash	19
Wollastoniitti, Wollastonite	10



Lasite CAH13 1260-1280°C, kaasu-uuni. Vasemmat lasitenäytteet ovat jääneet savuisiksi. Mikroskooppikuva kupariviirusta, toinen oikealta, jossa kehittyy voimakas punaisuus.



Lasite CAH13, suurennos 11.2 kertaa. Kuva on kupariviirusta näytteestä toinen oikealta. Näyte on sulanut paremmin kuin viereiset.

CAH14-19 häränverilasitteet ja poltetut näytteet

Lasitteet CAH14-19 on suunniteltu edellisten chun lasitteiden CAH9:n ja CAH10:n antamien hyvien tuloksien pohjalta. Lasitekoostumus muodostaa pysyvyyden suhteessa pelkistyksen ja polttolämpötilojen muutoksiin nähden. Hyvällä lasitteella tulee olla jonkinlainen polttomarginaali, eli lämpötilojen vaihteluiden sietokyky. Puu-uunissa ja kaasu-uunissa näytteet poltetaan keskimäärin 1260-1280°C polttolämpötilassa.

Lasitteissa CAH14-19 on samat raaka-aineet kuin edellä lasitteissa testatuissa, mutta wollastoniittia on korvattu liidulla. Kuparinpunaisissa lasitteissa on lisätty kupari- ja tinaoksidia lasitteeseen. Jotta punaisuus kehittyy sulassa lasissa, tulee lasitteessa olla korkea piidioksidin ja alhainen alumiinioksidin määrä, sen tähden erityisesti wollastoniittia on hyvä käyttää, mutta se aiheuttaa pienten kiteiden muodostusta. Liitu sulattaa seosta helposti ja alentaa lasitteen pehmenemislämpötilaa.

Tässä tutkimuksessa valitaan sulatteeksi natriumkarbonaatti (soda ash) tuhkan kanssa, lisäämään helposti reagoivien alkalien määrää suhteessa kalsiumoksidiin, jota saadaan lasitteeseen sekä liidussa että wollastoniitissa.

Natriumkarbonaattia käytettäessä lasitetta ei voi varastoida, vaan se on käytettävä heti. Lasite kiteytyy säilytysastiassa.

Taulukko 6: Lasitteet CAH14-19, 1260-1280°C, puu-uuni- ja kaasu-uunipoltto

Raaka-aine CAH	**14***	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**
Maasälpä FFF Feldspar FFF	58,5	53	64	56	56	58
Kvartsi FFQ Quartz FFQ	14	13	10	-	10	5
Mäntytuhka Pine wood ash	7,5	15	5	14	4	3
Natriumkarbonaatti Soda ash	13,5	17	15	18	18	18
Wollastoniitti Wollastonite	5,5	12	-	6	12	8
Liitu, Whiting	-	-	6	6	-	8

* poltto 1240-1250°C

Lisätään lasitteeseen
A Tinaoksidi (SnO_2) 2%, kuparioksidi (CuO) 0,5%
B Tinaoksidi (SnO_2) 2%, kuparioksidi (CuO) 1,5%

Huomioi lasitteita valmistettaessa.

Pulverina kuparikarbonaatti ($CuCO_3$ vihreä pulveri) on myrkyllisempi, merkkinä on pääkallo ja T, kuin kuparioksidi (CuO musta pulveri) jonka merkkinä on rasti ja Xn.

Näytteissä käytetään tinaoksidia (SnO_2) 2%:a ja kuparioksidia kaksi eri vahvuutta. A) 0,5% ja B) 1,5%. Tinaoksidin tarkoitus on stabilisoida kuparikaasujen haihtumista ja se parantaa olosuhteita sulassa lasissa parantaen kuparin punaisen värin pysyvyyttä. Kuparin punaiseen sävyyn vaikuttaa peruslasitteen raaka-aineiden oksidikoostumus ja kuparioksidin määrä. Kuparinpunaiseen sävyyn vaikuttaa kuparin reagointi kyky, mikä mahdollistuu alkalisessa lasitteessa. Kuparin punainen lasite menettää helposti värinantokykynsä lasitteen sulaessa liikaa. Lasitteen sulaessa kuparioksidin höyrystymisreaktiota voidaan suojata lasittamalla toisella lasitteella päälle.

Lasite CAH14

Lasite CAH14, 1260°C

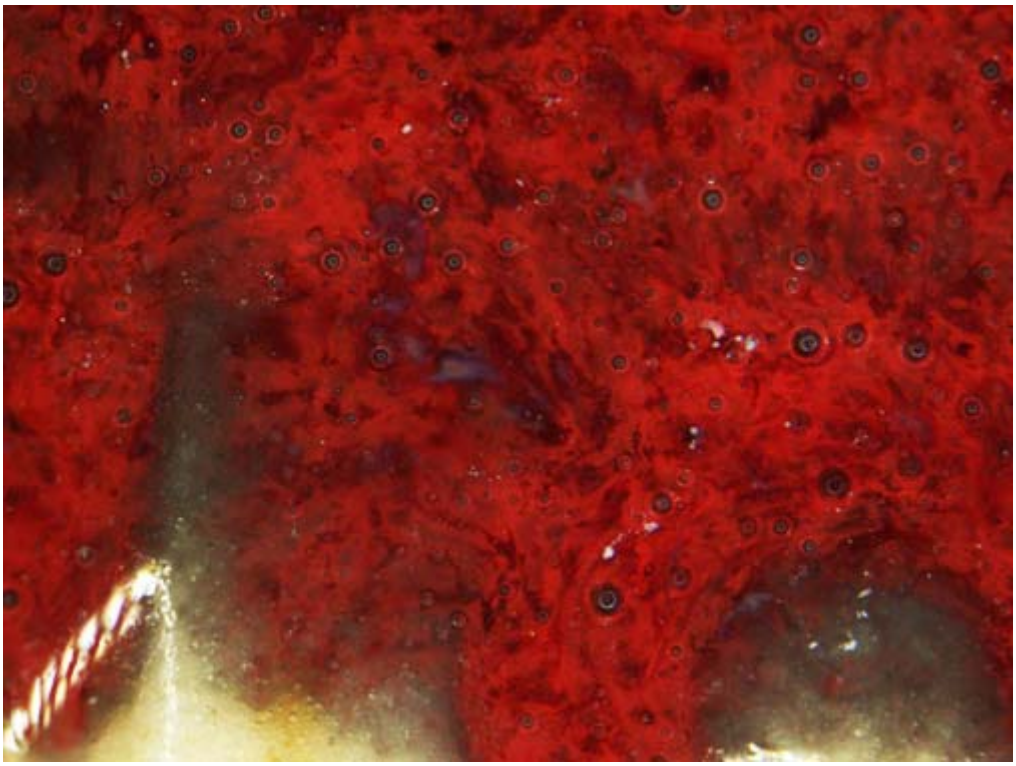
Raaka-aine CAH	**14***
Maasälpä FFF, Feldspar FFF	58,5
Kvartsi FFQ, Quartz FFQ	14
Mäntytuhka, Pine wood ash	7,5
Natriumkarbonaatti, Soda ash	13,5
Wollastoniitti, Wollastonite	5,5

Lisätään lasitteeseen
A Tinaoksidi (SnO_2) 2%, kuparioksidi (CuO) 0,5%
B Tinaoksidi (SnO_2) 2%, kuparioksidi (CuO) 1,5%

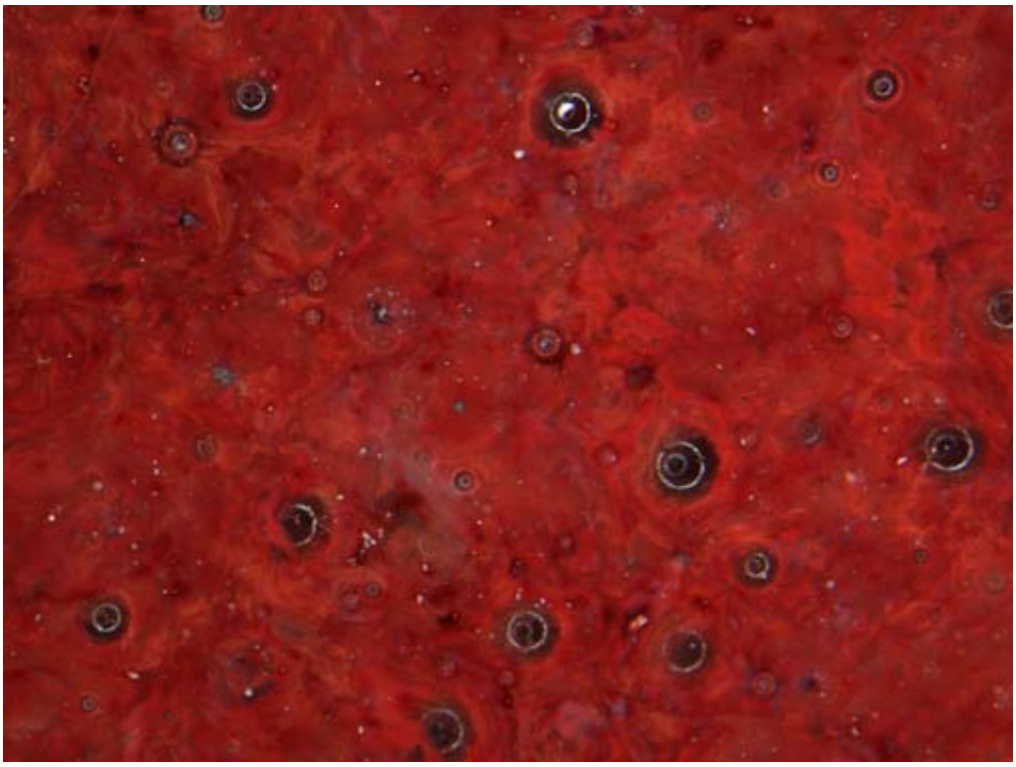
CAH14A ja B, poltto kaasu-uuni 1260°C

Mikroskooppikuvat kuparin punaisaesta väristä lasisulassa.

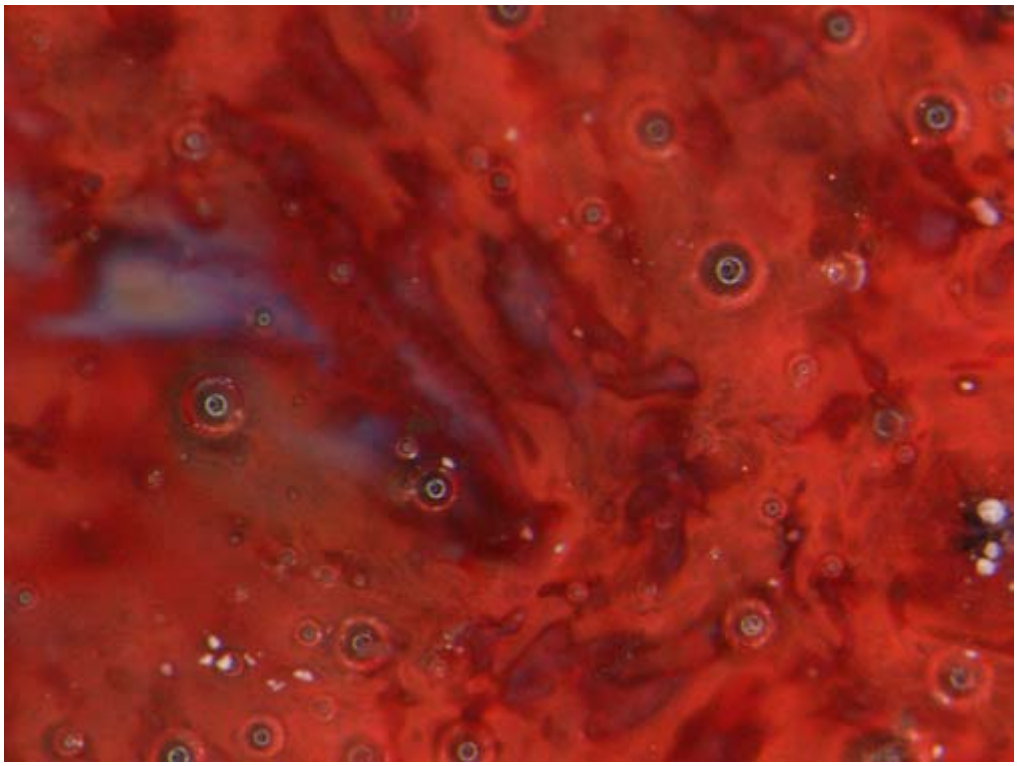
Lasitteesta CAH14 on otettu samasta kohdasta viisi mikroskooppikuvaa, 11.2 kertaisesta suurennoksesta 144 kertaiseen suurennokseen asti. Lasitteessa näkyy kuparin kolloidinen värin muodostus ja sulassa tilassa tapahtuu myös voimakasta liikettä.



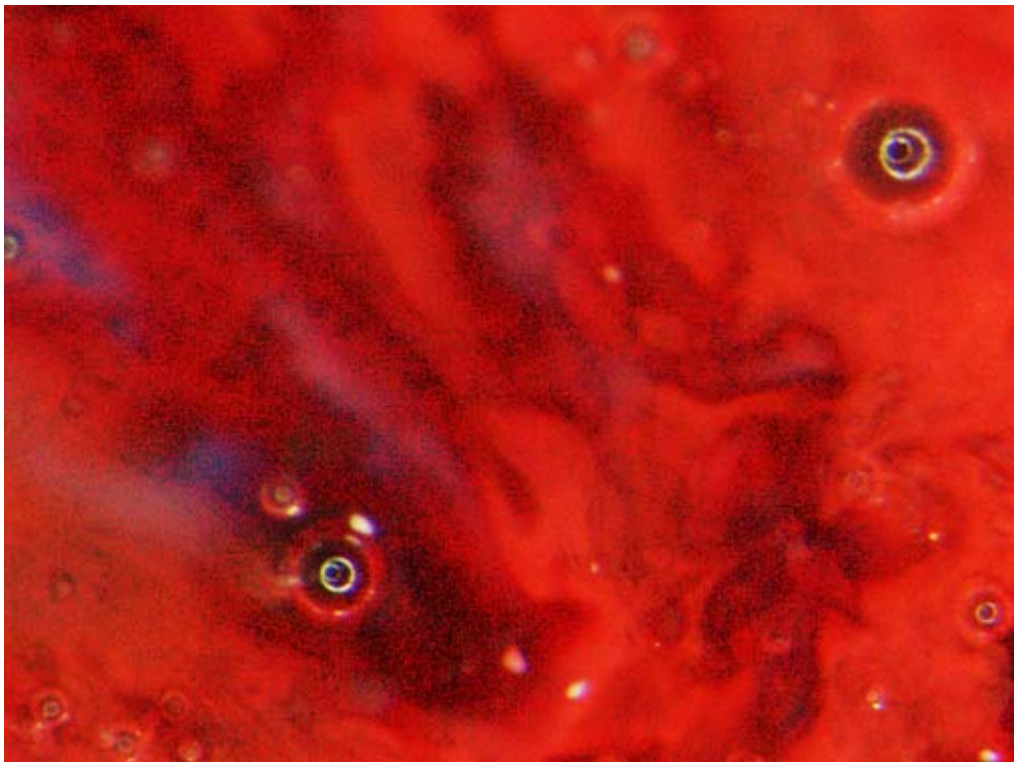
Lasite CAH14 suurennos 11.2 kertaa



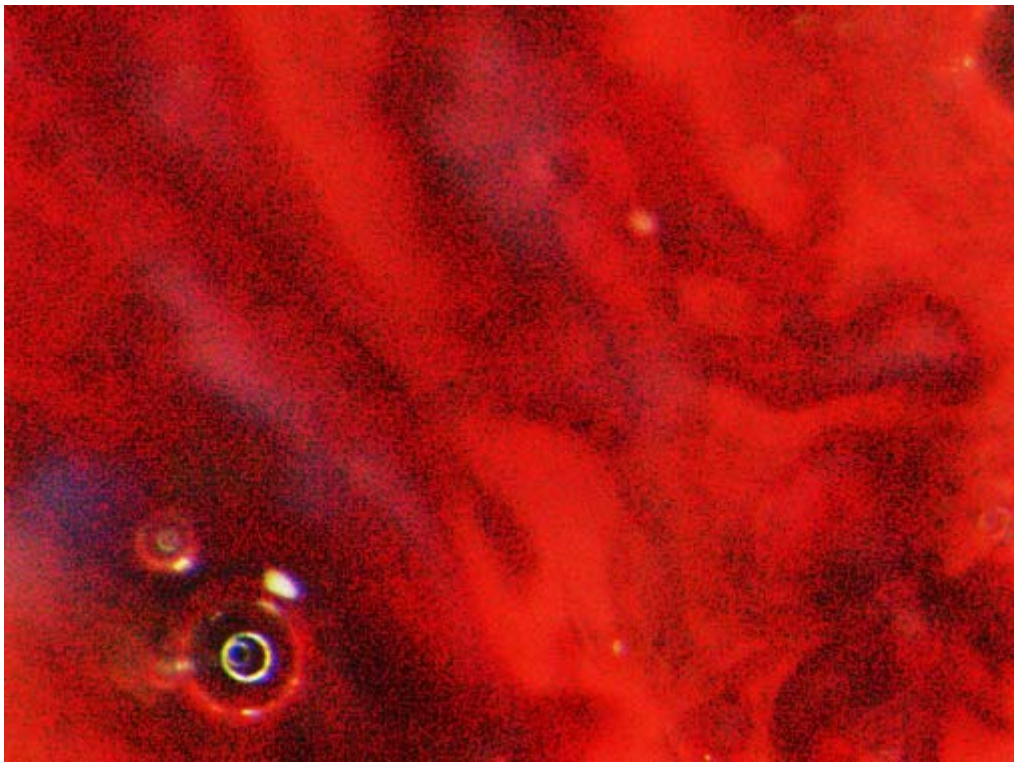
Lasite CAH14 suurennos 16 kertaa



Lasite CAH14 suurennos 40 kertaa

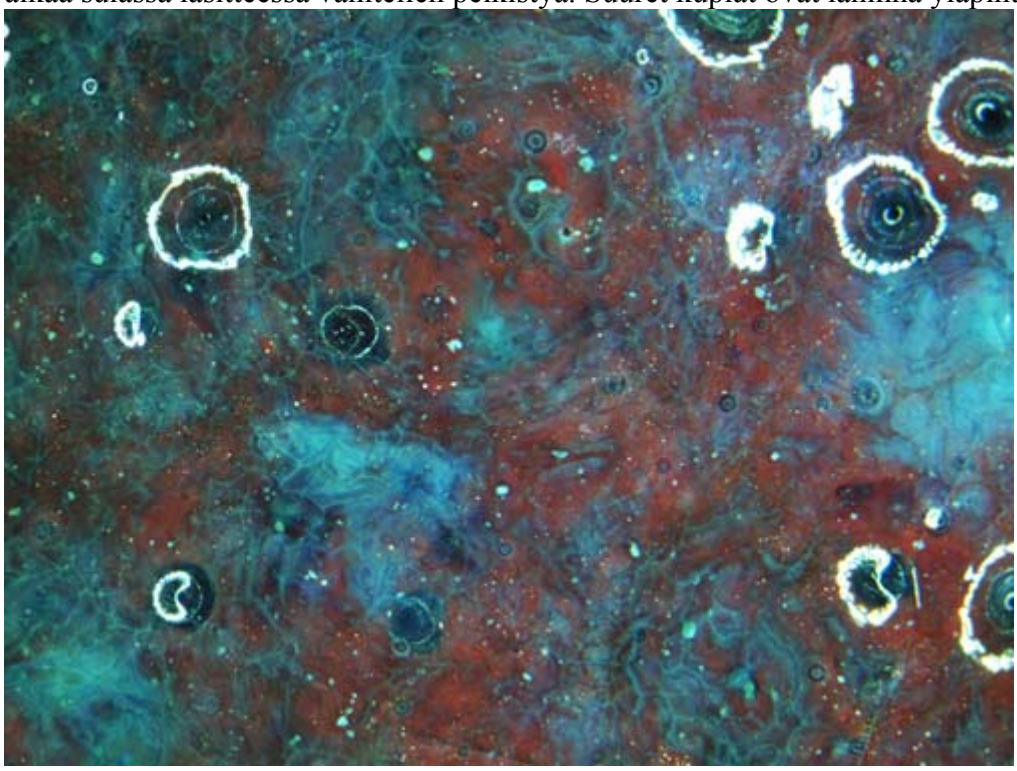


Lasite CAH14 suurennos 80 kertaa

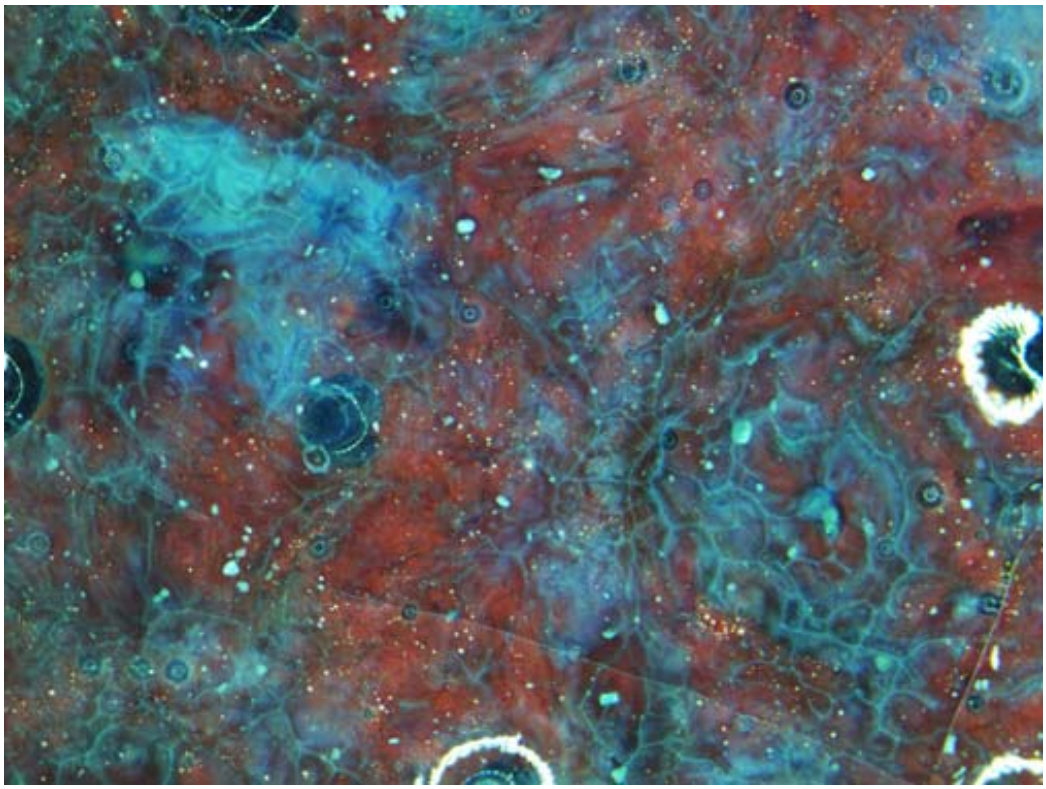


Lasite CAH14 suurennos 144 kertaa. kuparin punainen väri näkyy pieninä rakeina sulassa lasissa.

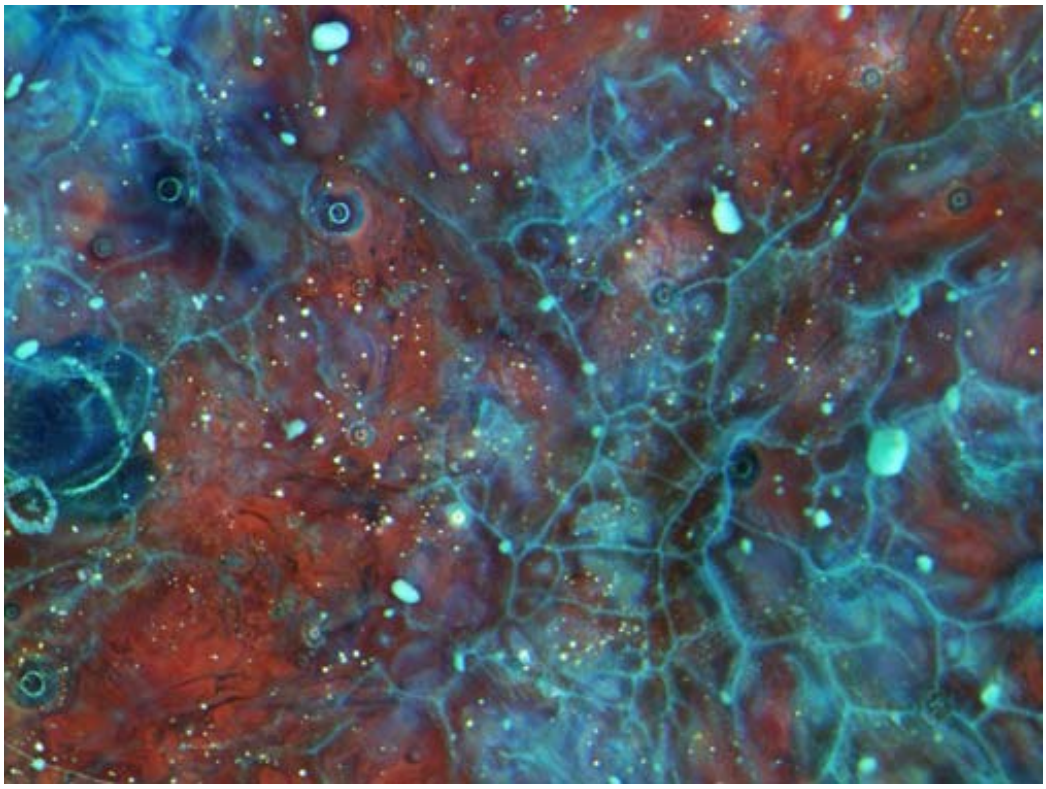
Seuraavat mikroskooppikuvat ovat lasitteen CAH14 näytteestä, jossa kuparioksidi alkaa sulassa lasitteessa vähitellen pelkistyä. Suuret kuplat ovat lähinnä yläpintaa.



Lasite CAH14 suurennos 11.2 kertaa



Lasite CAH14, suurennos 16 kertaa



Lasite CAH14, suurennos 32 kertaa

Lasite CAH15

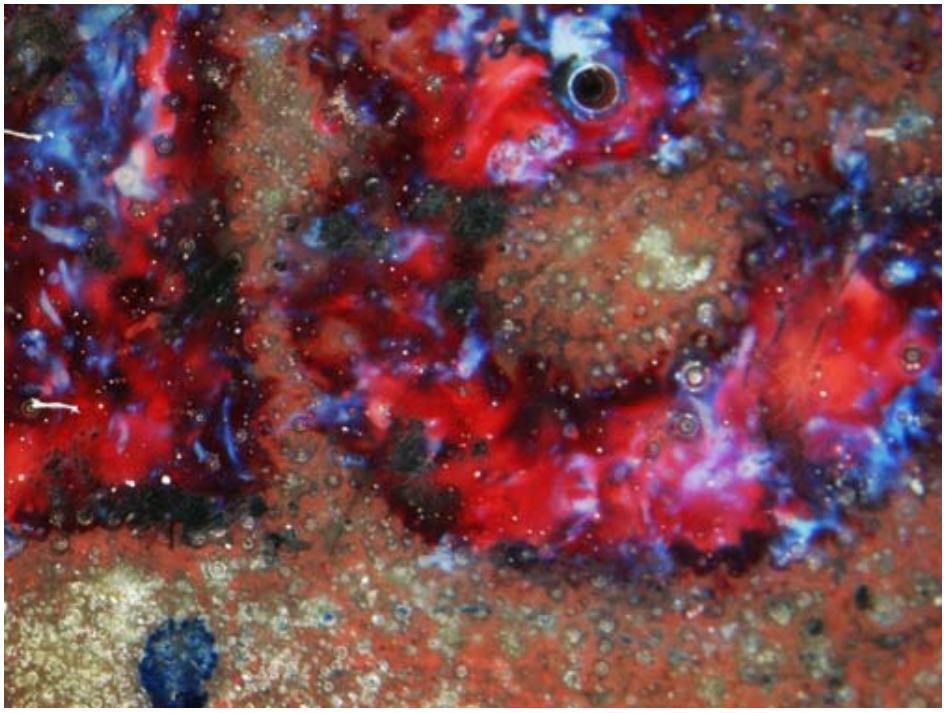
Raaka-aine CAH	**15**
Maasälpä FFF, Feldspar FFF	53
Kvartsi FFQ, Quartz FFQ	13
Mäntytuhka, Pine wood ash	15
Natriumkarbonaatti, Soda ash	17
Wollastoniitti, Wollastonite	12

Lisätään lasitteeseen

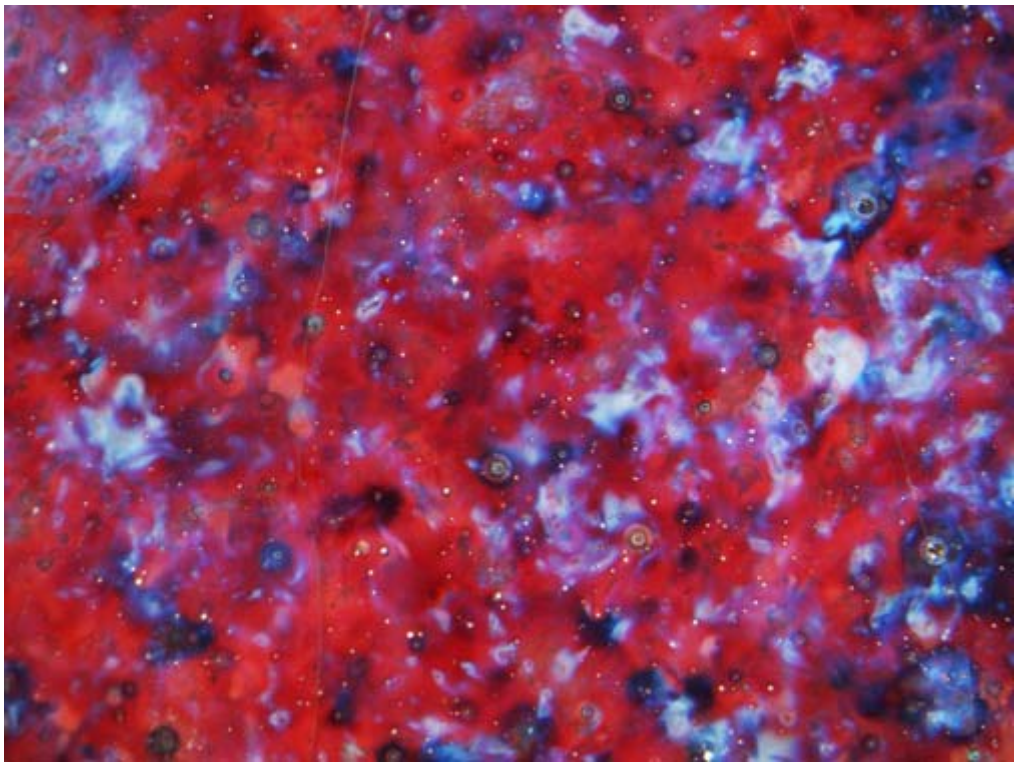
A Tinaoksidi (SnO_2) 2%, kuparioksidi (CuO) 0,5%

B Tinaoksidi (SnO_2) 2%, kuparioksidi (CuO) 1,5%

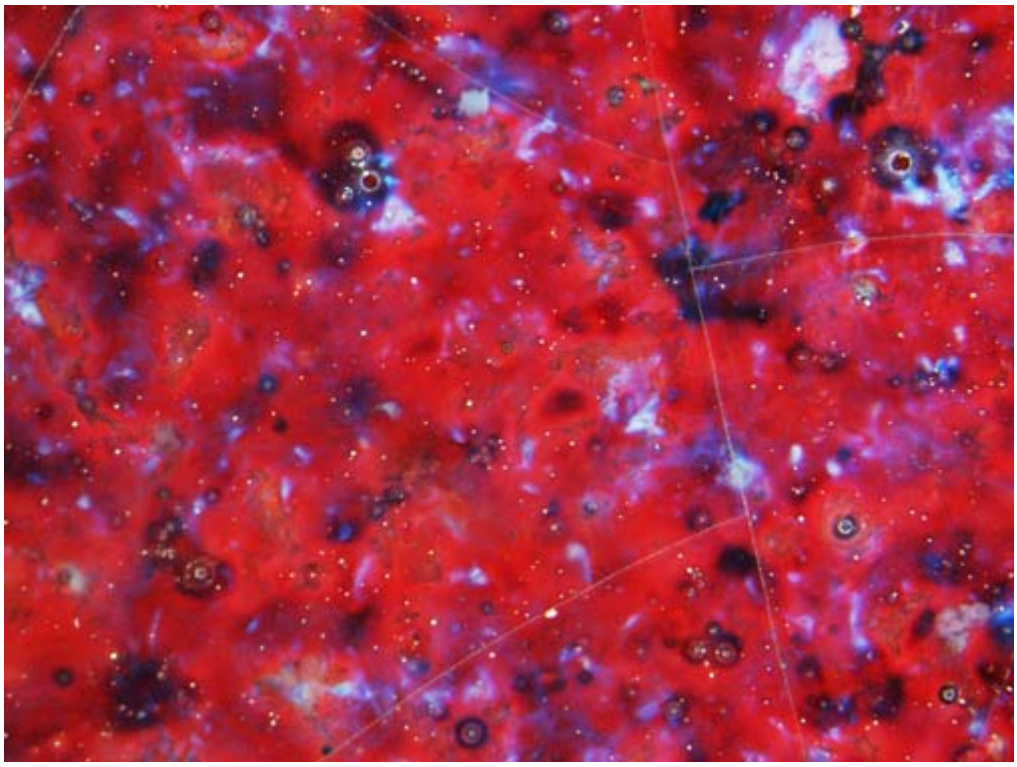
CAH15A ja B, kaasu-uuni 1240-1260°C. Oikeanpuoleinen on sulanut vähän.



Lasite CAH15, suurennos 11.2 kertaa, vasemman puoleisesta näytteestä.



Lasite CAH15 suurennos 11.2 kertaa. Kuva keskimmäinen näyte.



Lasite CAH15 suurennos 32 kertaa. Kuva keskimmäinen näyte.

CAH14 on päällä ja CAH15 on alla, poltettu kaasu-uuni 1260°C

Raaka-aine CAH	**14***	**15**
Maasälpä FFF, Feldspar FFF	58,5	53
Kvartsi FFQ, Quartz FFQ	14	13
Mäntytuhka, Pine wood ash	7,5	15
Natriumkarbonaatti, Soda ash	13,5	17
Wollastoniitti, Wollastonite	5,5	12

Lisätään lasitteeseen

A Tinaoksidi (SnO_2) 2%, kuparioksidi (CuO) 0,5%

B Tinaoksidi (SnO_2) 2%, kuparioksidi (CuO) 1,5%

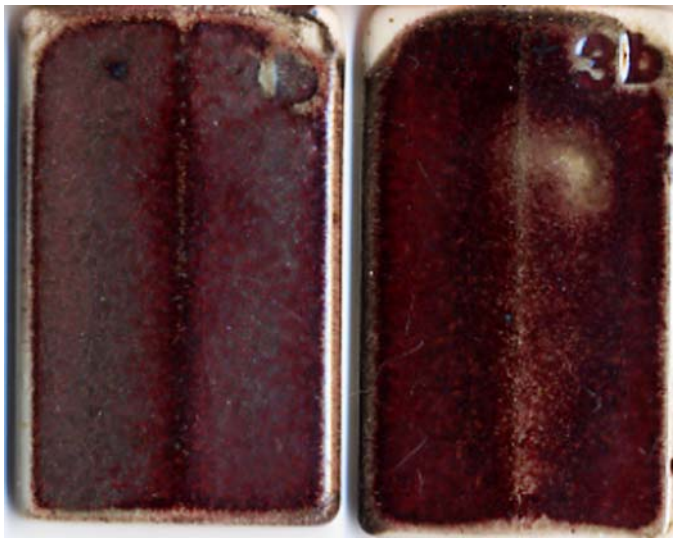
CAH14A ja CAH15 päällekkäin, suurennos 11.2 kertaa. Punainen väri säilyy poltossa kahden lasitteen muodostamana kerroksena.

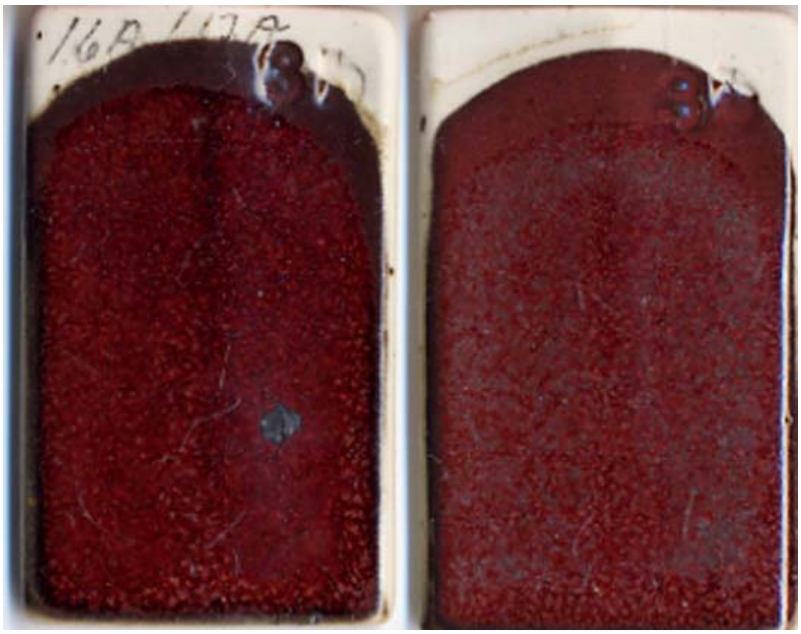
Lasitteet CAH16 ja CAH17
Käytetään erikseen tai yhdessä päällekkäin (1260°C)

Raaka-aine CAH	**16**	**17**
Maasälpä FFF, Feldspar FFF	64	56
Kvartsi FFQ, Quartz FFQ	10	-
Mäntytuhka, Pine wood ash	5	14
Natriumkarbonaatti, Soda ash	15	18
Wollastoniitti, Wollastonite	-	6
Liitu, Whiting	6	6

Lisätään lasitteeseen
A Tinaoksidi (SnO_2) 2%, kuparioksidi (CuO) 0,5%
B Tinaoksidi (SnO_2) 2%, kuparioksidi (CuO) 1,5%

Lasite CAH16A, kaasu-uuni 1260°C


CAH17A kaasu-uuni 1260°C.



Päällekkäin, CAH16A ja alla CAH17A, poltto kaasu-uuni 1260°C

Lasite CAH18

Raaka-aine CAH	**18**
Maasälpä FFF, Feldspar FFF	56
Kvartsi FFQ, Quartz FFQ	10
Mäntytuhka, Pine wood ash	4
Natriumkarbonaatti, Soda ash	18
Wollastoniitti, Wollastonite	12

Lisätään lasitteeseen

A Tinaoksidi (SnO_2) 2%, kuparioksidi (CuO) 0,5%

B Tinaoksidi (SnO_2) 2%, kuparioksidi (CuO) 1,5%

Lasite CAH18A, poltto kaasu-uuni 1260°C

Lasite CAH19

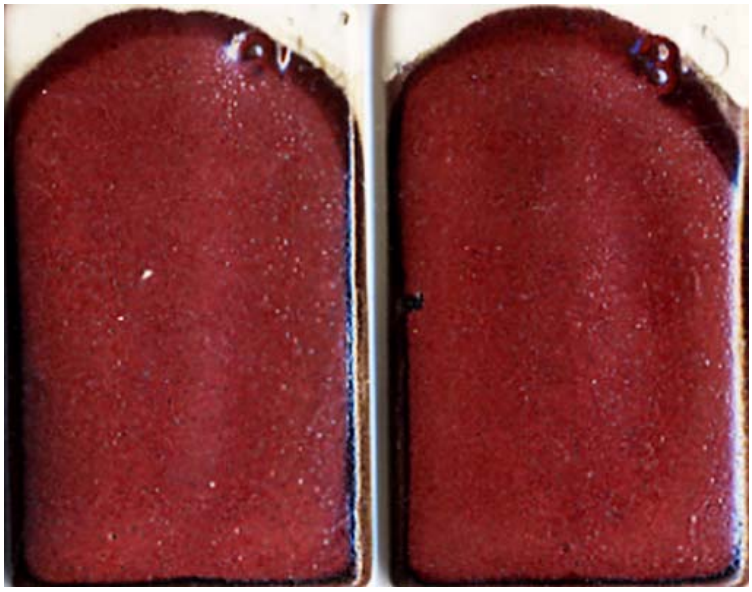
Raaka-aine CAH	**19**
Maasälpä FFF, Feldspar FFF	58
Kvartsi FFQ, Quartz FFQ	5
Mäntytuhka, Pine wood ash	3
Natriumkarbonaatti, Soda ash	18
Wollastoniitti, Wollastonite	8
Liitu, Whiting	8

Lisätään lasitteeseen

A Tinaoksidi (SnO_2) 2%, kuparioksidi (CuO) 0,5%

B Tinaoksidi (SnO_2) 2%, kuparioksidi (CuO) 1,5%

Lasite CAH19A poltto kaasu-uuni 1260°C



Päällekkäin, CAH18A ja alla CAH19A, poltto kaasu-uuni 1260°C

CAH20-24 häränverilasitteet ja poltetut näytteet

Lasitteissa on samat raaka-ainesuhteet kuin edellisissä häränverilasitteissa, mutta uusissa CAH20-24 lasitteissa wollastoniitti korvataan liidulla. Liitu sulattaa seosta ja alentaa lasitteen pehmenemislämpötilaa. Natriumkarbonaatti on vesiliukoinen raaka-aine ja sitä ei käytetä keramiikan lasiteraaka-aineena sellaisenaan vaan alkali tai boorisulatteen muodossa. Wollastoniitti lisäsi piidioksidin määrää lasitteissa ja lasitteiden punainen väri on poltettuna heleämpi kuin lasitteissa CAH20-24. Lasitteiden CAH20-24 polttolämpötilaa nostamalla, värit ovat punaisia poltettuna kaasu-uunissa 1260-1280°C. Lasitteet CAH20-24 soveltuvat paremmin 1280-1300°C polttolämpötilaan.

Taulukko 7: Lasitteet CAH20-24, (1280-1300°C)

Raaka-aine CAH	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**
Maasälpä FFF, Feldspar FFF	53	64	56	56	58
Kvartsi FFQ, Quartz FFQ	13	10	-	10	5
Mäntytuhka, Pine wood ash	10	-	14	4	3
Natriumkarbonaatti, Soda ash	22	20	18	18	18
Liitu, Whiting	12	6	12	12	16

Näytteet on poltettu kaasu-uunissa 1260°C

Lisätään lasitteeseen, Huomioi lasitteita valmistettaessa. Pulverina kuparikarbonaatti (vihreä pulveri) on myrkyllisempi kuin kuparioksidi (musta pulveri)

A Tinaoksidi (SnO_2) 2%, kuparioksidi (CuO) 0,5%

B Tinaoksidi (SnO_2) 2%, kuparioksidi (CuO) 1,5%, tumma väri.

Näytteissä lasitetaan kaksi vierekkäistä lasitetta päällekkäin.

Lasite CAH20

Raaka-aine CAH	**20**
Maasälpä FFF, Feldspar FFF	53
Kvartsi FFQ, Quartz FFQ	13
Mäntytuhka, Pine wood ash	10
Natriumkarbonaatti, Soda ash	22
Liitu, Whiting	12

Lisätään lasitteeseen

A Tinaoksidi (SnO_2) 2%, kuparioksidi (CuO) 0,5%

B Tinaoksidi (SnO_2) 2%, kuparioksidi (CuO) 1,5%

CAH20A ja CAH20B kaasu-uuni 1260°C

Kaksi lasitetta on lasitettu päällekkäin. CAH20A ja alla CAH20B kaasu-uuni 1260°C

Lasite CAH21

Raaka-aine CAH	**21**
Maasälpä FFF, Feldspar FFF	64
Kvartsi FFQ, Quartz FFQ	10
Natriumkarbonaatti, Soda ash	20
Liitu, Whiting	6

Lisätään lasitteeseen
A Tinaoksidi (SnO_2) 2%, kuparioksidi (CuO) 0,5%
B Tinaoksidi (SnO_2) 2%, kuparioksidi (CuO) 1,5%

CAH21A ja CAH21B, poltto kaasu-uuni 1260°C

CAH21A ja alla CAH21B, poltto kaasu-uuni 1260°C. Kaksi eri lasitetta päällekkäin

Lasite CAH22

Raaka-aine CAH	**22**
Maasälpä FFF, Feldspar FFF	56
Mäntytuhka, Pine wood ash	14
Natriumkarbonaatti, Soda ash	18
Liitu, Whiting	12

Lisätään lasitteeseen
A Tinaoksidi (SnO_2) 2%, kuparioksidi (CuO) 0,5%
B Tinaoksidi (SnO_2) 2%, kuparioksidi (CuO) 1,5%

CAH22A ja CAHB poltto kaasu-uuni 1260°C

CAH22A ja alla CAH22B poltto kaasu-uuni 1260°C. Kaksi lasitetta päällekkäin.

Lasite CAH23

Raaka-aine CAH	**23**
Maasälpä FFF, Feldspar FFF	56
Kvartsi FFQ, Quartz FFQ	10
Mäntytuhka, Pine wood ash	4
Natriumkarbonaatti, Soda ash	18
Liitu, Whiting	12

Lisätään lasitteeseen

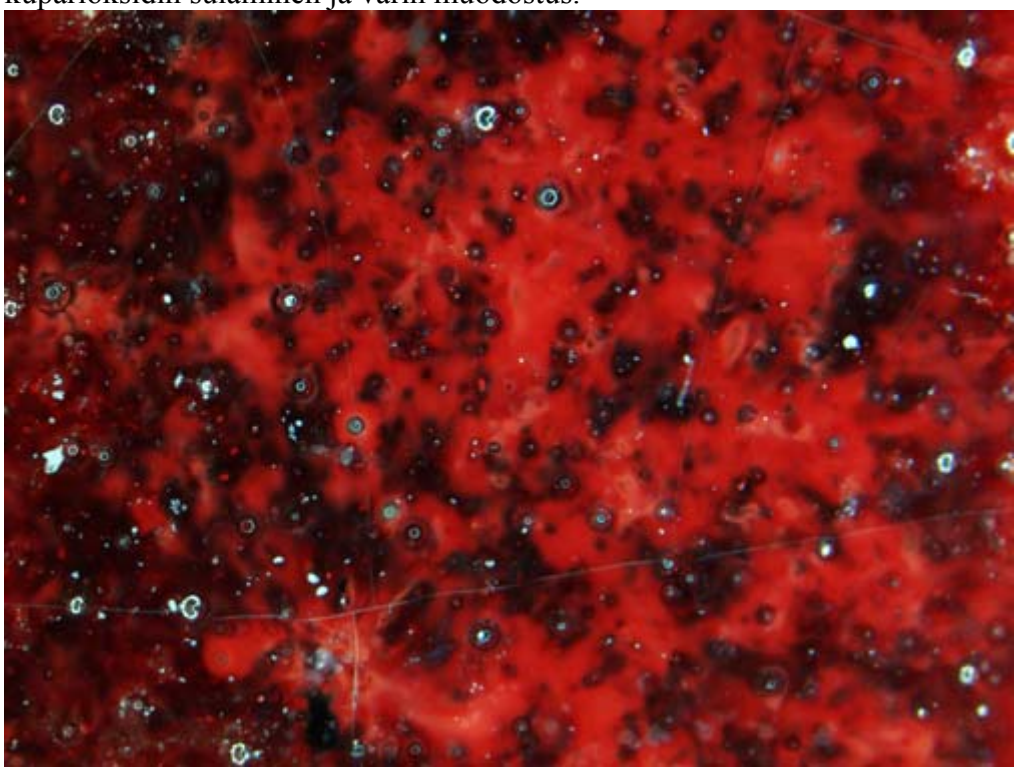
A Tinaoksidi (SnO_2) 2%, kuparioksidi (CuO) 0,5%

B Tinaoksidi (SnO_2) 2%, kuparioksidi (CuO) 1,5%

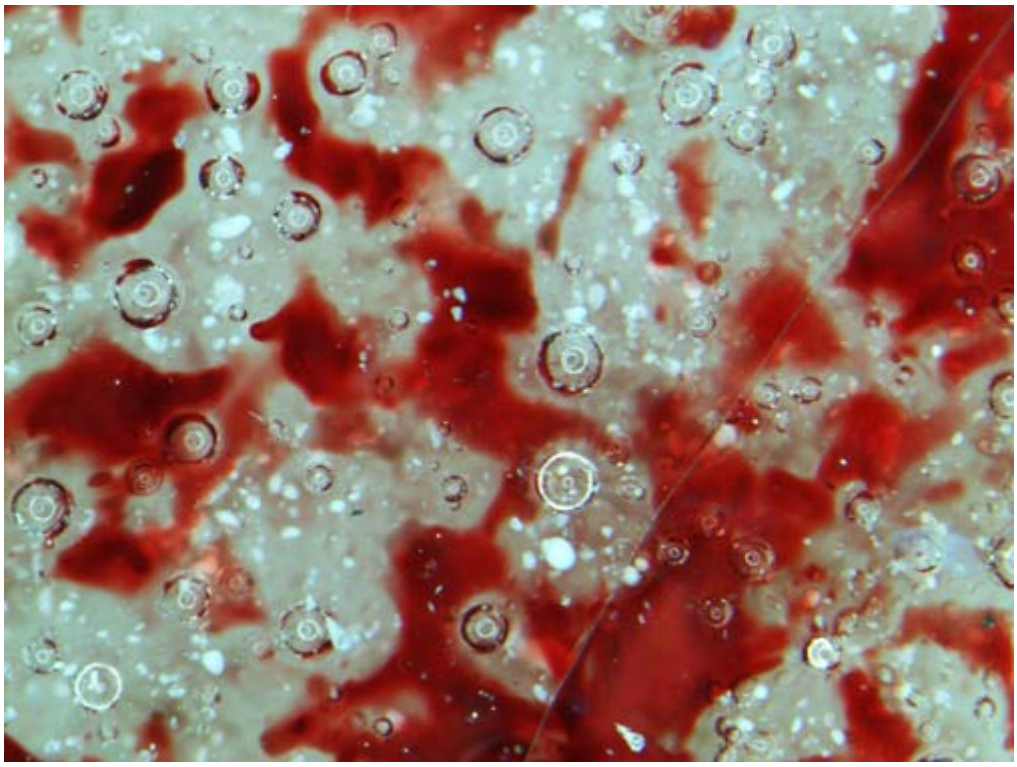
CAH23A ja CAH23B poltto kaasu-uuni 1260°C

CAH23A ja alla CAH23B poltto kaasu-uuni 1260°C. Kaksi lasitetta päällekkäin.

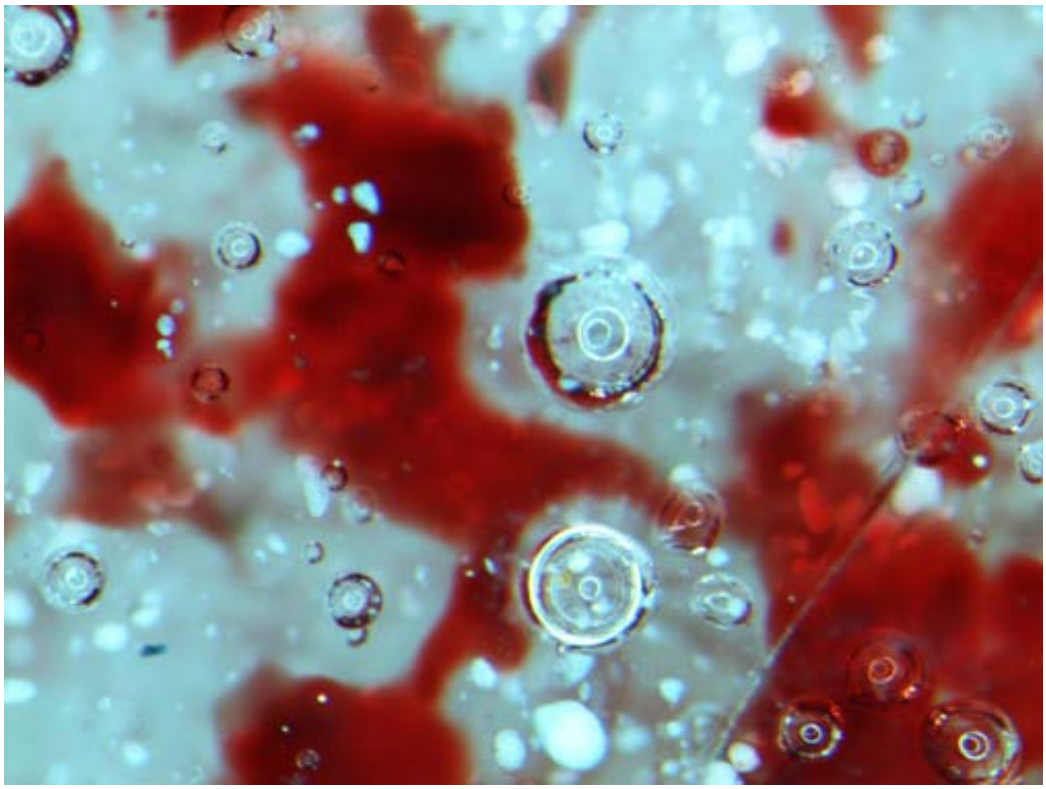
Useita mikroskooppikuvia lasitteesta CAH23A ja B yhdessä. Kuvista näkyy kuparioksidin sulaminen ja värin muodostus.



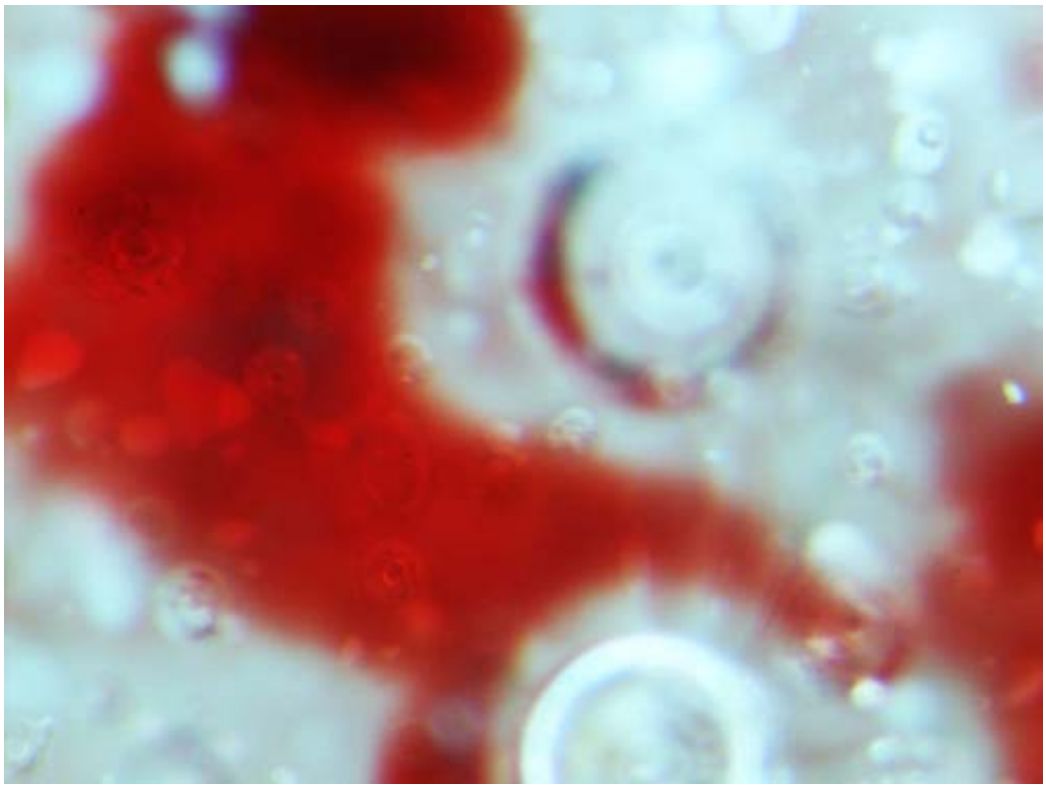
CAH23A ja 23B suurennus 11.2 kertaa.



CAH23A ja CAH23B suurennus 25.6 kertaa. Pinnassa suuret kuplat ja massan rajassa pienet.



CAH23A ja 23B suurennus 51 kertaa



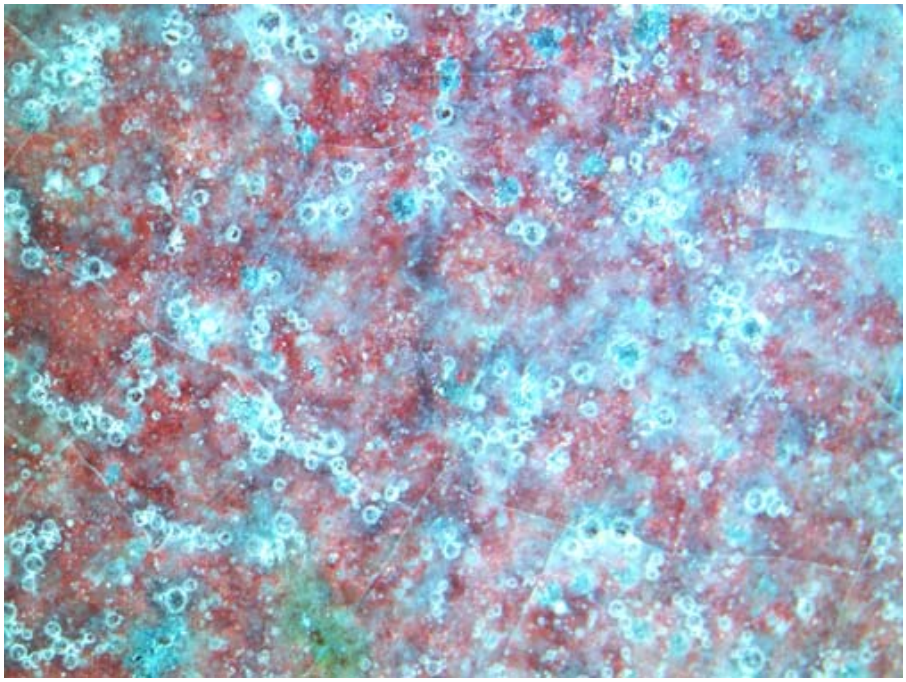
CAH23A ja 23B suurennus 100 kertaa.

Lasite CAH24

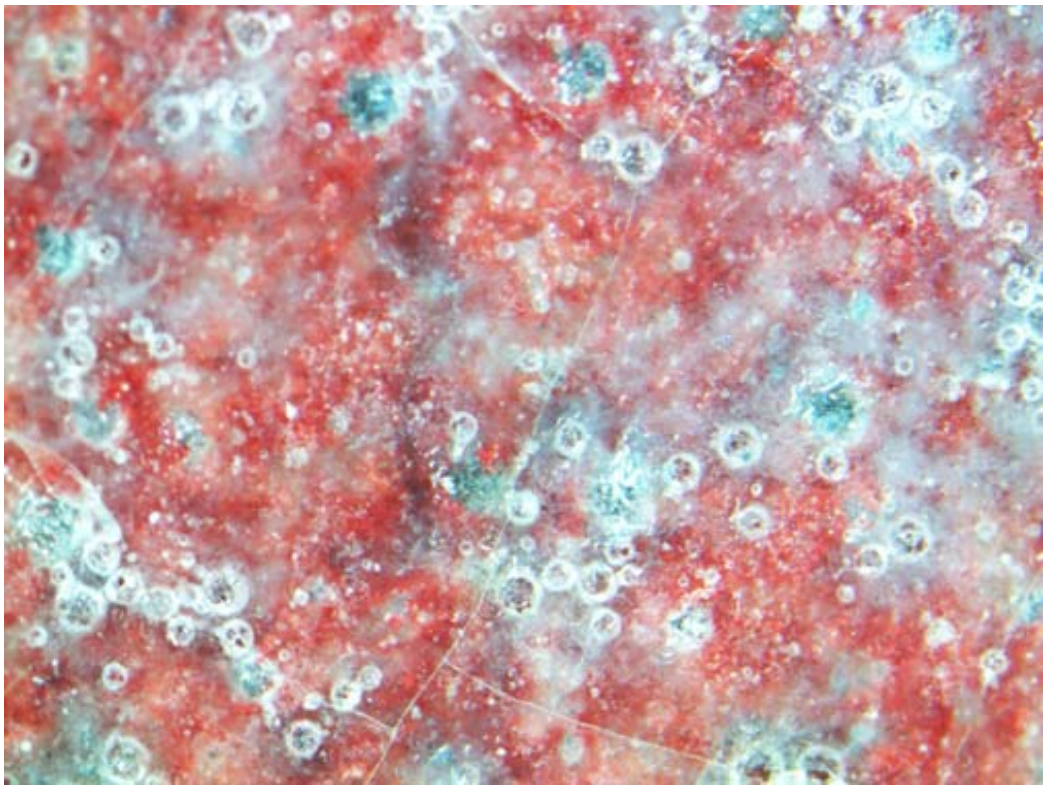
Raaka-aine CAH	**24**
Maasälpä FFF, Feldspar FFF	58
Kvartsi FFQ, Quartz FFQ	5
Mäntytuhka, Pine wood ash	3
Natriumkarbonaatti, Soda ash	18
Liitu, Whiting	16

Lisätään lasitteeseen
A Tinaoksidi (SnO_2) 2%, kuparioksidi (CuO) 0,5%
B Tinaoksidi (SnO_2) 2%, kuparioksidi (CuO) 1,5%

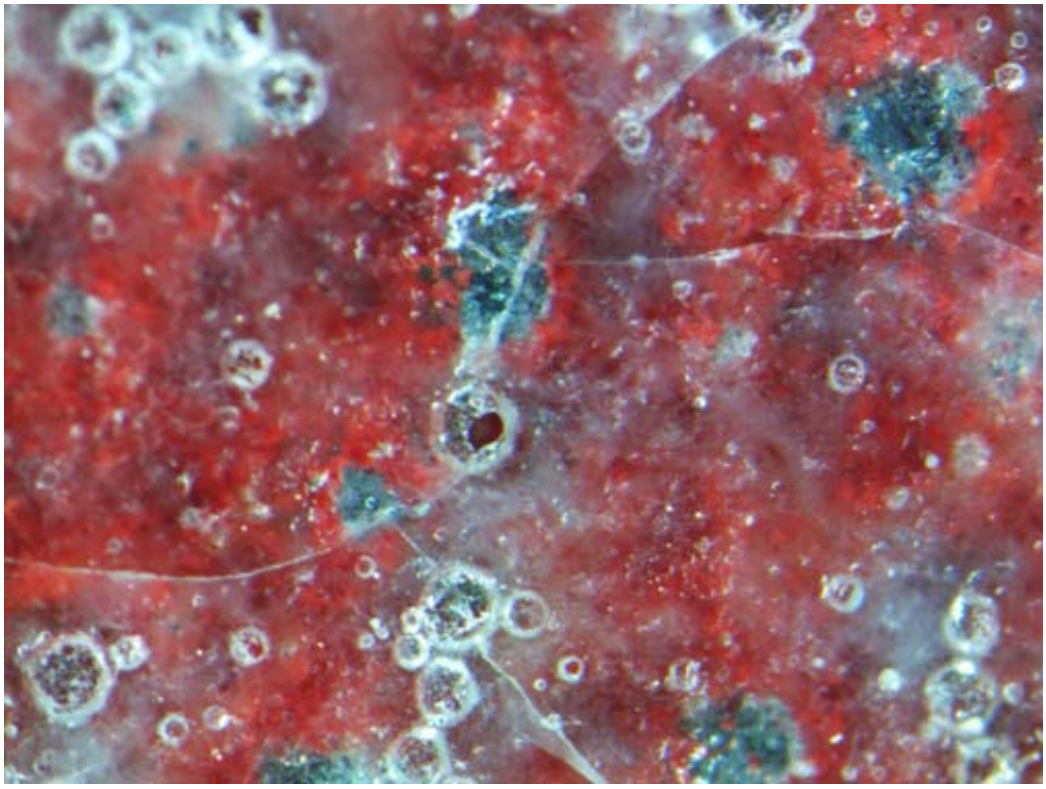
Lasitteet CAH24A ja CAH24B poltto kaasu-uuni 1260°C



CAH24B suurennus11.2 kertaa.



CAH24B suurennus 20 kertaa.



CAH24B suurennus 40 kertaa.

Chun lasitteen päälle on vadeissa maalattu tuhkalla, jonka sisältämä kalsiumfosfaatti pelkistyy sinertäväksi. Himmeän chun lasitteen päällä punainen väri on pelkistynyt kuparioksidi, jota on päälle maalatussa lasitteessa. Esineet on poltettu kaasu-uunissa1260^{o}C. Hortling 1997.

CAH25-29 chun lasitteet ja poltetut näytteet

Lasitteissa CAH25-29 käytetään samoja raaka-aineita kuin edellä olevissa Chun lasitteissa, lisäksi testataan apatiittia Siilinjärven louhokselta. Apatiitti on kalsiumfosfaattimineraali, jonka sivukivenä tuotetaan flogopiittikiillettä (phlogopite mica). Koska apatiitti sisältää kalsiumfosfaattia, on tavoitteena tutkia sen vaikutusta tuhkan kanssa lasitteiden sulattajana eri puu-uunipoltoissa.

Taulukko 8: Lasitteet CAH25-29. (1250-1280°C)

Raaka-aine CAH	25	26	27	28	29
Maasälpä FFF, Feldspar FFF	53	64	56	56	58
Kvartsi FFQ, Quartz FFQ	15	10	-	10	10
Mäntytuhka, Pine wood ash	10	10	18	4	14
Apatiitti, Apatite	20	10	18	18	8
Liitu, Whiting	12	6	8	12	10

Lasitteeseen lisätään kuparioksidia (CuO) 0.5% ja tinaoksidia (SnO_2) 2% joiden avulla tutkitaan kuparin värin muutoksia ja reaktioita apatiitin ja mäntypuutuhkan kanssa. Lasitteet testataan punasaviengobien CE1 ja CE2 päällä.

Engobe
Lasitenäytteissä CAH25-29 testataan lasitteen alla kahta eri rautaoksidipitoista engobea ohuena kerroksena, jossa suomalainen savi on käytetty 80% poltettuna (kalsinoitu) pulverina (600°C). Toiseen punasaviengobeen lisätään dolomiittia ja toiseen flogopiittikiillettä, joka on apatiittilouhoksen sivukivi. Dolomiitti edistää sulamista enemmän kuin liitu. Flogopiittikiille sisältää rautaoksidia ja lisää tummuutta punasaven kanssa. Engobea värjätään kuparioksidilla, jota lisätään 1%. Kuparioksidi muuttuu punertavaksi pelkistyspoltossa. Kuparin pelkistyminen on riippuvainen sulamisherkkyydestä.

Taulukko 9: Engobet CE1 ja CE2

Raaka-aine	CE1	CE2
Poltettu punasavi, Calcined FinishEarthenware 1)	80	80
Dolomiitti, Dolomite 2))	20	-
Flogobiitti, Phlogopite 3)	-	20
Värjäys		
Kuparioksidi (CuO)	1	1

1) Kultela, Somero (Kultelan Tiili- ja putki OY)
2) Paltamo, (Juuan dolomiittikalkki OY)
3) Flogobiitti (Fosfaattiteollisuus, Siilinjärvi)

Someron punasavi
Savesta poltettu gradientti (max. lämpötila 1100°C) osoittaa, että tiilenpunainen väri kehittyy punaisimmilleen 1020°C:n lämpötilaan poltettuna. Saven väri tummuu ja menettää muodon poltettaessa yli 1075°C. Polttokutistuma on 13-15 %:n välillä värin ollessa punaisimmillaan. Kultelan tiilitehtaan savikuopan esiintymästä on teetetty analyysi TKK:llä 1990.

Kemiallinen analyysi*

SiO_2	50,0%
Al_2O_3	17,1%
Fe_2O_3	9,0%
CaO	1,5%
MgO	3,3%
K_2O	4,2%
Na_2O	2,0%
C	3,7%
Polttohäviö	9,2%

* Näytteestä ei ole analysoitu titaanidioksidia.

Apatiitti (Apatite)
Apatiittin analyysiä on verrattu luutuhkan analyysin kanssa, molemmat sisältävät kalsiumfosfaattia. Apatiitti on mineraali ja luutuhka poltettua, jauhettua luuta.

Apatiitin (apatite) ja luutuhkan (bone ash) analyysien vertailu (paino-%)

Oksidi	Apatiitti	Luutuhka
	(Fluoriapatiitti)	
SiO_2	0.06	1.80
Al_2O_3 ja Fe_2O_3	0.72	1.30
CaO	55.70	53.30
MgO	0.20	0.30
Na_2O ja K_2O	0.80	0.64
H_2O	0.28	-
F	3.10	3.20
P_2O_5	39.24	40.14
	100.10	100.62

Flogopiittikiille (Phlogopite mica)

Flogopiitti esiintyy apatiitin sivukivenä, 60% Siilinjärven kaivauksella. Apatiitin osuus louhitusta kivestä on n. 10%. Kiilteitä on yhdeksän eri lajia, joista neljä tunnetuinta on: muskoviitti, biotiitti, flogopiitti ja lepidoliitti. Kaikki edellä mainitut kiilteet ovat yleisiä myös Suomessa. Keramiikassa biotiittia esiintyy punasavessa ja lepidoliitti on litiumkarbonaatin valmistusaine, jota käytetään myös raaka-aineena litiumoksidin tuottamiseen lasitteessa. Flogopiittikiille (Phlogopite mica CAS registry number 110710-26-4).

Flogopiittikiilteen mineraalikaava: $K_2(Mg,Fe^{2+})_6\ (Si_6Al_2O_{20})\ (OH,F)_4$

Flogopiitin empiirinen kaava on

K_2O	0.133				
MgO	0.738	Al_2O_3	0.117	SiO_2	0.819
FeO	0.035				
Fe_2O_3	0.035				

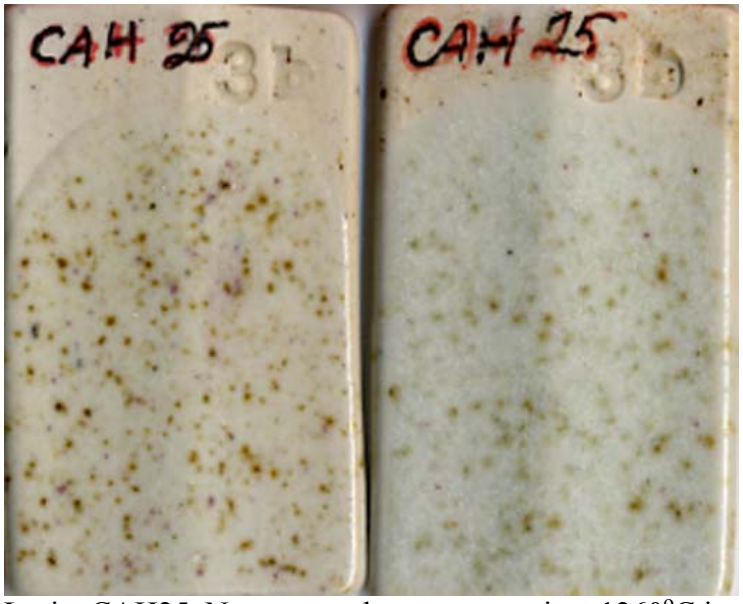
Flogopiitin analyysistä on laskettu teoreettinen moolikaava ja siitä muunnettu empiirinen kaava, jota voidaan käyttää Insight laskentaohjelmassa.

Näytteiden polttaminen

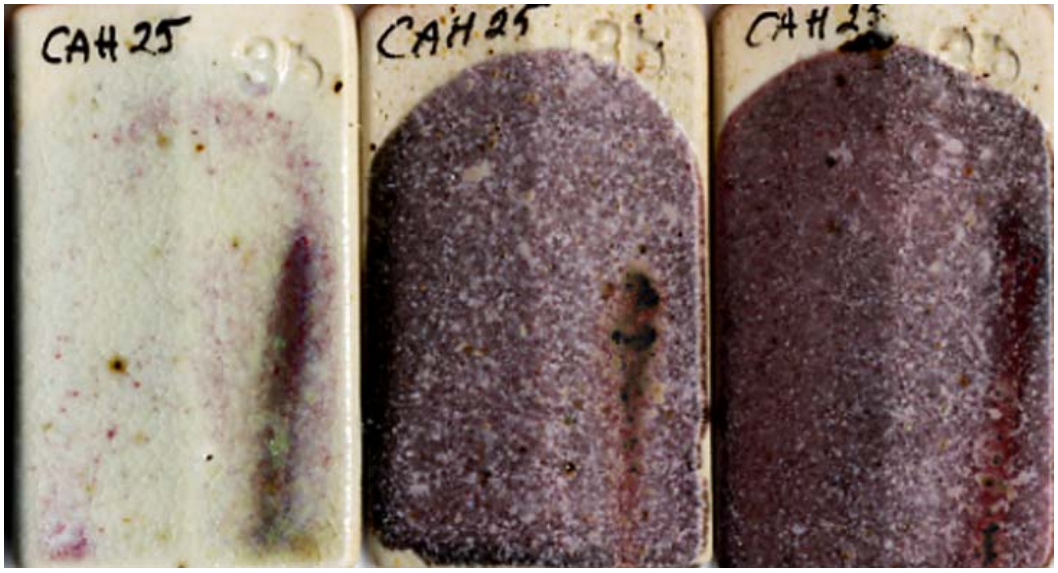
Näytteet poltetaan puu-uunissa, jossa ne sijoitetaan eri puolille uunia, ja siitä syystä poltetut tulokset vaihtelevat sekä ulkonäön että sulamisen mukaan. Puu-uunin pelkistävässä atmosfäärissä poltettaessa lasitteita, jotka koostuvat puhdistamattomista (jalostamattomista) luonnon mineraaleista syntyy herkästi useita erilaisia muunnoksia, eri värejä ja eritavoin sulaneita pintoja. Siitä syystä yhtä lasitetta on poltettu eri puolilla puu-uunia lämpötilan vaihdellessa. Näytteissä käytettyihin raaka-aineisiin sisältyy rautaoksidia, jonka vaikutuksesta sulassa lasissa kehittyy pelkistyksessä vaalean sinertäviä pintoja. Ne ovat värisävyinä tyypillisiä itämaisille chun lasitteille. Engobeissa oleva 1% kuparioksidia näkyy muutamissa lasitteiden polttotuloksissa syvän tumman punaisena, jota keramiikan itämaisen taiteen asiantuntijat kutsuvat chun lasitteissa aubergiinin (munakoison) violetiksi.

Lasite CAH25

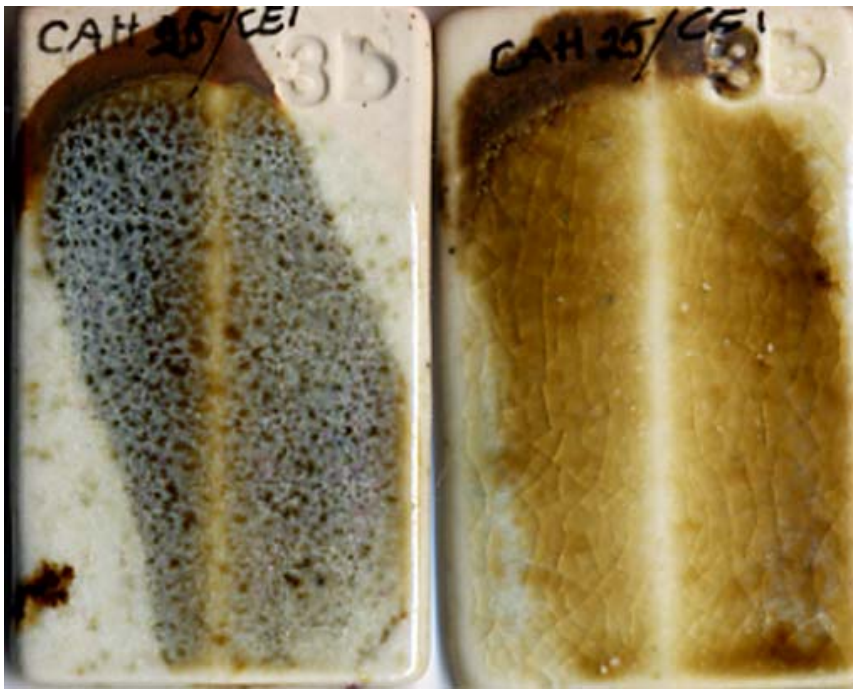
Raaka-aine CAH	**25**
Maasälpä FFF, Feldspar FFF	53
Kvartsi FFQ, Quartz FFQ	15
Mäntytuhka, Pine wood ash	10
Apatiitti, Apatite	20
Liitu, Whiting	12



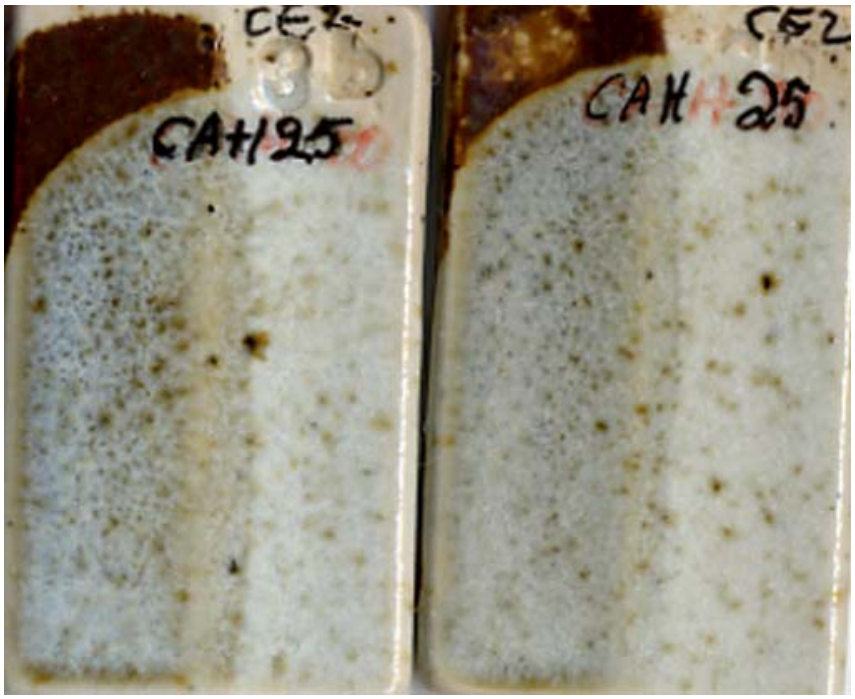
Lasite CAH25. Näyte on poltettu puu-uunissa 1260°C jossa leijunut tuhka näkyy massan päällä. Oikeanpuoleinen on pelkistynyt sinertävän vihreäksi. Pilkut syntyvät lasitteen päälle sekä mäntytuhkasta että polton lentotuhkasta



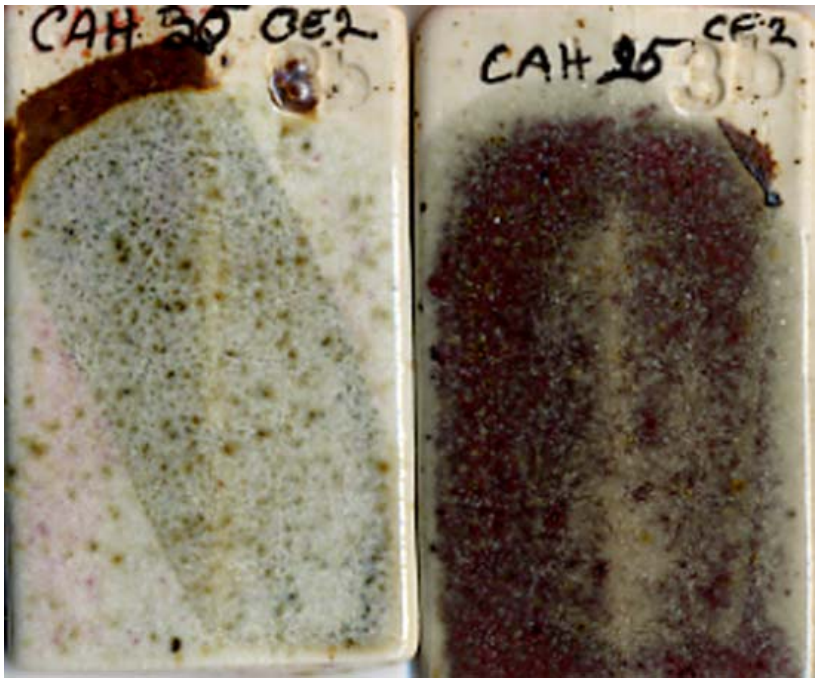
Lasitteeseen CAH25 lisätään kuparioksidia (CuO) 0.5% ja tinaoksidia (SnO_2) 2% Ensimmäisestä näytteestä kuparioksidin väri on palanut puu-uunissa pois, vaalea. Seuraavat näytteet ovat olleet matalammassa lämpötilassa samassa poltossa. Kuparioksidiviiru oikealla puolella.



Lasitteen CAH25 alla on CE1 engobe, joka sisältää punasavea ja dolomiittia. Polttolämpötilassa 1250°C (vasen) engoben vaikutuksesta syntyy sinertävä kuvio.



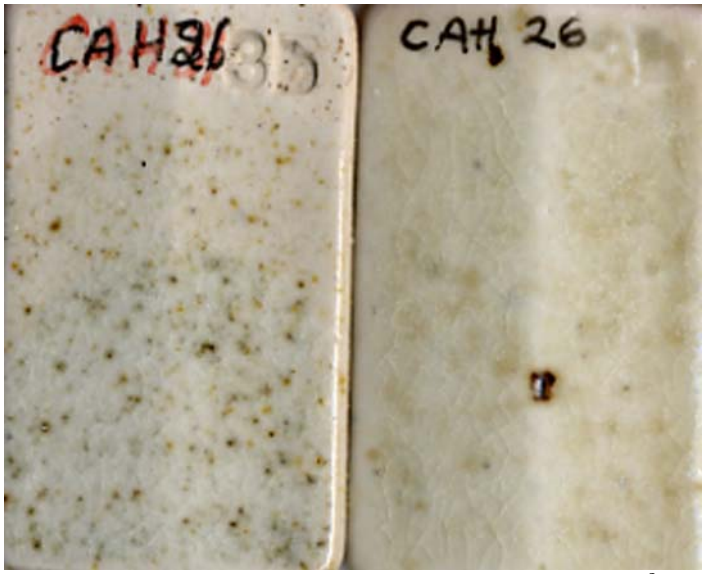
Lasitteen CAH25 alla on CE2 engobe, joka sisältää punasavea ja flogopiittikiillettä (flogopite mica). Rautaoksidi ja sulatteet lisääntyvät lasitteen alla. Lasite sinertyy engoben päällä 1250-1260°C



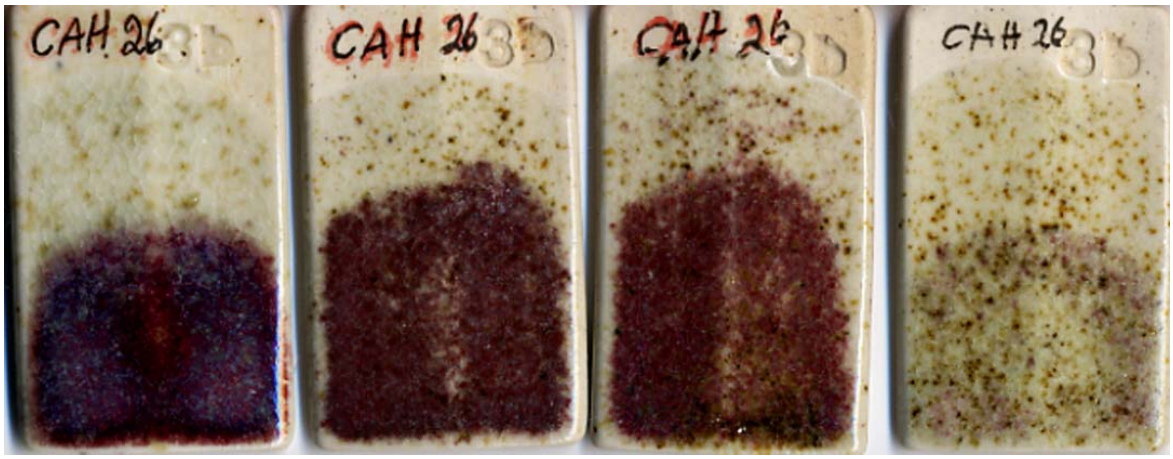
Lasitteeseen CAH25 on lisätty kuparioksidia (CuO) 0.5% ja tinaoksidia (SnO_2) 2%, alla on CE2 engobe. CuO palaa pois vasemman puoleisessa näytteessä.

Lasite CAH26

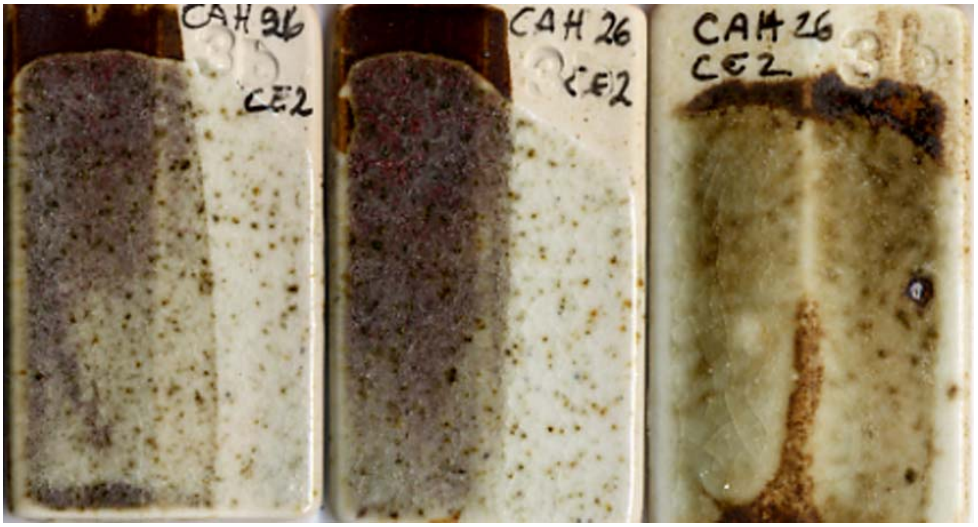
Raaka-aine CAH	**26**
Maasälpä FFF, Feldspar FFF	64
Kvartsi FFQ, Quartz FFQ	10
Mäntytuhka, Pine wood ash	10
Apatiitti, Apatite	10
Liitu, Whiting	6



Lasite CAH26 on poltettu puu-uunissa 1250-1260°C. Pilkut syntyvät mäntytuhkasta ja puu-uunin liekkien tuhkasta. Oikean puoleinen lasite sulaa enemmän ja pilkut sulavat vaaleiksi.



Lasitteeseen CAH26 lisätään kuparioksidia (CuO) 0.5% ja tinaoksidia (SnO_2) 2%. Puupoltto 1250-1260°C. Vasen näyte, sinipunainen, on ollut kuumemmassa paikassa uunissa kuin keskimmäiset.

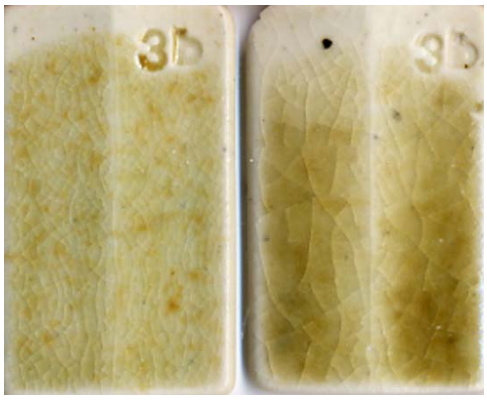


Lasitenäytteet CAH26, joissa on engobe CE2 alla, puu-uunipoltto1250-1280°C. Oikean puoleinen näyte on sulanut liikaa. Vasemman puoleiset näytteet ovat värjäytyneet punertaviksi.

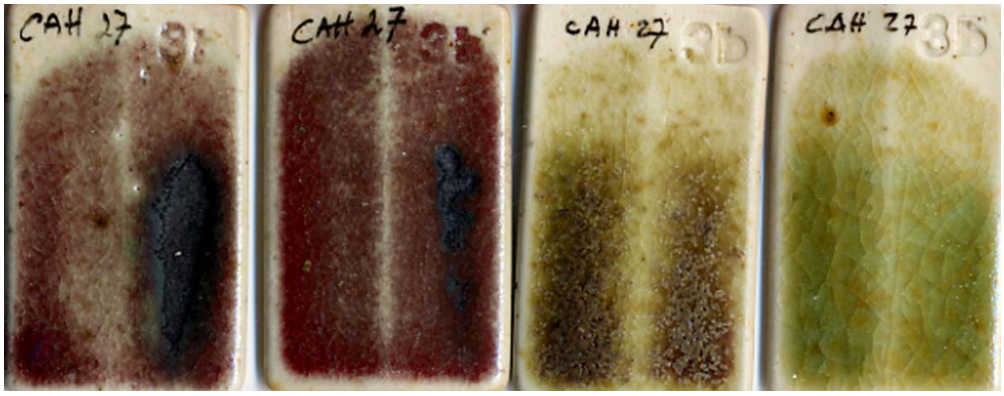
Lasite CAH27

Raaka-aine CAH	**27**
Maasälpä FFF, Feldspar FFF	56
Mäntytuhka, Pine wood ash	18
Apatiitti, Apatite	18
Liitu, Whiting	8

Lasitteessa ei ole kvartsia. Piidioksidi saadaan maasälvästä ja tuhkasta. Lasitteen värit vaihtelevat puu-uunissa olleen polttopaikan lämpötilan mukaan.



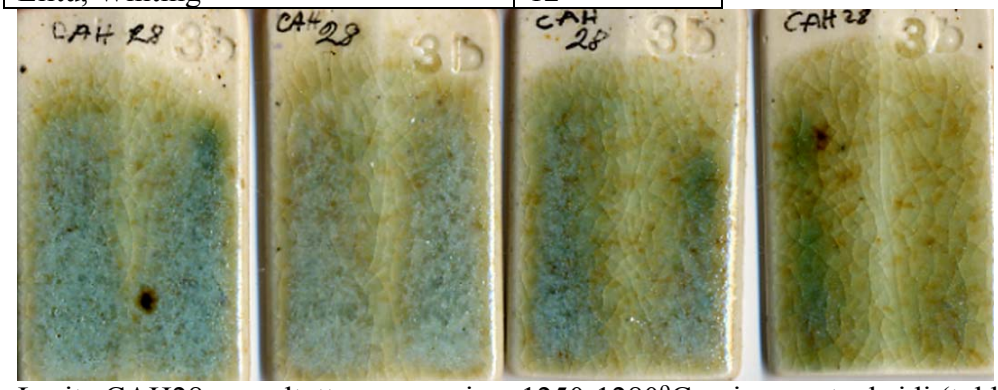
Lasite CAH27 on pelkistynyt tuhkan värjäämänä keltavihreäksi (celadon) puu-uuni 1250-1280°C.



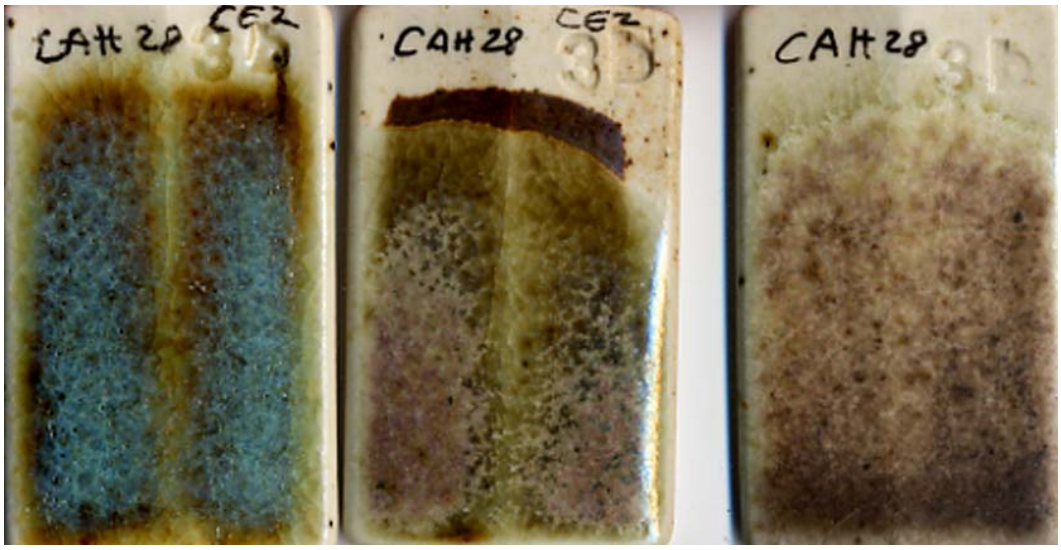
Lasitteeseen CAH27 lisätään kuparioksidia (CuO) 0.5% ja tinaoksidia (SnO_2) 1%. Puu-uuni poltossa 1250-1280°C, kuparioksidi kaasuuntuu pois lasitteen lämpötilan kohotessa.

Lasite CAH28

Raaka-aine CAH	**28**
Maasälpä FFF, Feldspar FFF	56
Kvartsi FFQ, Quartz FFQ	10
Mäntytuhka, Pine wood ash	4
Apatiitti, Apatite	18
Liitu, Whiting	12



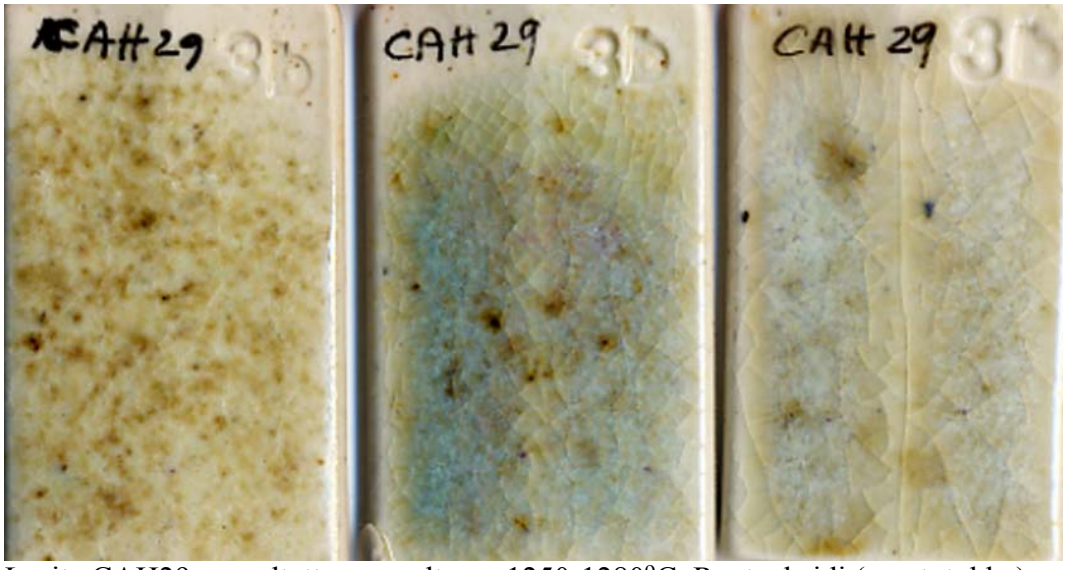
Lasite CAH28 on poltettu puu-uunissa 1250-1280°C, missä rautaoksidi (tuhka) pelkistyy sinertäväksi. Matalammassa lämpötilassa sinisyys on voimakkaampi (vasen) kuin korkeassa (oikea puoli)



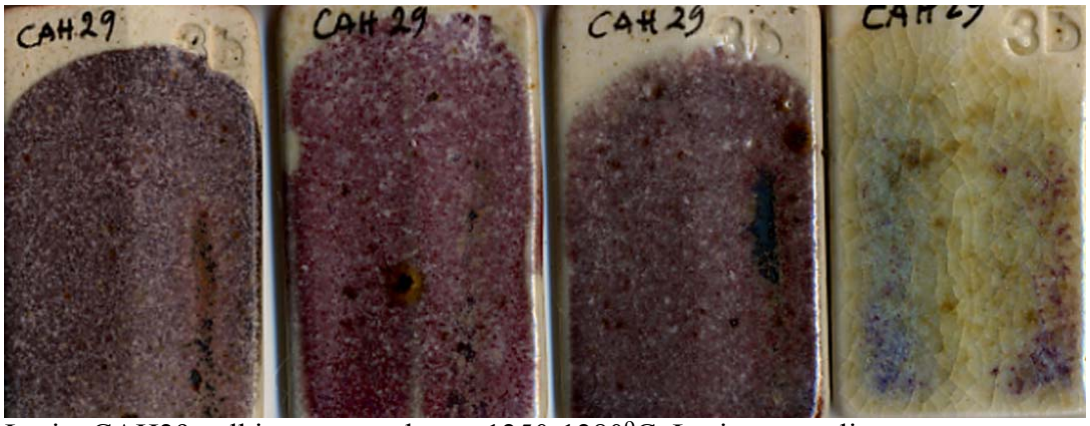
Lasite CAH28 on engobe CE2 päällä, oikeanpuoleiset näytteet. Engoben päällä lasite kuvioituu (muodostuu kiteitä) ja väri muuttuu. Puu-uunipoltto 1250°C. Kuparioksidi värjäytyy kaikissa lasitteissa eri tavoin.

Lasite CAH29

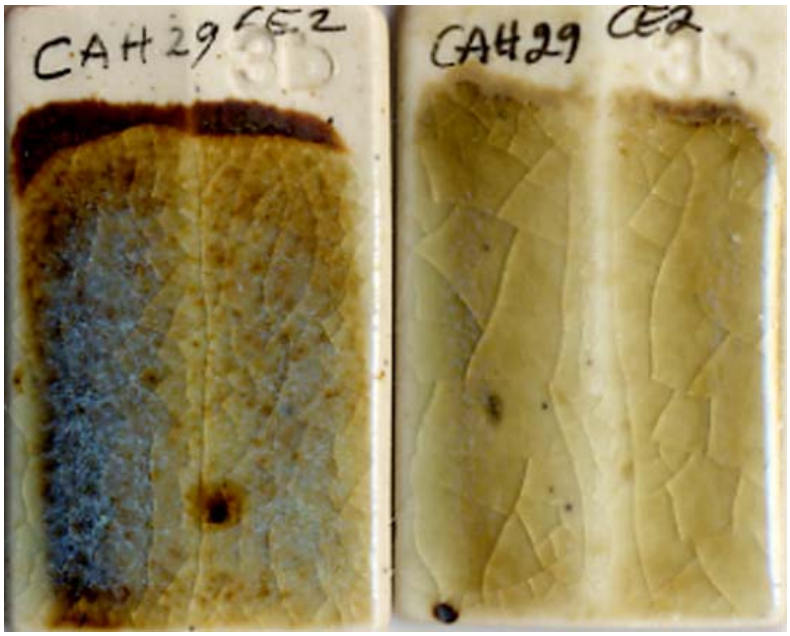
Raaka-aine CAH	**29**
Maasälpä FFF, Feldspar FFF	58
Kvartsi FFQ, Quartz FFQ	10
Mäntytuhka, Pine wood ash	14
Apatiitti, Apatite	8
Liitu, Whiting	10



Lasite CAH29 on poltettu puupoltossa 1250-1280°C. Rautaoksidi (mäntytuhka) värjäytyy sinertäväksi (chun väri) kun lasite sulaa hyvin. Vasemman puoleinen näyte on ollut uunin kylmässä kohdassa ja on himmeä.



Lasite CAH29 pelkistyy puupoltossa 1250-1280°C. Lasitteeseen lisätään kuparioksidia (CuO) 0.5% ja tinaoksidia (SnO_2) 2%. Lasitteen oikeanpuoleinen näyte ollut kuumimmassa lämpötilassa, väri palaa pois mutta myös tuhkan sisältämä rautaoksidi sinertyy.



Lasitteen CAH29 alla on CE2 engobe. Näyte on poltettu puu-uunissa 1250-1280°C. Rautaoksidi muuntuu sinertäväksi sulassa lasissa tai sulaa lasiin, oikean puoleinen näyte.

CAH30-31 chun lasitteet ja poltetut näytteet

Näytteiden suunnittelussa tavoitteena on edelleen testata mäntytuhkan ja vuolukiven sisältämän rautaoksidin vaikutusta lasitteen väriin. Lisäämällä lasitteeseen kuparioksidia (CuO) 0.5% ja tinaoksidia (SnO_2) 2% tutkitaan kuparin värin muutoksia ja reaktioita apatiitin, wollastoniitin ja vuolukiven kanssa. Lasitteet testataan engobien päällä. Engobit on selitetty lasitteiden CAH25-29 alussa.

Taulukko 10: Chun CAH30 ja CAH31 (125-1280°C)

Raaka-aine CAH	**30**	**31**
Maasälpä FFF, Feldspar FFF	58.5	55
Lyijysulate Bisilicate P2950 1)	13.5	10
Kvartsi FFQ, Quartz FFQ	12	10
Mäntytuhka, Pine wood ash	-	10
Apatiitti, Apatite	3	10
Wollastoniitti, Wollastonite FFW	7	10
Vuolukivi, Soapstone	4	-

1) Potterycrafts Ltd 1993

Lasitteissa on poikkeuksellisesti käytetty lyijysulatetta (P2950, Potterycraft Ltd), joka reagoi hyvin matalissa lämpötiloissa (1000-1100°C). Tavoitteena on tutkia lisääkö lyijy-yhdisteen käyttö yhdessä muiden raaka-aineiden kanssa niiden reagointia lasitteen sulamisen alkuvaiheessa eri poltto-olosuhteissa. Korkeissa lämpötiloissa lyijy haihtuu pois ja sillä ei ole mitään sulattavaa vaikutusta. Näytteet on poltettu puu-uunissa, jossa ne on sijoitettu eri puolille uunia, ja siitä syystä poltetut tulokset vaihtelevat sekä ulkonäön että sulamisen mukaan.

Vuolukivi (Soapstone, North Carelian)

Vuolukivijauheen käyttöä CAH lasitteiden raaka-aineena ei ole aikaisemmin testattu. Vuolukiveä tai sen tapaista soapstone- raaka-ainetta on sovellettu posliinimassoihin ja lasitteisiin raaka-aineena Euroopassa 1800-luvulla.

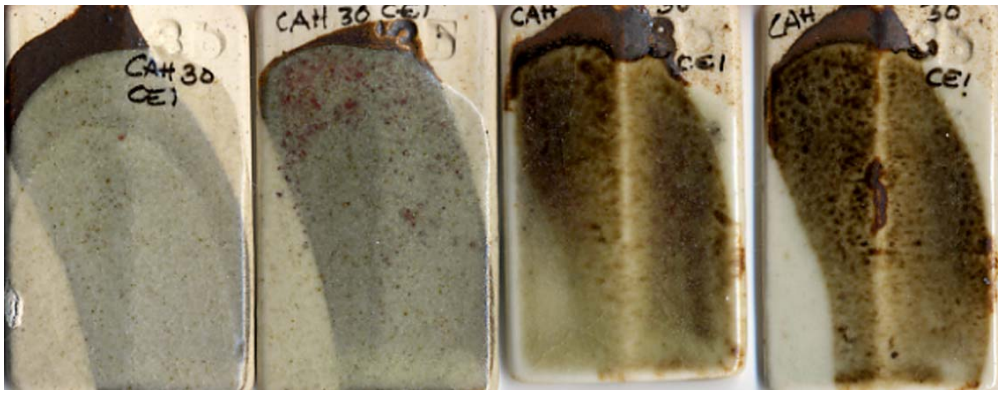
Nunnanlahden vuolukiven (soapstone) kemiallisen koostumuksen vaihtelurajat

Oksidi paino-%	Minimi	Maksimi
SiO_2	30	33
MgO	27	32
FeO, Fe_2O_3	8	10
CaO	1	2
Al_2O_3	1	2
H_2O	2	3
CO_2	20	21

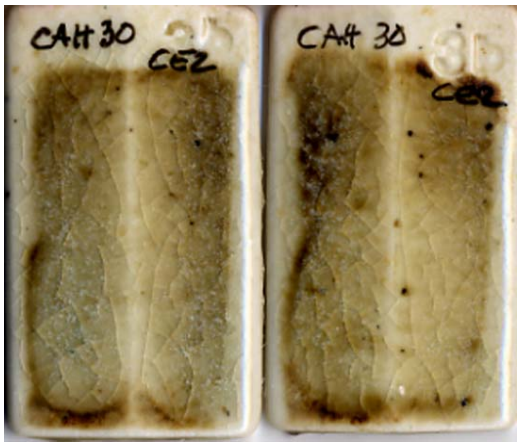
Empiirisen kaavan laskemista varten on käytetty vuolukivianalyysien vaihteluiden rajojen mukaan laskettua keskiarvoanalyysia.

Lasite CAH30

Raaka-aine CAH	**30**
Maasälpä FFF, Feldspar FFF	58.5
Lyijysulate Bisilicate P2950	13.5
Kvartsi FFQ, Quartz FFQ	12
Apatiitti, Apatite	3
Wollastoniitti, Wollastonite FFW	7
Vuolukivi, Soapstone	4



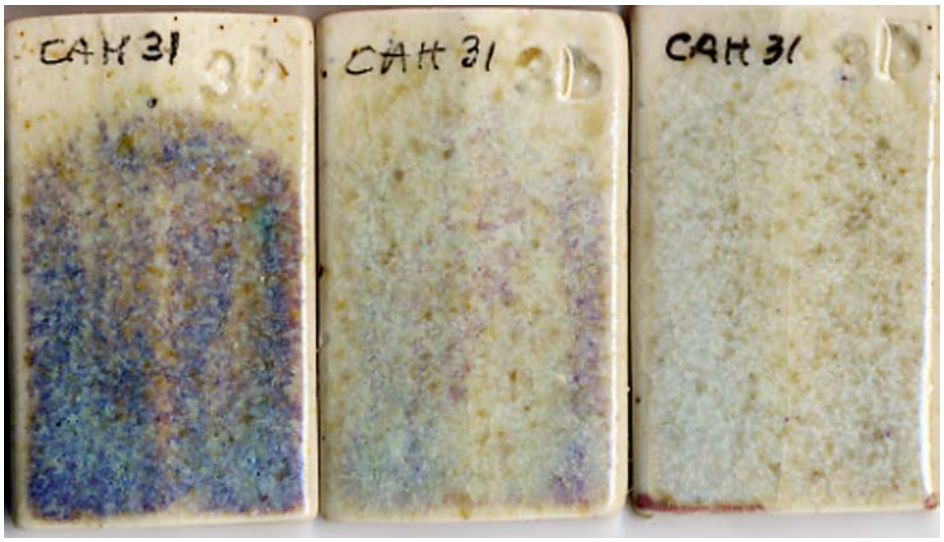
Lasitteen CAH30 alla on CE1 engobe. Näyte on poltettu puu-uunissa 1250-1260°C. Vasen näyte on ollut 1240°C, uunin kylmimmässä paikassa.



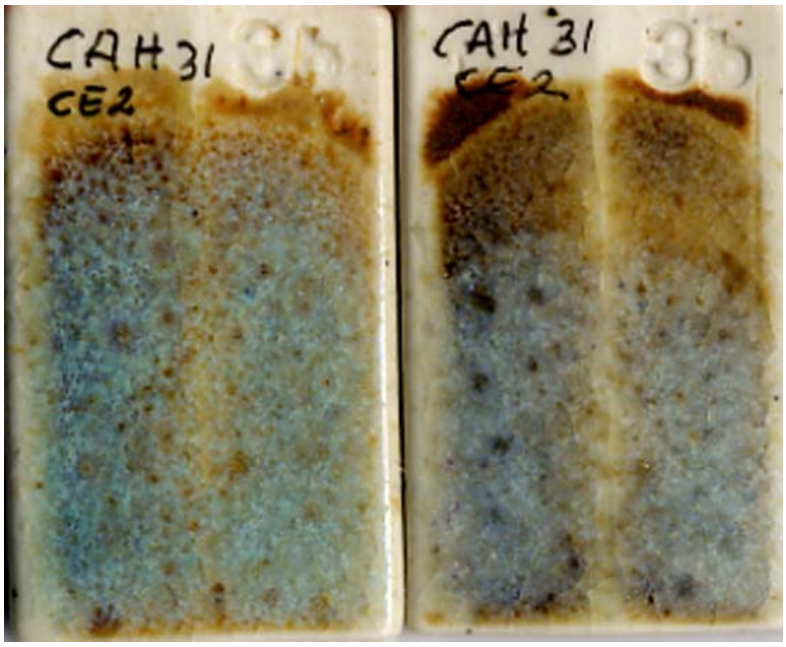
Lasitteen CAH30 alla on CE2 engobe, joka sisältää flogopiittikiillettä. Näyte on poltettu puu-uunissa 1256°C.

Lasite CAH31

Raaka-aine CAH	**31**
Maasälpä FFF, Feldspar FFF	55
Lyijysulate Bisilicate P2950	10
Kvartsi FFQ, Quartz FFQ	10
Mäntytuhka, Pine wood ash	10
Apatiitti, Apatite	10
Wollastoniitti, Wollastonite FFW	5



Lasite CAH31 on poltettu puu-uunissa 1250°C. Lasitteeseen lisätään kuparioksidia (CuO) 0.5%, väri on sinivioletti, joka kiinalaisen chun lasitteen värinä on violetti aubergiinin (munakoison) väri. Muista näytteistä väri on palanut pois.



Lasite CAH31 on engoben CE2 päällä ja lasitteeseen on lisätty kuparioksidia (CuO) 0.5%. Poltettu puu-uunissa 1250-1280°C, jolloin lasite sulaa ja syntyy siniturkooseja chun lasitteiden sävyjä. Lasitteen värit syntyvät paksussa lasitekerroksessa, jolloin rautaoksidia (mäntytuhka ja engobe) on suhteessa vähemmän sulassa lasiaineessa kuin ohuessa lasite pinnassa. Ohuemmat kerrokset jäävät ruskean sävyisiksi.

CAH32-35 chun lasitteet ja poltetut näytteet

Lasitteissa jatketaan lyijysulatteen (P2950, Potterycraft Ltd) vaikutuksen testaamista, joka reagoi matalissa lämpötiloissa (1000-1100°C). Tavoitteena on tutkia aktivoiko lyijy-yhdisteen käyttö muiden raaka-aineiden reagointia lasitteen sulamisen alkuvaiheessa eri poltto-olosuhteissa. Korkeissa lämpötiloissa lyijy haihtuu pois ja sillä ei ole haitallista eikä sulattavaa vaikutusta, ainoastaan lyijy-yhdisteet saastuttavat ilmaa häviävinä polttokaasuina. Poltettujen näytteiden perusteella voidaan todeta että sinertävissä chun lasitteissa ei lyijy-yhdisteiden käyttö edistä värin muodostusta, ehkä päinvastoin.

Näytteiden suunnittelussa tavoitteena on edelleen testata mäntytuhkan ja vuolukiven sisältämän rautaoksidin vaikutusta lasitteen väriin. Lisäämällä lasitteeseen kuparioksidia (CuO) 0.5% ja tinaoksidia (SnO_2) 2% tutkitaan kuparin värin muutoksia ja reaktioita apatiitin, wollastoniitin ja vuolukiven kanssa. Lasitteet testataan engobien päällä. Engobit on selitetty lasitteiden CAH25-29 alussa

Taulukko 11: Chun lasitteet CAH32-35 (1250-1300°C)

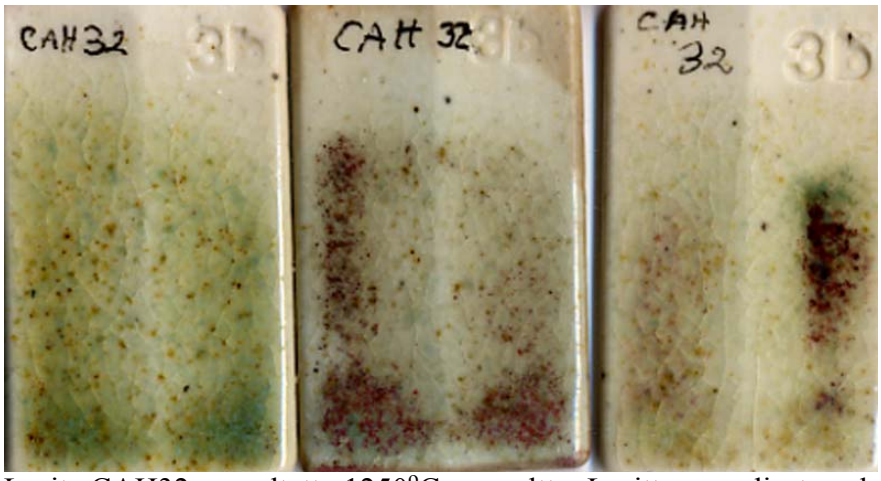
Raaka-aine CAH	**32**	**33**	**34**	**35**
Maasälpä FFF, Feldspar FFF	50	50	50	50
Lyijysulate Bisilicate P2950	10	10	10	-
Kvartsi FFQ, Quartz FFQ	10	10	10	10
Mäntytuhka, Pine wood ash	10	10	10	10
Apatiitti, Apatite	10	10	-	10
Wollastoniitti, Wollastonite FFW	-	10	10	10
Vuolukivi, Soapstone	10	-	10	10

Lasitteen alla testataan ohuena kerroksena rautaoksidipitoista engobea, joka sisältää suomalaista savea 80% poltettuna. CE1 engobe sisältää Paltamon dolomiittia 20% ja 1% CuO. CE2 engobessa testataan flogopiittikiillettä sulattajana 20% ja 1% CuO.

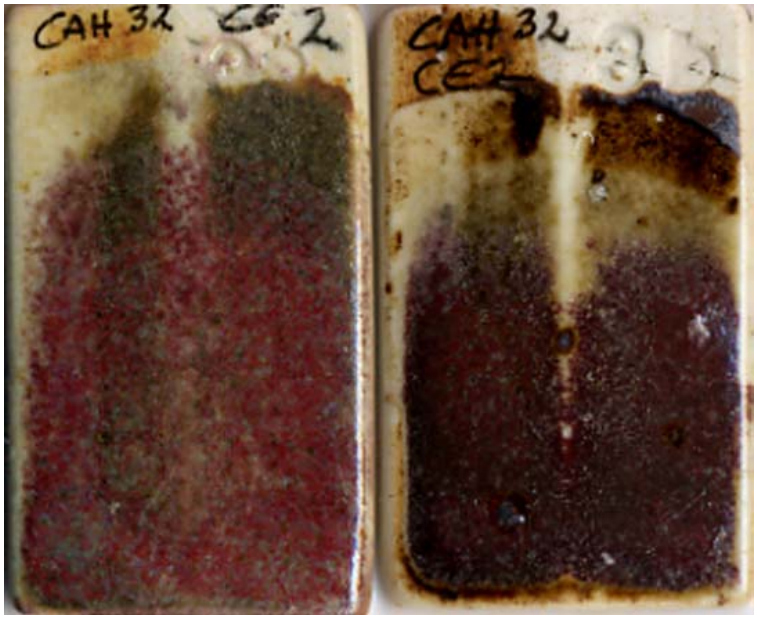
Näytteet on poltettu puu-uunissa, jossa ne on sijoitettu eri puolille uunia. Siitä syystä poltetut näytteet ovat sulaneet eri tavoin ja kuparioksidin pelkistynyt väri on palanut pois joissakin tapauksissa. Näytteissä käytettyihin raaka-aineisiin sisältyy rautaoksidia ja näytteiden alle pantu punasaviengobe lisää ruskeaa tai ruskean keltaista vaikutusta. Liika suuri määrä rautaoksidia lasitteessa ei enää pelkisty vaalean sinertäväksi chun väriksi tai vihreäksi celadon- väriksi. Saman lasitteen poltettuja näytteitä esitetään useita, joista voi tulkita lasitteen muuntuvuutta, sulamisherkkyyttä ja viskositeetti. Puupolttouunin olosuhteissa lämpötila vaihtelee esineiden ladonnasta johtuen, miten liekit pääsevät kiertämään uunissa ja lasite pinnat pelkistymään ja jäähtymään.

Lasite CAH32

Raaka-aine CAH	**32**
Maasälpä FFF, Feldspar FFF	50
Lyijysulate Bisilicate P2950	10
Kvartsi FFQ, Quartz FFQ	10
Mäntytuhka, Pine wood ash	10
Apatiitti, Apatite	10
Vuolukivi, Soapstone	10



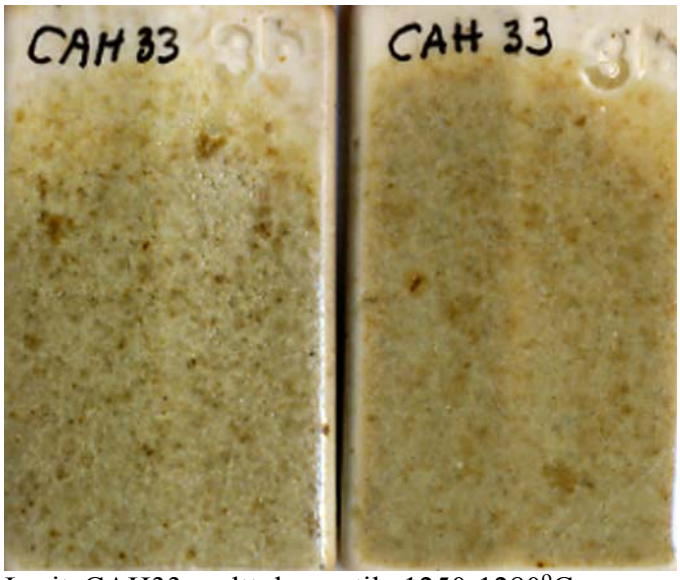
Lasite CAH32 on poltettu 1250°C puupoltto. Lasitteeseen lisätään kuparioksidia (CuO) 0.5% ja tinaoksidia (SnO_2) 2%. Punainen väri on palanut pois. Mäntytuhka jättää keltaisia ja ruskeita rautapilkkuja.



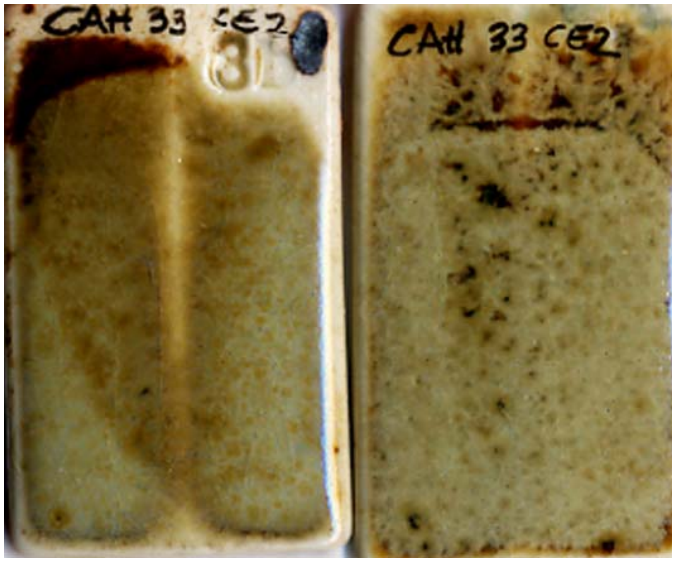
Lasitteen CAH32 alla on CE2 engobe, joka sisältää flogopiittikiillettä, puupoltto 1250°C. Lasitteeseen lisätään kuparioksidia (CuO) 0.5% ja tinaoksidia (SnO_2) 2%.

Lasite CAH33

Raaka-aine CAH	**33**
Maasälpä FFF, Feldspar FFF	50
Lyijysulate Bisilicate P2950	10
Kvartsi FFQ, Quartz FFQ	10
Mäntytuhka, Pine wood ash	10
Apatiitti, Apatite	10
Wollastoniitti, Wollastonite	10



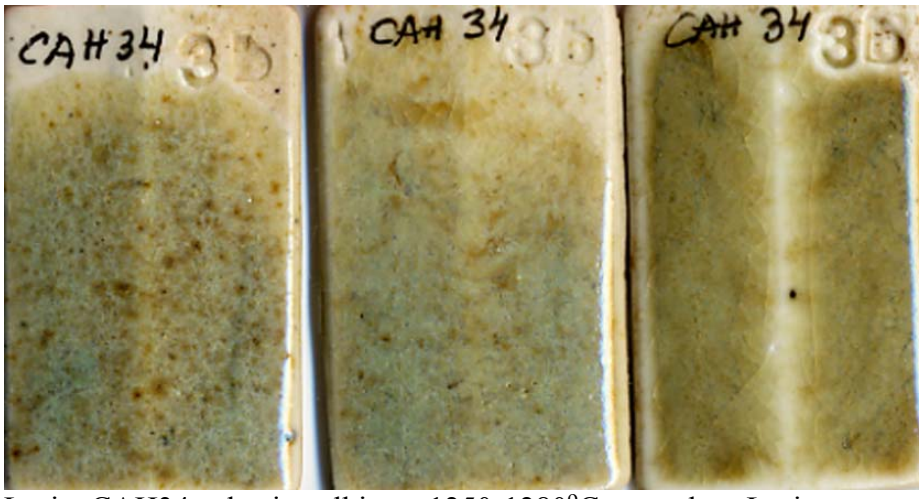
LasiteCAH33, polttolämpötila 1250-1280°C puu-uuni poltto. Lasite on himmeä, matta ja jäähtyessä jähmettyy paikalleen.



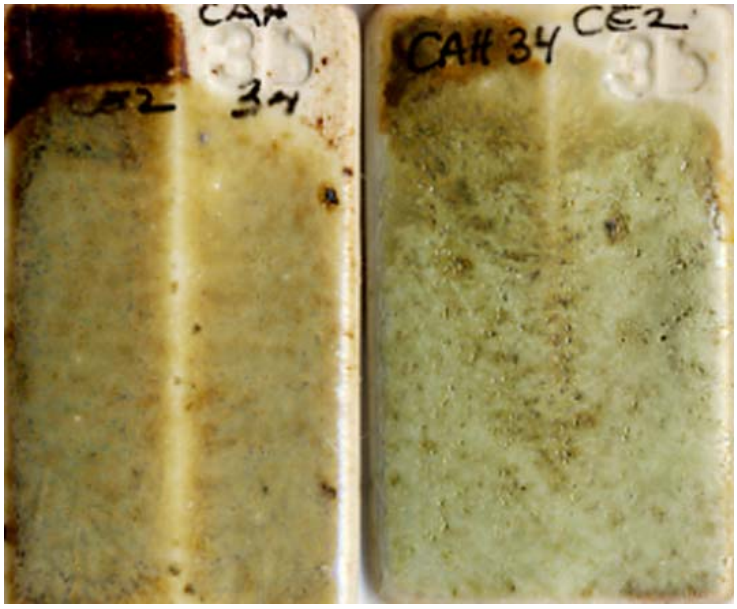
Lasitteen CAH33 alla on CE2 engobe, jossa on flogopiittikiillettä, Sillä on sulattava vaikutus, puu-uuni poltto 1250°C.

Lasite CAH34

Raaka-aine CAH	**34**
Maasälpä FFF, Feldspar FFF	50
Lyijysulate Bisilicate P2950	10
Kvartsi FFQ, Quartz FFQ	10
Mäntytuhka, Pine wood ash	10
Wollastoniitti, Wollastonite FFW	10
Vuolukivi, Soapstone	10



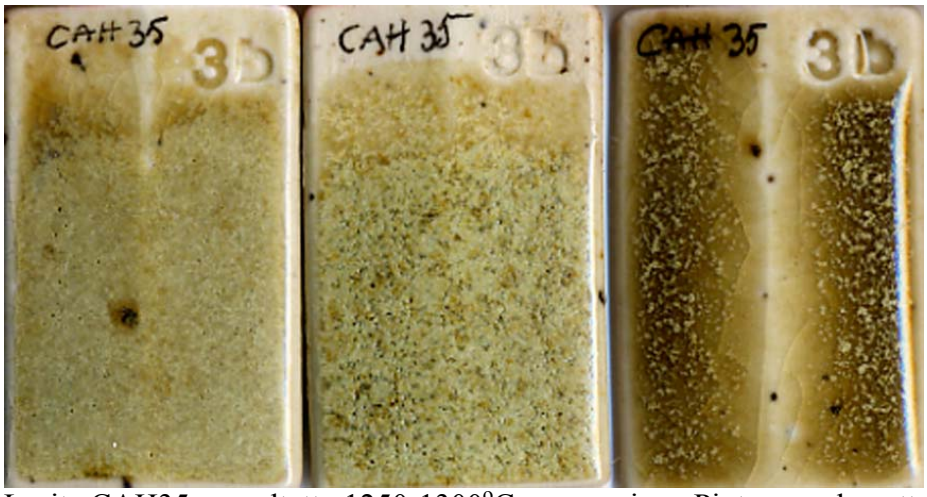
Lasite CAH34 sulaa ja pelkistyy 1250-1280°C puupoltto. Lasite saa rautaoksidia, joka sinertyy tuhkasta ja vuolukivestä.



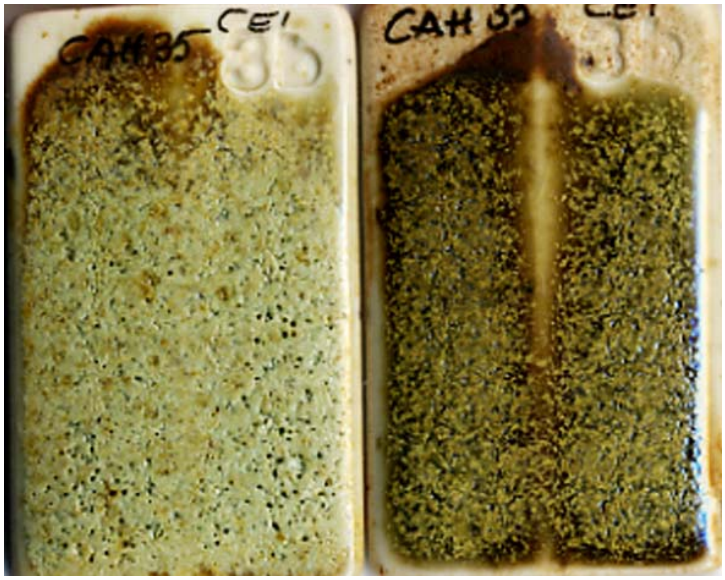
Lasitteen CAH34 alla on CE2 engobe, jossa on flogopiittikiillettä, puupoltto 1250°C.

Lasite CAH35

Raaka-aine CAH	**35**
Maasälpä FFF, Feldspar FFF	50
Kvartsi FFQ, Quartz FFQ	10
Mäntytuhka, Pine wood ash	10
Apatiitti, Apatite	10
Wollastoniitti, Wollastonite	10
Vuolukivi, Soapstone	10



Lasite CAH35 on poltettu 1250-1300°C puu-uunissa. Pinta on sulamattomana himmeä ja kiteinen. Oikeanpuoleinen näyte on sulanut 1300°C.



Lasitteen CAH35 alla on CE1 punasavi engobe, jossa on dolomiittia. Se lisää sulamista massan ja lasitteen yläpinnan välissä. Pinta muodostuu pienistä keltaisista kiteistä. Väri tulee rautaoksidista, jota on tuhkassa ja vuolukivessä. Wollastoniitti edistää kiteytymistä. Näytteet on poltettu puu-uunissa 1280-1300°C. Korkeammassa lämpötilassa kiteisyys vähenee.